

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HEYELAN ANALİZİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER VE SAYISAL
ÇÖZÜMLERİ**

İnşaat Müh. S. Banu HALİLOĞLU

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
" İnşaat Yüksek Mühendisi "**
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03.01.1997
Tezin Savunma Tarihi : 28.01.1997

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa AYTEKİN
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Bayram Ali UZUNER
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Adem DOĞANGÜN
Enstitü Müdürü : Doç. Dr. Asım KADIOĞLU

OCAK 1997

TRABZON

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
TÜRKÇE ÖZET.....	VI
İNGİLİZCE ÖZET	VII
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
TABLO LİSTESİ	X
SEMBOL LİSTESİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Genel Tanımlamalar	1
1.2.1. Heyelanın Özellikleri.....	2
1.2.2. Heyelan Boyutları.....	4
1.2.3. Heyelanın Etkinlik Durumu.....	6
1.2.4. Heyelanın Etkinlik Dağılımı	6
1.2.5. Heyelan Türleri.....	9
1.3. Şev Hareketlerinin Tanımlanması	9
1.4. Şev Kayma Tipleri ve Heyelanlar	11
1.5. Şev Stabilite Problemleri.....	20
1.5.1. Drenajsız Durum	22
1.5.2. Drenajlı Durum.....	24
1.5.3. Kısmen Drenajlı Durum	24
1.6. Güvenlik Sayısı	25
1.7. Şev Hareketlerinin Nedenleri	28
1.8. Şev Stabilitesi Islah Yolları	29
2. TEORİK ÇALIŞMALAR.....	32
2.1. Zemin Şevlerinin Stabilitesi.....	32
2.1.1. Limit Gerilme Yaklaşımı	33
2.1.2. Limit Denge Yaklaşımı	34

2.2.	Toplam ve Efektif Gerilme Analizi	35
2.3.	Şev Stabilite Analiz Yöntemleri	38
2.3.1.	Lineer Yöntemler	40
2.3.1.1.	$\phi_u=0$ Yöntemi	40
2.3.1.2.	İsveç Dilim Metodu	43
2.3.1.3.	Kama Analizi	46
2.3.1.4.	Sonsuz Şev Analizi	50
2.3.2.	Lineer Olmayan Yöntemler	53
2.3.2.1.	Genel Dilim Yöntemi	55
2.3.2.2.	Genelleştirilmiş Janbu Yöntemi	58
2.3.2.3.	Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi	61
2.3.2.4.	Spencer Yöntemi	63
2.3.2.5.	Morgenstern-Price Yöntemi	71
2.3.2.6.	Sürtünme Dairesi Yöntemi	76
2.3.2.7.	Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi	79
2.3.2.8.	Genel Bishop Yöntemi	84
2.4.	Stabilite Kartları	86
2.4.1.	Taylor Stabilite Kartı	87
2.4.2.	Bishop-Morgenstern Stabilite Kartları	89
2.5.	Stabilite Analizinde Kullanılan Programların Tanıtılması	102
2.5.1.	STABGM Programı	102
2.5.1.1.	Veri Girişleri	106
2.5.2.	STABL5 Programı	111
2.5.2.1.	Veri Girişleri	112
3.	BULGULAR	118
3.1.	Şev Stabilite Analizlerine Ait Birinci Sayısal Örnek	118
3.1.1.	STABGM İle Çözüm	118
3.1.2.	STABL5 İle Çözüm	120
3.2.	Şev Stabilite Analizlerine Ait İkinci Sayısal Örnek	124
3.2.1.	STABGM İle Çözüm	124
3.2.2.	STABL5 İle Çözüm	126

4.	İRDELEME	131
5.	SONUÇLAR.....	132
6.	ÖNERİLER	134
7.	KAYNAKLAR.....	135
8.	EKLER	139
9.	ÖZGEÇMİŞ.....	199



ÖZET

Şev kaymaları veya heyelanlar, yer kabuğunun yaşı kadar eskilere dayanmaktadır. Bu hareketlerin ülkemizde ve özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi'nde çok yaygın olarak meydana gelmesi ve bunun sonucunda can ve mal kaybının oluşması konunun etraflıca incelenerek çözümler üretilmesini zorunlu hale getirmektedir.

Heyelanlar ilk kez Collin tarafından analitik olarak incelenmiştir. Bu ilk çalışmada, o yıllarda zemin mekaniği biliminin gelişmemiş olmasından, özellikle de killerin kayma direnci hakkında yeterli bilgi olmamasından dolayı, analizlerin eksik olduğu görülmektedir.

Bütün denge problemlerinde olduğu gibi, heyelanların stabilite analizinde de iki yaklaşım kullanılmaktadır. Daha gerçekçi olduğuna inanılan yaklaşım, dış yükler ve kendi ağırlığı altında ortamın mekanik özelliklerine bağlı olarak ne kadar hareket edeceği, gerilmelerin nerede yoğunlaştığı ve bunun sonucunda göçme (kayma) olup olmayacağı incelenmesidir. Diğer bir yaklaşım olan limit gerilme yaklaşımı ya da deformasyon analizi de yakın zamana kadar gerilme analizini yapacak yöntem ve araç bulunmadığı için yapılamamıştır.

Bu çalışmada yamaç stabilitesi analiz yöntemleri ve elde bulunan bilgisayar programları kullanılıp, yöntemlerdeki yaklaşımlar ve bilgisayar programlarından elde edilen sonuçlar irdelenerek bir karşılaştırma yapıp, yöntemlerin birbirlerine göre üstünlükleri ve sakıncaları araştırılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde, konu ile ilgili genel bilgiler; ikinci bölümünde, şev stabilitesinde analiz yöntemleri ve bu yöntemlerin hesabında kullanılan bilgisayar programları anlatılmakta; üçüncü bölümde, bazı tipik örnekler çözülmekte; dördüncü bölümde irdeleme, beşinci bölümde sonuçlar ve altıncı bölümde de öneriler sıralanmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Şev stabilitesi, heyelan, kayma, sayısal çözümler

SUMMARY

THE METHODS USED IN THE ANALYSIS OF LANDSLIDES AND THEIR NUMARICAL SOLUTIONS

Slope failures or landslides date back as old as the age of the earth's crust. It is essential to investigate the problem of landslides in details and produce solutions for them since frequent occurrence of landslides in Turkey, especially in Eastern Blacksea region and the loss of properties and lives. Landslides have first been investigated by Collin analytically. Due to the insufficient knowledge in Soil Mechanics during that time, especially of the strength of clay slides, it is recognized that these analyses were not sufficient.

Two main approaches were used in the stability analysis of landslides in all equilibrium problem. First approach that is believed to be more realistic considers mechanical properties of medium, outern loads, where the stress become denser and whether there would be any failures (slides) as a result of this stress. The other one, called limit stress approach or deformation analysis, has not been done because of the lack of essential methods and equipment to do the stress analysis.

In this study, a comparison has been made between the analysing methods of slope stability and the approaches in the methods by investigating the results obtained through the computer programs and priorities of the methods to each other and their risks were studied.

In chapter 1, general information associated with the subject is outlined. In chapter 2, the methods of slope stability and the computer programs used in the calculation of these methods are explained. In chapter 3, some typical examples associated with the work are solved. In chapter 4, discussion is made. In chapter 5, results, and in chapter 6 suggestions are given.

Key Words: Slope stability, landslide, sliding, numerical solution

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1 :	Heyelan özellikleri.....	3
Şekil 2 :	Heyelan boyutları.....	5
Şekil 3 :	Heyelanın etkinlik durumu.....	7
Şekil 4 :	Heyelanın etkinlik dağılımı.....	8
Şekil 5 :	Heyelan türleri.....	10
Şekil 6 :	Skempton'a göre sınıflandırmada şev geometrisi.....	12
Şekil 7 :	Yamaç hareketlerinin sınıflandırması.....	14
Şekil 8 :	Şev hareket tipleri.....	16
Şekil 9 :	Kil şevlerin temel hareket tipleri.....	17
Şekil 10 :	Kil şevlerde çoklu ve karmaşık heyelan tipleri.....	18
Şekil 11 :	Basit sınıflandırma.....	19
Şekil 12 :	Varnes'in sınıflandırma sistemi.....	21
Şekil 13a :	Dairesel kayma yüzeylerinde gerilme.....	42
Şekil 13b :	Genel kayma yüzeylerinde gerilme.....	43
Şekil 14 :	İsveç dilim metodu ve bir dilime etkiyen kuvvetler.....	45
Şekil 15a :	Kama analizinde yamaca etkiyen kuvvetler.....	47
Şekil 15b :	Kama analizinde birinci kamaya ait kuvvet poligonu.....	47
Şekil 15c :	Kama analizinde ikinci kamaya ait kuvvet poligonu.....	47
Şekil 16 :	Kohezyonlu zeminde sonsuz şev analizi.....	50
Şekil 17 :	Sonsuz şev analizinde yamaca paralel dengeli su akımı durumu.....	52
Şekil 18 :	Tipik bir dilime etkiyen kuvvetler.....	54
Şekil 19 :	α 'ya karşılık gelen m_α değerleri.....	56
Şekil 20 :	Genel dilim metodu.....	56
Şekil 21 :	Genelleştirilmiş Janbu yöntemi.....	59
Şekil 22 :	Basitleştirilmiş Janbu yöntemi.....	62
Şekil 23 :	Basitleştirilmiş Janbu yönteminde kullanılan düzeltme faktörü.....	63
Şekil 24a :	Spencer yönteminde kayma yüzeyi.....	64
Şekil 24b :	Spencer yönteminde dilime etkiyen kuvvetler.....	65
Şekil 24c :	Spencer yönteminde kuvvet poligonu.....	65
Şekil 25 :	Spencer yönteminde ϕ 'ya karşı gelen $G.S_m$ ve $G.S_f$ değerleri.....	67
Şekil 26 :	Spencer yönteminde çözüm metodu.....	71
Şekil 27 :	Morgenstern-Price yöntemi.....	72
Şekil 28 :	Sürtünme dairesi yönteminde sürtünme çemberi ve kuvvetler.....	77
Şekil 29 :	Güvenlik sayısı üst limit çözümü.....	79

Şekil 30 : Bishop yöntemi	81
Şekil 31 : Değişik ϕ açıları için β ile stabilite faktörü N_s ve derinlik faktörü n_d arasındaki bağıntıyı veren Taylor stabilite abağı	88
Şekil 32a : $c'/\gamma H=0.05$ ve $D=1.00$ için m stabilite katsayısı	90
Şekil 32b : $c'/\gamma H=0.05$ ve $D=1.00$ için n stabilite katsayısı	91
Şekil 33a : $c'/\gamma H=0.05$ ve $D=1.25$ için m stabilite katsayısı	92
Şekil 33b : $c'/\gamma H=0.05$ ve $D=1.25$ için n stabilite katsayısı	93
Şekil 34a : $c'/\gamma H=0.05$ ve $D=1.50$ için m stabilite katsayısı	94
Şekil 34b : $c'/\gamma H=0.05$ ve $D=1.50$ için n stabilite katsayısı	95
Şekil 35a : $c'/\gamma H=0.025$ ve $D=1.00$ için m stabilite katsayısı.....	96
Şekil 35b : $c'/\gamma H=0.025$ ve $D=1.00$ için n stabilite katsayısı.....	97
Şekil 36a : $c'/\gamma H=0.025$ ve $D=1.25$ için m stabilite katsayısı.....	98
Şekil 36b : $c'/\gamma H=0.025$ ve $D=1.25$ için n stabilite katsayısı.....	99
Şekil 37a : $c'/\gamma H=0$ için m stabilite katsayısı.....	100
Şekil 37b : $c'/\gamma H=0$ için n stabilite katsayısı.....	101
Şekil 38 : Şev stabilite analizlerinin İsveç dilim ve değiştirilmiş Bishop metodu ile hesabının akış mantığı	103
Şekil 39 : Dilimlenmiş şev geometrisi	104
Şekil 40 : İsveç dilim metodunda tipik bir dilime etkiyen kuvvetler	105
Şekil 41 : Birinci sayısal örneğin STABGM ile çizgisel yaklaşımı	119
Şekil 42 : Birinci sayısal örneğin STABL5 ile çizgisel yaklaşımı	121
Şekil 43 : İkinci sayısal örneğin STABGM ile çizgisel yaklaşımı	125
Şekil 44 : İkinci sayısal örneğin STABL5 ile çizgisel yaklaşımı	129

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1 : Farklı hareket tiplerine göre D/L oranları.....	13
Tablo 2 : Doğal şev kaymaları	17
Tablo 3 : Varnes'in sınıflandırma sistemi.....	19
Tablo 4 : Geoteknik sınıflandırma.....	20
Tablo 5 : Yamaç ve şevlerde güvenlik sayıları.....	27
Tablo 6 : Yamaç dengesinde etkenler	29
Tablo 7 : Heyelanlarda alınacak önlemler.....	30
Tablo 8 : Toplam ve efektif gerilme analizlerinin seçimi	37
Tablo 9 : Analiz metodları	39
Tablo 10 : İsveç dilim yöntemi tablosu.....	45
Tablo 11 : Kama analizinde kuvvetlerin özellikleri	48
Tablo 12 : Dilim metodunda yapılan varsayımlar ve bilinmeyenler	54
Tablo 13 : Basitleştirilmiş Bishop metodunda şev stabilitesi için cetvel.....	82
Tablo 14 : Literatürdeki stabilite kartları.....	87

SEMBOL LİSTESİ

- a : Kayma dairesi merkezi ile, kayan kütlenin ağırlık merkezi arasındaki mesafe
b : Dilim genişliği
C : Bileşke kohezyon
c : Zeminin kohezyonu
c' : Efektif gerilmelere göre kohezyon
c_m : Zeminin uyanmış kohezyonu
c_u : Drenajsız kohezyon
D : Maksimum kayma derinliği
D_d : Heyelanın derinliği
D_r : Kayma yüzeyi derinliği
E_{L,R} : Dilimlerarası normal kuvvet
f : Kayma merkezinin dilim taban ortasına dik olan doğruya uzaklığı
f₀ : Düzeltme faktörü
G.S. : Kohezyon için güvenlik sayısı
G.S._f : Kuvvet dengesine göre güvenlik sayısı
G.S._m : Moment dengesine göre güvenlik sayısı
G.S._φ : İçsel sürtünme açısı için güvenlik sayısı
H : Şev yüksekliği
H_c : Kritik derinlik
h : Dilim yüksekliği
h_w : Su yüksekliği
J : Sistem geometri sabiti
k : Dilimlerarası kuvvet katsayısı
L : Kayan kütlenin yamaç uzunluğu
L_d : Heyelan kütlesi boyu
L_I : Dilimlerarası kuvvetin etkime yüksekliği
L_r : Kayma yüzeyi uzunluğu
L₁ : 1 nolu kamanın taban uzunluğu
L₂ : 2 nolu kamanın taban uzunluğu
l : Dilim yay uzunluğu
M_N : Yamaç dengesini sağlayan dış moment
m : Stabilite katsayısı
N : Normal kuvvet
N_s : Stabilite sayısı
N₁ : 1 nolu kamanın tabanındaki normal kuvvet
N₂ : 2 nolu kamanın tabanındaki normal kuvvet

- N' : Efektif normal kuvvet
 n : Stabilite katsayısı
 P_w : Su basınç kuvveti
 P'' : Zemin suyundaki emme veya basınç değişikliği
 Q : Dilim kuvvetlerin bileşkesi
 $Q_{L,R}$: Sonsuz şevlerde tabana paralel dilimlerarası kuvvet
 r : Kayma dairesinin yarıçapı
 r_u : Boşluk suyu basıncı katsayısı
 T : Kayma kuvveti
 T_h : Hidrostatik basınç kuvveti
 T_m : Uyanmış kayma direnci kuvveti
 T_1 : 1 nolu kamanın kohezyon kuvveti
 T_2 : 2 nolu kamanın kohezyon kuvveti
 U : Boşluk suyu basıncı bileşke kuvveti
 $U_{L,R}$: Dilimlerarası boşluk suyu basıncı kuvvetleri
 U_1 : 1 nolu kamanın tabanındaki boşluk suyu basıncı
 U_2 : 2 nolu kamanın tabanındaki boşluk suyu basıncı
 u : Boşluk suyu basıncı
 u_a : Boşluktaki gaz fazın basıncı
 u_w : Boşluktaki sıvı fazın basıncı
 u^* : Eşdeğer boşluk suyu basıncı
 V : Doygunluk derecesi parametresi
 W : Kayan zemin kütlelerinin ağırlığı
 W_a : Dilimin su üzerinde kalan ağırlığı
 W_b : Dilimin batık bölümünün ağırlığı
 W_d : Heyelan kütlelerinin genişliği
 W_i : Dilim ağırlığı
 W_r : Kayma yüzeyi genişliği
 W_1 : 1 nolu kamanın kütlesi
 W_2 : 2 nolu kamanın kütlesi
 X : Dilim kesme kuvveti bileşkesi
 $X_{L,R}$: Dilimlerarası makaslama kuvvetleri
 y : Yamaç yüzeyi yüksekliği
 y_s : Kayma yüzeyi yüksekliği
 y_t : İtke çizgisi yüksekliği
 $Z_{L,R}$: Dilim kuvvetleri
 Z_N : Spencer yönteminde en son dilime etkiyen dış dengeleme kuvveti
 Z_w : Çekme çatlağı derinliği

- Z : Dilim kalınlığı
 α_1 : Dilim yay ortasını, kayma merkezine birleştiren doğrunun kayma dairesi merkezinden geçen düşey doğrultu ile yaptığı açı
 β : Sonsuz şev eğim açısı
 γ : Zeminin birim hacim ağırlığı
 γ_n : Zeminin doğal birim hacim ağırlığı
 γ_w : Suyun birim hacim ağırlığı
 ΔL : Dilim yay uzunluğu
 δ : Normal kuvvet ve sürtünme kuvveti bileşkesinin eğimi
 $\delta_{L,R}$: Z_L ve Z_R dilimlerarası kuvvetlerin eğimi
 σ : Toplam düşey gerilme
 σ' : Efektif gerilme
 τ_f : Mohr-Coulomb kayma mukavemeti(kırılma kriteri)
 τ : Uyanmış kayma mukavemeti
 ϕ : İçsel sürtünme açısı (kayma mukavemeti açısı)
 ϕ_m : Uyanmış kayma mukavemeti açısı
 ϕ_u : Drenajsız şartlardaki içsel sürtünme açısı
 ϕ' : Efektif içsel sürtünme açısı (efektif kayma mukavemeti açısı)
 $\lambda_{c\phi}$: Stabilite numarası

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Şev stabilitesi, inşaat mühendislerinin uzun yıllardır önemle üzerinde durdukları konulardan biridir. Önceleri yalnızca doğal şev kaymalarını inceleyen mühendisler, insan nüfusunun ve ihtiyaçlarının artması ile, çeşitli amaçlar için inşa edilen yapay şevlerin stabilitesiyle de ilgilenir olmuşlardır. Bu konudaki çalışmalar; doğal şevlerin stabilitelerinin incelenmesi, stabiliteyi arttırıcı önlemlerin alınmasının yanı sıra dolgu ve yarma şevlerinin ekonomik ve güvenli projelendirilmesi alanlarında yoğunlaşmıştır.

Şev stabilite incelemeleri, arazi ve laboratuvar deneyleri eşliğinde yürütülmeli, sonuç olarak da hem ekonomik, hem de güvenli çözüm elde edilmelidir. Bu amaçla geliştirilmiş olan analiz yöntemlerinde yapılan bazı varsayımlar ve hesapta kullanılacak zemin parametrelerinin elde edilmesindeki potansiyel belirsizlikler, olayı karmaşık hale getirmektedir.

Şev stabilite analizlerinde bilgisayar kullanımı hem projelerin hazırlanmasına hız kazandıracak hem de çok parametre içeren analizlerde zaman tasarrufu sağlayacaktır. Bu bilgisayar programları ile hesaplanan güvenlik sayıları; şevlerde kaymaya yol açan dış kuvvetlere ve bunların zaman içerisinde değişmelerine, kullanılan hesap yöntemlerine ve şevi oluşturan zemin tabakalarının özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

1.2. Genel Tanımlamalar

Bilimsel çalışmalarda ve pratikte ortak bir dil kullanılması amacıyla heyelanlarla ilgili bir sözlük geliştirilmesi istenmiştir. Bu amaçla UNESCO tarafından 1990 yılında oluşturulan Dünya Heyelan Envanteri Komisyonu (WLI), Geoteknik Birliğinin ilgili teknik komitesi ile (TC11) heyelan konusunda ileri düzeyde araştırmalar yapmışlardır. Bu komisyonun yaptığı çalışmalarda yer alan terimler, görüş alınmak üzere ilgili tüm kuruluşlara gönderilerek eleştirilerine sunulmuştur. Fakat yapılması gerekli görülen değişiklikler ve eklemeler özgün metne sadık kalma zorunluluğundan dolayı yerine getirilememiştir. Son olarak İkinci Ulusal Heyelan Sempozyumunda daha geniş bir kamuoyunca bir kez daha değerlendirilmesi

açısından yayınlanmış ve eleştirilere sunulmuştur[1]. Buna göre heyelanın çeşitli kısımlarına verilen adlar aşağıdaki gibi önerilmektedir.

1.2.1. Heyelanın Özellikleri

İkinci Ulusal Heyelan Sempozyumunda önerilen heyelan sözlüğündeki, heyelan özellikleri ile ilgili tanımlamalar, Şekil 1 üzerinde gösterilmiş ve aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

1. Heyelan tacı : Ana aynanın en yüksek bölümüne yakın olan hareket etmemiş malzemenin bulunduğu yerdir.

2. Ana ayna : Heyelanın üst ucunda yer alan ve heyelandan etkilenmeyen bölgeden hareket eden kütle ile ayrılmasıyla oluşan, düşey veya düşeye yakın olan yüzeydir. Kısacası kopma yüzeyinin görünen bölümü olarak ifade edilir.

3. Heyelanın tepesi : Heyelan kütlesi ile ana ayna arasındaki en yüksek noktadır.

4. Heyelanın üstü : Ana ayna ile hareket eden kütle arasında oluşan bölgenin üst kısımlarıdır.

5. Tali ayna : Yer değiştiren kütle içinde farklı hareketlerden oluşmuş, düşey veya düşeye yakın bir yüzeydir.

6. Heyelan gövdesi : Kayma yüzeyi burnu ile ana ayna arasında kalan ve kayma yüzeyi üzerinde bulunan kütledir.

7. Heyelanın eteği : Heyelanın topuğu ötesine hareket ederek, doğal arazi üzerine oturmuş kısımdır.

8. Heyelanın ucu : Heyelan tepesinden topuğuna gelen noktadır.

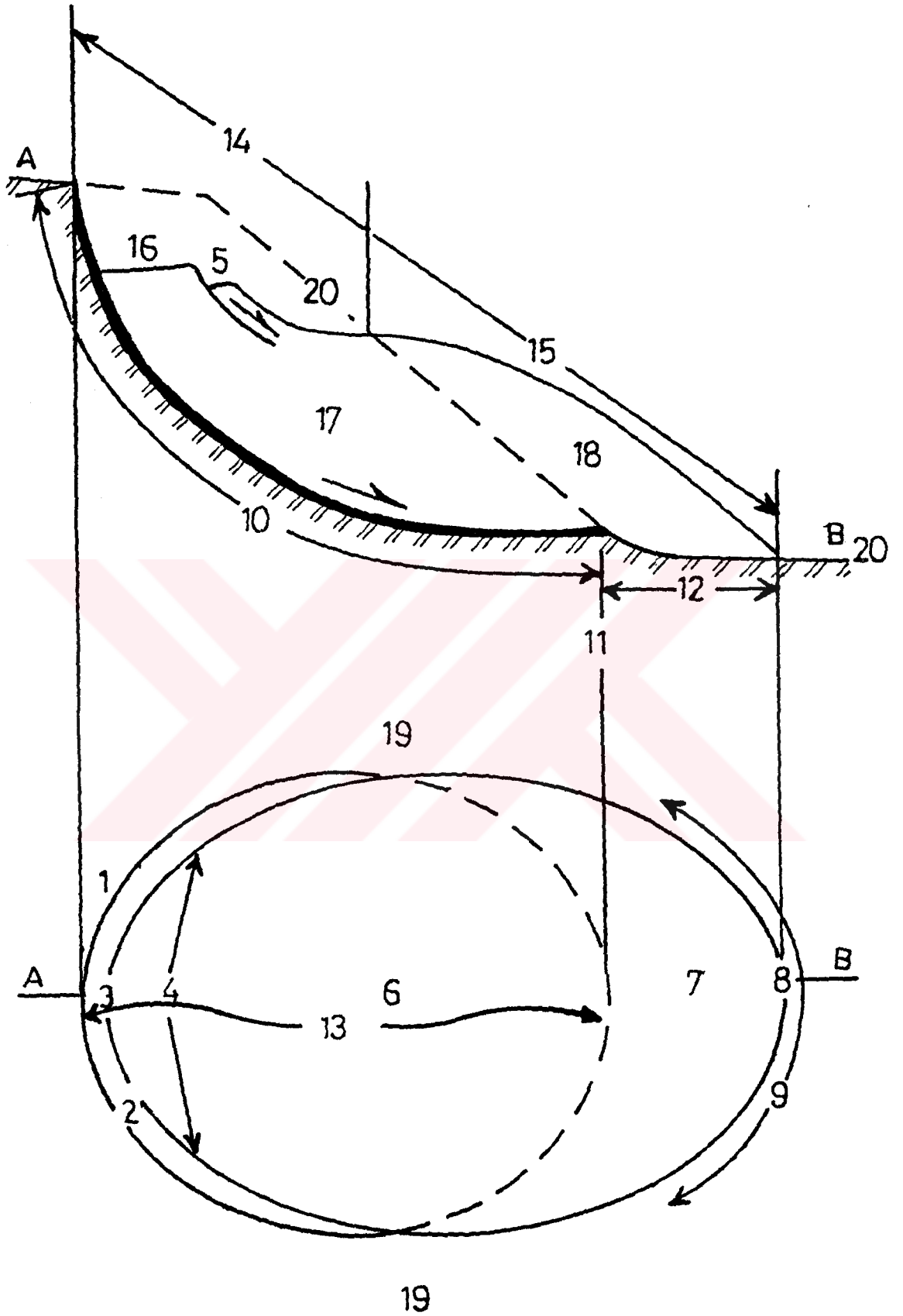
9. Topuk : Ana aynadan en uzakta bulunan ve hareket eden kütle ile genellikle eğrisel olan alt ucudur.

10. Kayma yüzeyi : Doğal zemin yüzeyinin altında kalan, kayan kütle üzerinde hareket ettiği, yamaç tepesi ile topuk arasında bulunan yüzeydir.

11. Kayma yüzeyi burnu : Heyelanın kayma yüzeyinin genellikle gömülü olan alt bölümü ile doğal arazi yüzeyinin kesiştiği noktadır.

12. Ayrılma yüzeyi : Doğal arazi yüzeyinin, heyelanın eteği altında kalan kısımdır.

13. Heyelan kütlesi : Şevde heyelan sonucu doğal yerinden ayrılmış, kayıp ve kabarma kütlelerini içeren malzemedir.



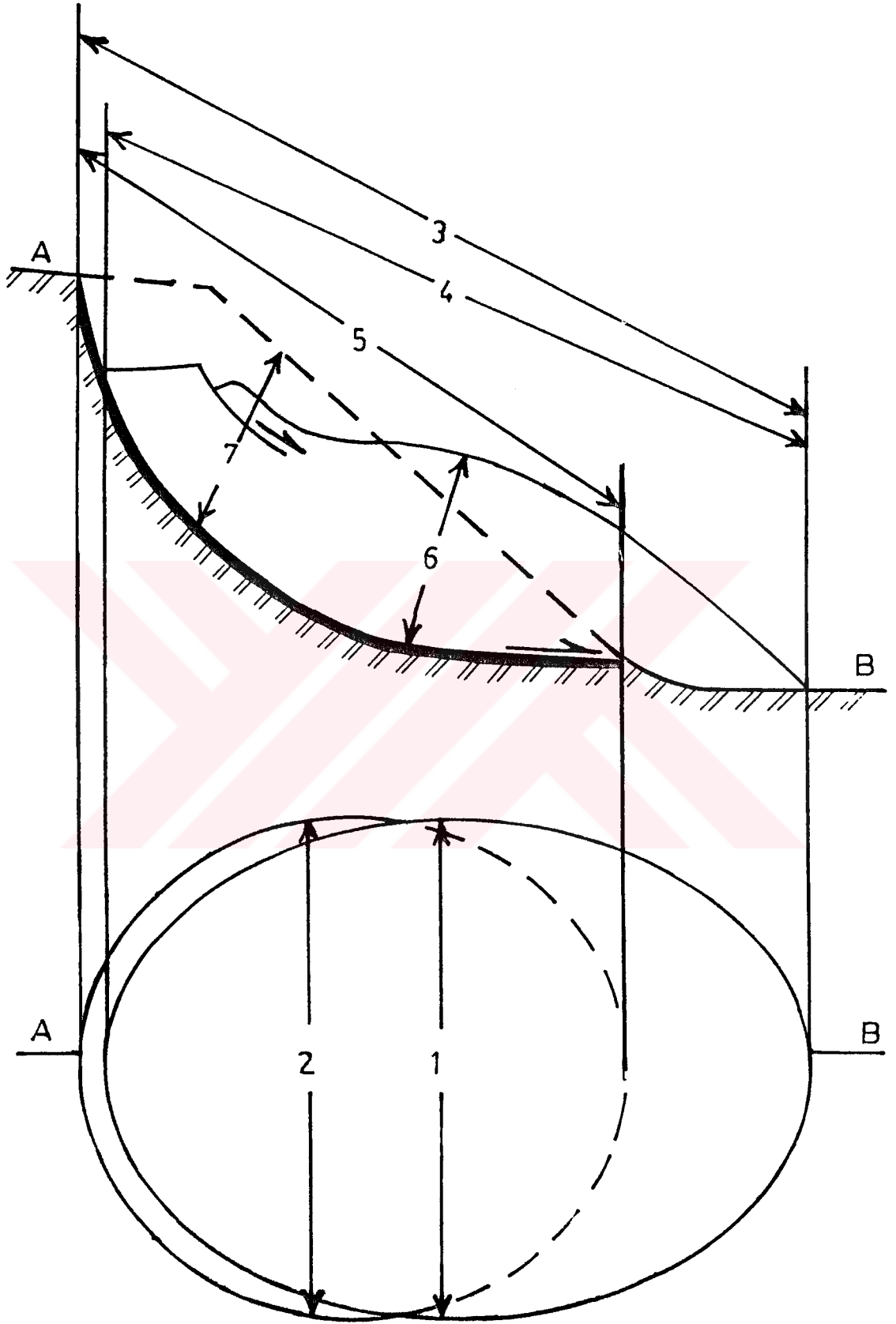
Şekil 1. Heyelan özellikleri [1].

14. Kayıp bölgesi : Heyelan kütlelerinin doğal arazi yüzeyi altında kalan kısmıdır.
15. Birikim bölgesi : Heyelan kütlelerinin, başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi üstünde kalan kısmıdır.
16. Çöküntü : Ana ayna, çöküntü kütlesi ve doğal arazi yüzeyi arasında kalan hacimdir.
17. Çöküntü kütlesi : Başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi seviyesi altında kalan ve kayma yüzeyi üzerinde bulunan heyelan kütleleridir.
18. Kabarma : Başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi üzerinde yükselen ve kayan zeminin birikmesi ile oluşan bölgedir.
19. Kanatlar : Kayma yüzeyinin yanlarında kalan, hareket etmemiş malzemedir. Kanatları tanımlamak için pusula yönleri kullanılmalıdır.
20. Doğal arazi yüzeyi : Kütle hareketi oluşmadan önce arazinin kesitte görülen yüzeyidir.

1.2.2. Heyelan Boyutları

Tipik bir heyelana ait boyutlar, Şekil 2'de görülmekte ve aşağıda tanımlanmaktadır.

1. Heyelan kütlesi genişliği, w_d : L_d 'ye dikey maksimum mesafe olan hareket eden kütle uzunluğudur.
2. Kayma yüzeyi genişliği, w_r : Toplam uzunluk L 'ye dikey olan ve heyelan kanatları arasında kalan maksimum mesafedir .
3. Toplam heyelan uzunluğu, L : Heyelanın tacından ucunu maksimum mesafedir.
4. Heyelan kütlesi boyu, L_d : Heyelanın başından uç noktasına kadar olan minimum mesafedir.
5. Kayma yüzeyi uzunluğu, L_r : Heyelanın tacından kayma yüzeyi burnuna kadar olan minimum mesafedir.
6. Heyelan derinliği, D_d : Kopma yüzeyinden, w_d ve L_d 'nin oluşturduğu düzleme ölçülen maksimum dikey mesafedir.
7. Kayma yüzeyi derinliği, D_r : Kayma yüzeyinin başlangıçtaki doğal arazi yüzeyinden w_r ve L_r 'nin oluşturduğu düzleme maksimum dikey uzaklıktır.



Şekil 2. Heyelan boyutları [1].

1.2.3. Heyelanın Etkinlik Durumu

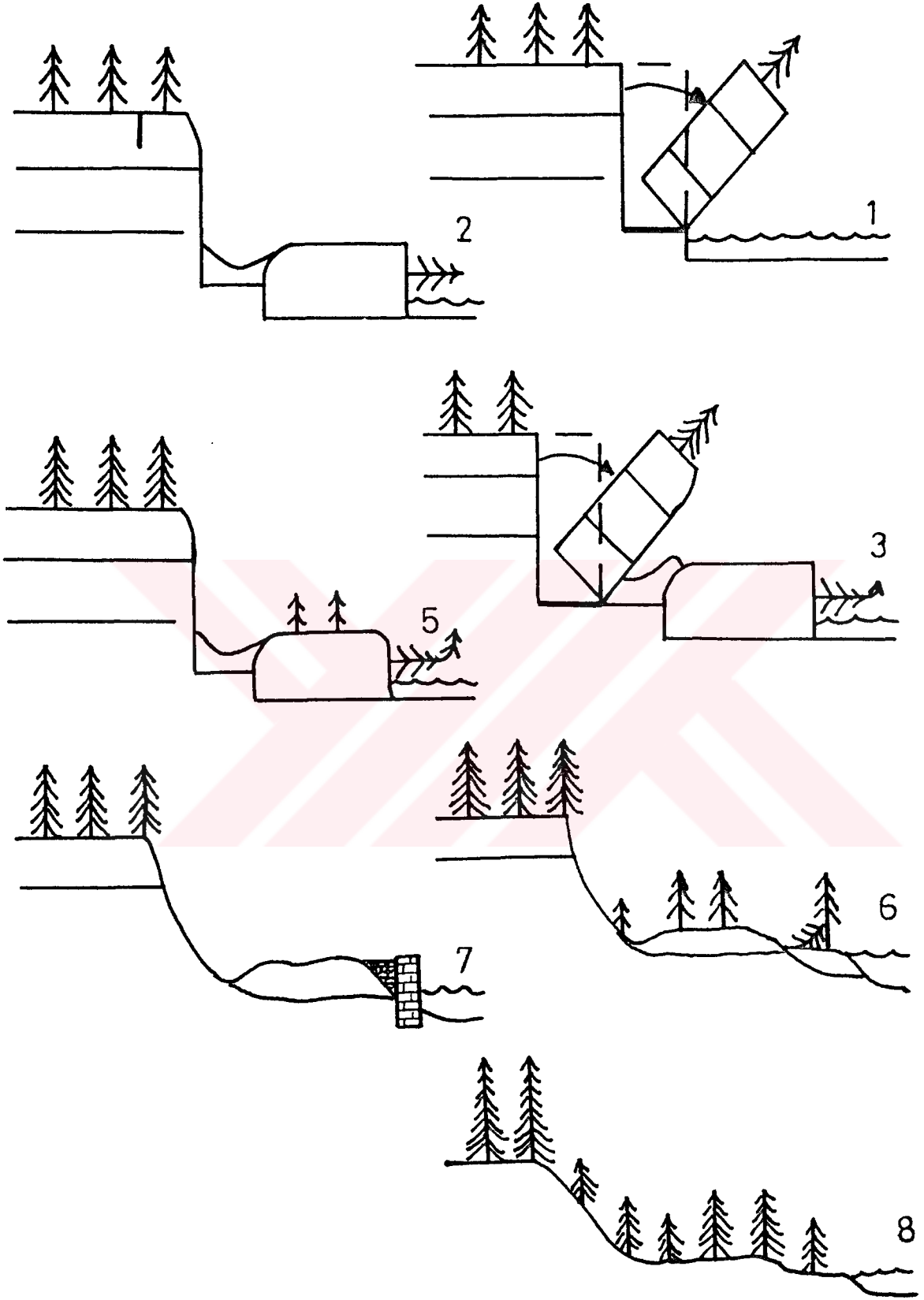
Heyelanın etkinlik durumları ile ilgili yapılan tanımlamalar, Şekil 3'de gösterilmiş ve aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

1. Etkin heyelan : Hareketi devam eden kütleli tarifler.
2. Duraklamış heyelan : Şu an etkin olmayan fakat son 12 ay içinde hareket etmiş olan kütleli.
3. Uyanmış heyelan : Bir önceki devrede etkin olmayan kütleli yeniden hareketlenmesidir.
4. Etkin olmayan heyelan : Son 12 ay içerisinde hareket etmemiş, gizli ve kalıntı heyelan içeren kütleli.
5. Gizli heyelan : Etkin olmayan fakat ilk harekete neden olan etkenlerin oluşmasıyla hareketlenebilecek heyelandır.
6. Bitmiş heyelan : İlk hareketi meydana getiren etmenlerin kaybolduğu, etkin olmayan heyelandır.
7. Kontrol altında heyelan : Hareketi meydana getiren koşullardan yapay önlemlerle korumaya alınmış etkin olmayan heyelandır.
8. Kalıntı heyelan : Halen hakim iklimsel ve jeomorfolojik koşullardan tamamen farklı koşullarda oluşmuş, etkin olmayan heyelandır.

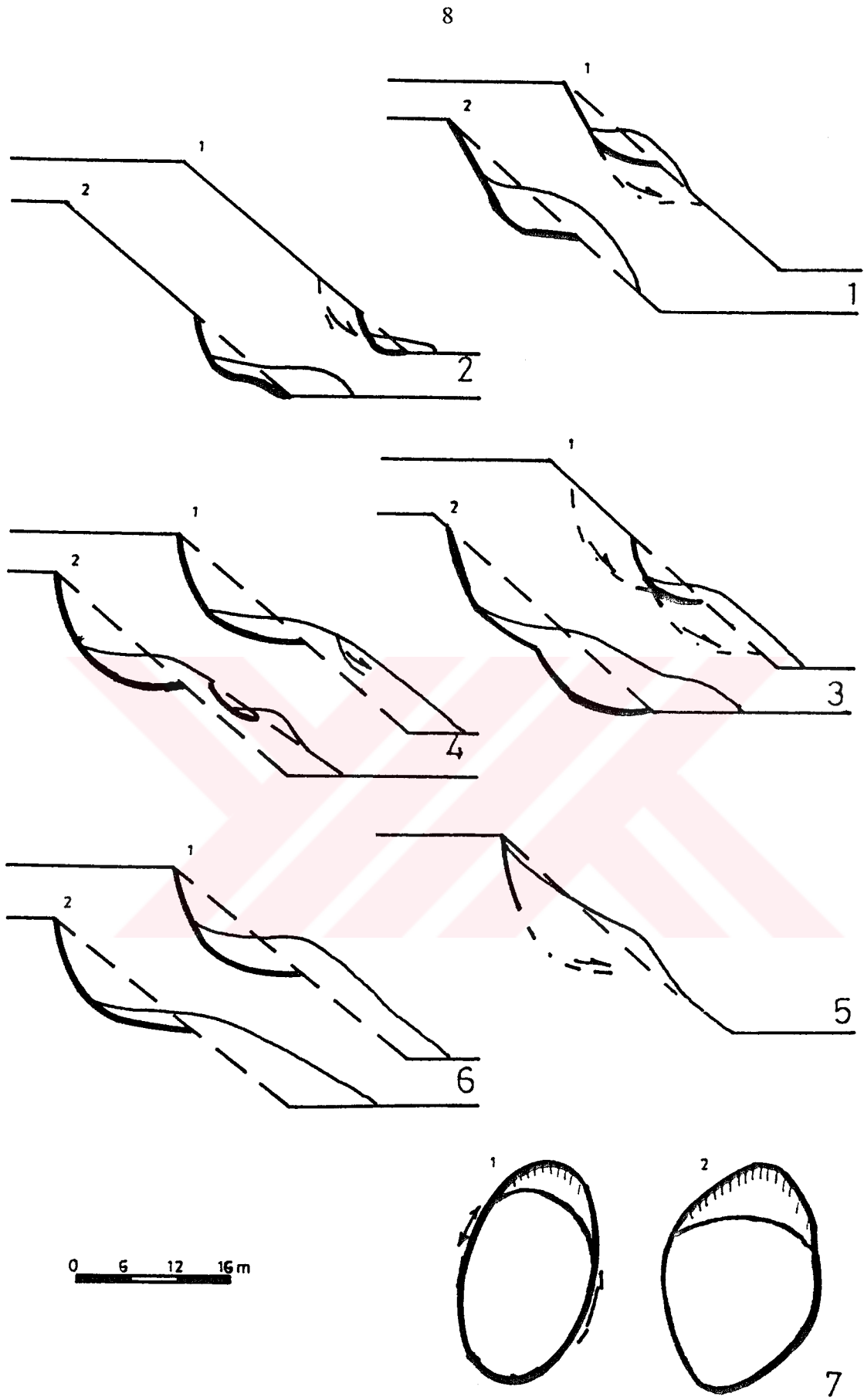
1.2.4. Heyelanın Etkinlik Dağılımı

Aşağıda tanımlanan heyelanın etkinlik dağılımları, Şekil 4'de görüldüğü gibidir.

1. İleriye doğru gelişen heyelan : Hareketin, kayma yüzeyi yönünde ilerlediği heyelandır.
2. Geriye doğru gelişen heyelan : Hareketin, kayma yüzeyinin tersine doğru olduğu heyelandır.
3. Büyüyen heyelan : Kopma yüzeyinin, iki veya daha fazla yönde geliştiği heyelandır.
4. Tüklenen heyelan : Hareket eden kütle hacminin giderek azaldığı heyelan türüdür.
5. Sınırlı heyelan : Aynası olan ancak hareket eden kütle ayağında kopma yüzeyi gözlenmeyen heyelandır.



Şekil 3. Heyelanın etkinlik durumu [1].



Şekil 4. Heyelanın etkinlik dağılımı [1].

6. Yayılan heyelan : Kopma yüzeyinde ve hareket eden kütle hacminde gözlenebilir bir değişim olmadan süren heyelandır.

7. Genişleyen heyelan : Kopma yüzeyinin heyelanın bir veya iki kanadına yayıldığı heyelandır.

1.2.5. Heyelan Türleri

Heyelan çeşitleri Şekil 5’de görüldüğü gibi olup, aşağıda tanımlanmıştır.

1. Karmaşık : Birbirini izleyen en az iki farklı hareket tipini (düşme, devrilme, kayma, akma, yayılma) gösteren heyelandır.

2. Bileşik : Heyelan kütlelerinin farklı bölümlerinde, aynı zamanda en az iki farklı hareketin sürdüğü heyelandır.

3. Ardışık : Malzeme ve kopma yüzeyleri ortak olmayan, heyelan yakınında daha önce oluşmuş kütle hareket tipiyle aynı olan heyelandır.

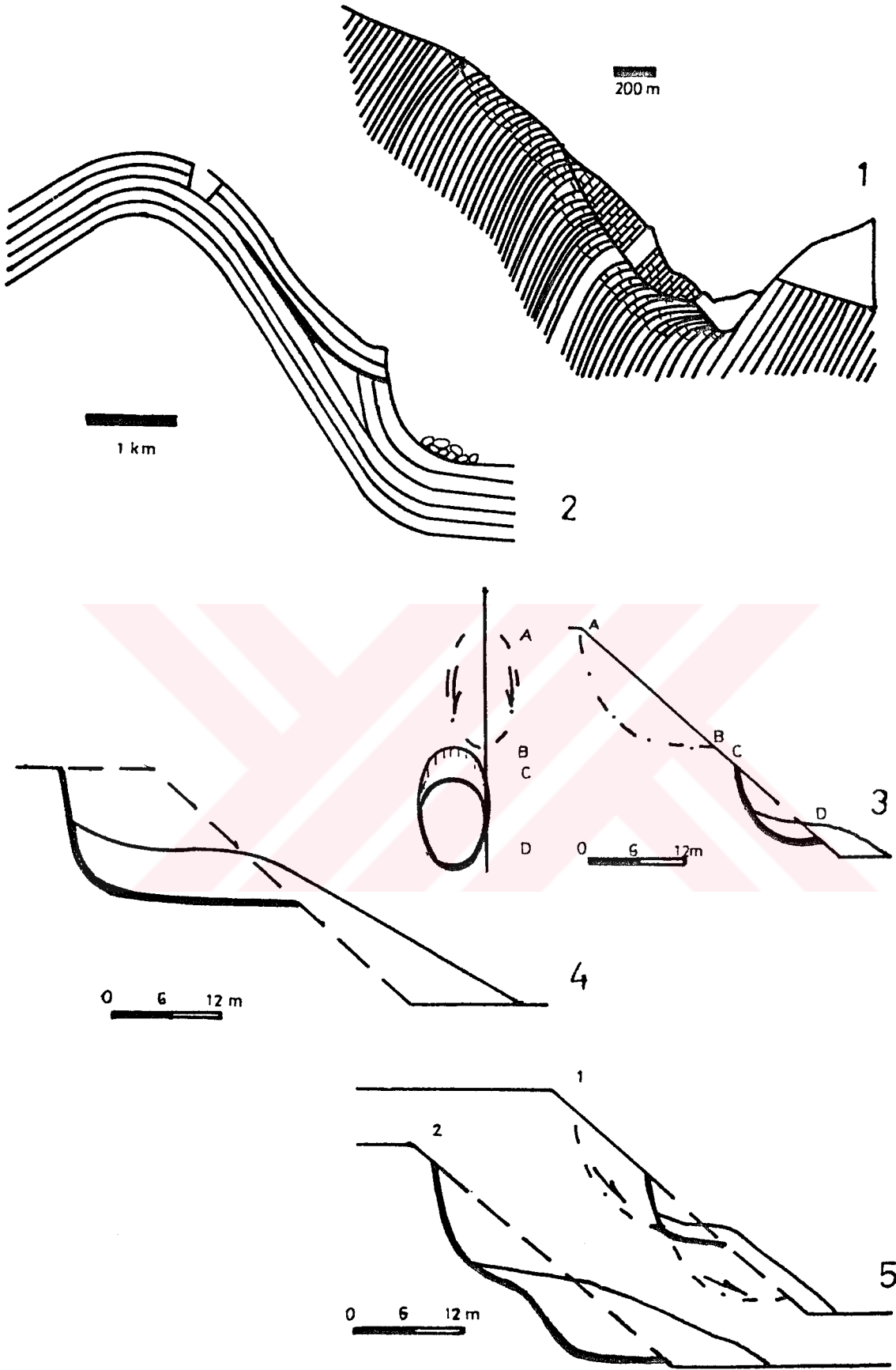
4. Tekil : Yer değiştiren kütlelerin tek hareketi sonucu oluşan heyelandır.

5. Çoklu : Aynı tip hareketin farklı bölümlerde olduğu heyelandır.

1.3. Şev Hareketlerinin Tanımlanması

Şev stabilite araştırmalarındaki amaç, zemin yapılarında, kazılarda ve dolgularda çözüme güvenilir ve ekonomik yoldan ulaşmaktır. İlk aşama olarak malzeme, geoteknik, çevre ve ekonomik parametreler incelenmiş, daha sonra incelenen şeve uygun olan stabilite analizini belirleyebilmek için şevin doğası, büyüklüğü ve olası göçme nedenleri araştırılmıştır. Konunun böyle geniş bir alanı kapsaması mühendislik jeolojisinden, zemin ve kaya mekaniğine kadar bir çok dalları içine almayı zorunlu kılmaktadır.

Mühendislik tekniklerinin ilerlemesiyle doğal şevler yanında yapay şevlerdeki stabilite kayıpları, eski terimiyle heyelan problemi önem kazanmıştır. Yapılan çalışmalarla da, şev hareketleri sonucu meydana gelen can ve mal kaybı en aza indirilmeye çalışılmıştır. Her ne kadar heyelan zararları Türkiye’de istatistiklere dökülme de A.B.D.’de yamaç hareketlerinin, doğal afet giderlerinin önemli bir bölümünü teşkil ettiği görülmektedir[2].



Şekil 5. Heyelan türleri [1].

Gelişen teknoloji ile birlikte yamaç hareketleri önemli boyutlar kazanmış, böylece mühendislik yapılarındaki yapay dolgu ve yarma şevlerinin projelendirilmesi, stabilitesi bozulmuş şevlerde hasarın giderilmesi ve gerekli önlemlerin alınması yoluna gidilmiştir.

Zemin mekaniği literatüründe heyelanlar ile şev kaymaları çok farklı anlamlarda kullanılmaktadır. Skempton ve Hutchinson, zemin ve kaya kütlelerinde bir veya birkaç yüzey boyunca kesme mukavemetinin azalmasından doğan tüm şev hareketlerini heyelanlar olarak nitelendirmişlerdir[3]. Varnes ise, heyelanlarla şev hareketlerini aynı anlamda kullanarak, bunları kaymalar olarak nitelendirmiştir[4]. Bir takım Japon araştırmacılar da; dik şevlerdeki hızlı hareketleri şev kaymaları, yatık şevlerdeki yavaş hareketleri de heyelan olarak tanımlamışlardır[5]. Türk araştırmacılar da diğerlerinden farklı olarak, yamaç ve heyelan terimlerini daha çok doğal yamaçlar için kullanırken şev, kayma ve göçme terimlerini de yapay olanlar için kullanmışlardır[6].

1.4. Şev Kayma Tipleri ve Heyelanlar

Şev, mevcut arazi yüzeyi ile ya da yatayla belirli bir açı yapan zemin kütlesi olarak tanımlanabilir. Şev kayması veya heyelan nasıl başlarsa başlasın, hareketi meydana getiren etken, yerçekimi kuvveti etkisi altında şevi aşağıya doğru harekete zorlamaktadır. Heyelanlar, yamacın ilk geometrisinin belirli bir zaman içerisinde gözle görülür bir şekilde değişmesine, üzerinde ya da önünde bulunan mühendislik yapılarının güvenliğinin kaybolmasına veya işlevini yitirmesine neden olan kütle hareketleridir[7]. Zemin veya kaya şevlerin özellikleri, arazide buldukları denge durumları ve etkisi altında kaldıkları yükler birbirinden farklı olmakta ve her şevin kendi özel koşullarında değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle çoğu araştırmacının yaptığı gibi şev kaymalarını tanımlamak ve sınıflandırmak, problemin çözümünü kolaylaştırmaktadır. Ayrıca çeşitli zemin cinslerine göre ve çok sayıda faktörün neden olduğu bu karmaşık problem, sınıflandırma yapan kimsenin önem verdiği yöne bağlı olarak değişmektedir. Sınıflandırmalar genellikle aşağıdaki esaslara dayandırılır.

1. Kayma yüzeyinin ve etkilenen sahanın morfolojisi
2. Hareketin tipi, boyutu, nedenleri ve miktarı
3. Hareketin hızı
4. Kayan zeminin yerini aldığı kütlelerin yer değiştirme derecesi

5. Yukarıda sayılan esasların değişik kombinasyonları

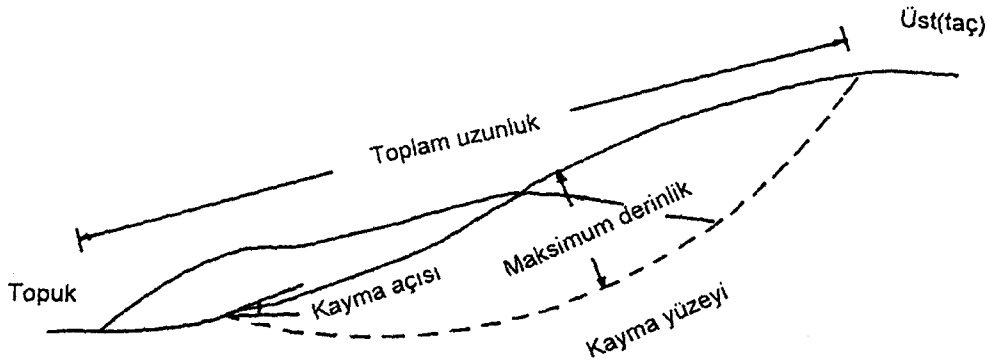
Bu konudaki çalışmalara bakıldığında, Sharpe [8], Skempton [3,9], Varnes [4,10], Blong [11], Blyth [12], Hutchinson [13] şev hareketi sınıflandırma kriterlerinin de çok çeşitli olduğu görülür.

Bu konuda ilk çalışmalardan birini yapan Sharpe [8], şev hareketlerinin sınıflandırılabilmesi için;

1. Hareketin tipi, boyutu, nedenleri ve miktarı
2. Zeminin su muhtevası
3. Malzeme cinsi
4. Kayma mukavemeti özellikleri ve hareket eden kütledeki malzemelerin dizilişi
5. Hareket eden kütle ile alttaki kütleler arasındaki bağlantının gözönüne alınması gerektiğini belirtmiştir.

Skempton [9], kayma sırasında hareket eden kütlelerin boyutlarıyla kayma tipi arasında önemli bir ilişki saptamıştır. Arazide yapılan ölçmelere göre de belirli kayma türlerinin, farklı kayma derinliği (D) / kayan kütlelerin yamaç uzunluğu (L) oranlarını verdiği görülmüş ve bu orana göre sınıflandırma yapılmıştır.

Şekil 6'da görüldüğü gibi D, kaymanın maksimum derinliğini ve L, kayan kütlelerin maksimum uzunluğunu vermektedir. Bu D/L oranına göre bulunan hareket tipleri de Tablo 1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 6. Skempton'a göre sınıflandırmada şev geometrisi [9].

Tablo 1. Farklı hareket tiplerine göre D/L oranları[9]

Hareket Tipi	D/L (%)
Kaymalar	5-10
Akmalar	0.5-3.0
Çökmeler	15-30

Varnes [10], yaptığı çalışmada, şev kayma tiplerini sınıflandırmak için, yavaş sayılabilecek 6 mm/yıl hareketten, çok hızlı sayılabilecek 3 m/sn 'lik harekete kadar olan şevleri incelemiştir. Varnes'a göre şev hareket tipleri;

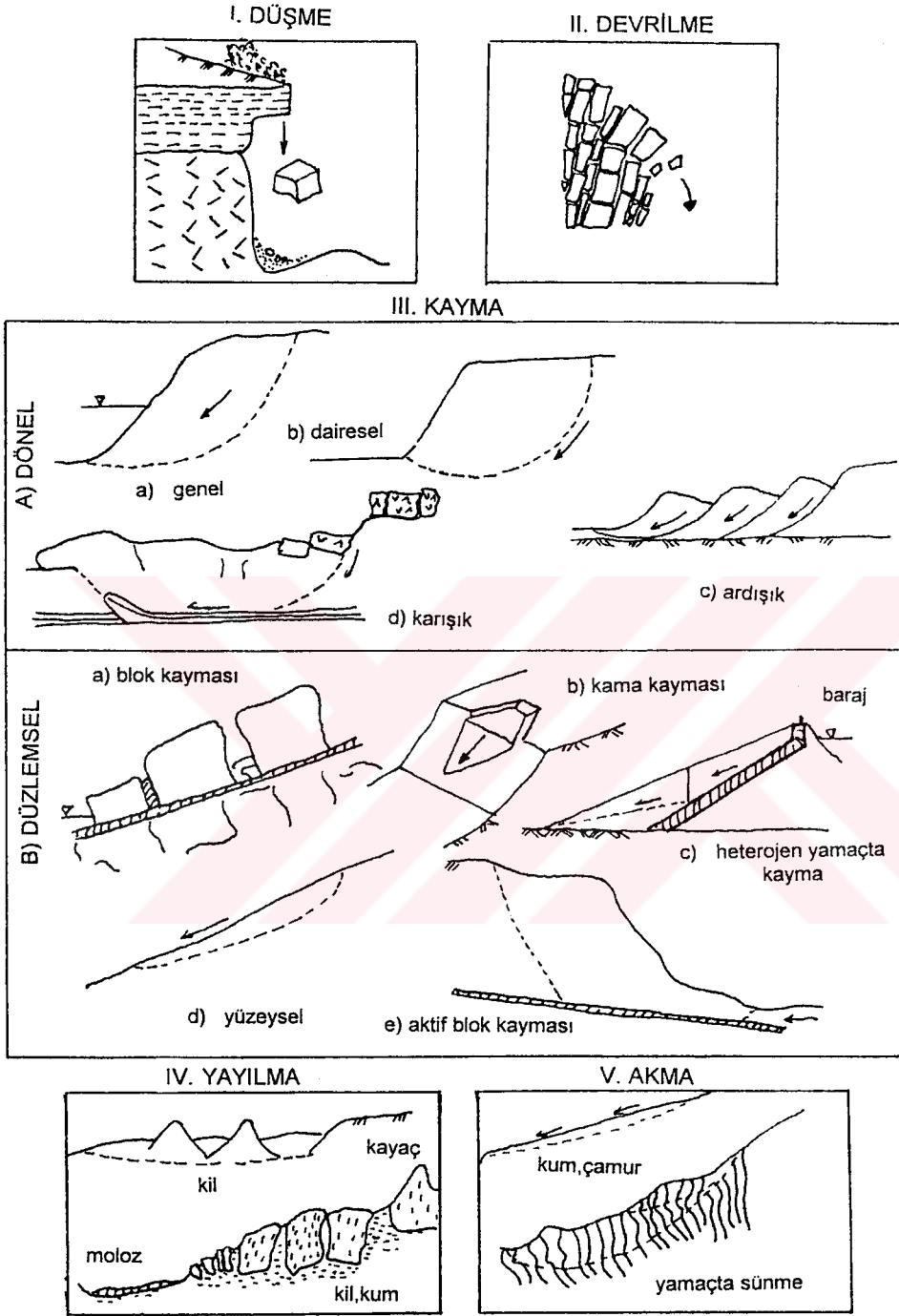
1. Düşme
2. Devrilme
3. Kayma
4. Yanal yayılma
5. Akma

gibi beş ana gruba ayrılmaktadır.

Düşme; dik bir şevde, bölünmüş blok ve kütlelerin ana kayaya göre hareketleri sonucunda, yüzey bölgesinde oluşan çatlak ve formasyonların neden olduğu, ihmal edilebilecek kadar küçük olan kesme kuvvetinden meydana gelen hareket tipidir[14]. Kaya düşmeleri, genellikle kimyasal ayrışma, köklerin çatlama etkisi, donma çözülmeleri, ısı değişiklikleri ve su basınçları nedeniyle olur. Hareketin yerçekimi etkisiyle düşey olması yanında, çok hızlı oluşması da belirgin özelliğidir (Şekil 7).

Devrilme; yamaç içine eğimli olan süreksizliklerde görülen bir denge kaybı sınıflı olarak tanımlanmaktadır. Hareket, birim ya da blokların ağırlık merkezlerinden dönerek, öne doğru yuvarlanmaları ve yanal sürtünme direncinin yenilmesi sonucu meydana gelmektedir. Ayrıca, blokların genişlik/yükseklik oranı da devrilmeyi etkilemektedir.

Kaymalar; bir veya birkaç yüzey boyunca, kütle içinde uyanan kayma mukavemetinin azalması sonucu oluşan, düzlemsel veya dairesel özellikli göçmelerdir. Düzlemsel kaymalar ya sağlam katmanlar arasındaki kil tabakası gibi zayıf yüzeyler boyunca ya da ortamdaki fay, çatlak gibi süreksizlik düzlemleri boyunca meydana gelmektedir. Dairesel kaymalar ise kaya ve zemin ortamlarda konkavlığı olan göçme yüzeyleri boyunca oluşmaktadır. Tüm kütlede oluşabileceği gibi, belli birkaç yüzey boyunca da oluşabilen kayma hareketi; kayma gerilmelerinin, kayma mukavemetinden fazla olmasının bir sonucudur. Şayet kayma tek bir



Şekil 7. Yamaç hareketlerinin sınıflandırılması [6].

düzlem boyunca oluşuyorsa, kayan kütledeki deformasyonlar çok fazla olmamakta, yüzey eğri olduğunda da kayma sonucu kütlede büyük şekil değişiklikleri görülmektedir.

Yanal yayılma; çekme ve kayma deformasyonlarının birlikte izlendiği heyelan türüdür. Belirgin bir kayma yüzeyi ya da bölgesinin bulunmayışı yanal yayılmayı kaymadan ayıran belli başlı özelliklerdendir. Bu denge kaybı kayaçta, altta oluşan kilin kayma direncinin azalmasıyla birlikte, üstteki kayaç tabakalarının yanlara doğru hareket etmesini, hassas killerde ise, titreşim, su etkisi gibi ortamın sıvılaşılarak yayılması gibi aşırı etkiler meydana getirmektedir.

Arazide oluşan şev hareketleri, bazı durumlarda kayma ya da yanal yayılma gruplarına sokulamayacak kadar farklı özellikler göstermektedir. Zeminde yavaş veya hızlı, kuru ya da yaş akma olayında, belirli bir kayma yüzeyi tanımlanamamakta, malzeme çok değişik deformasyon özellikleri göstermekte ve kütle kaymasından çok dairesel bir hareketin hakim olduğu sonucuna varılmaktadır. Akmalarda; yer değiştiren kütle içerisindeki hareket, malzemenin aldığı şekil ve görünen hız dağılımı, yüksek viskoziteli sıvılardaki harekete benzerlik göstermektedir. Hareket eden kütle içinde de kayma yüzeyleri çoğunlukla görülmemekte ve kısa ömürlü olmaktadır (Şekil 7). Sonuçta bu belirtilere bakılarak akmanın süneklik ile aynı süreç olduğu öne sürülmüştür. Malzeme biliminde sünmenin tanımı, sabit bir gerilme altında şekil değiştirme ya da uzama-kısalma şeklinde yapılmakta ve üç aşamadan oluşmaktadır. Bu açıdan süneklik olayının sadece akma değil diğer tüm dengesizlik belirtilerine de uygulanabilir bir terim olduğu savunulabilir[6].

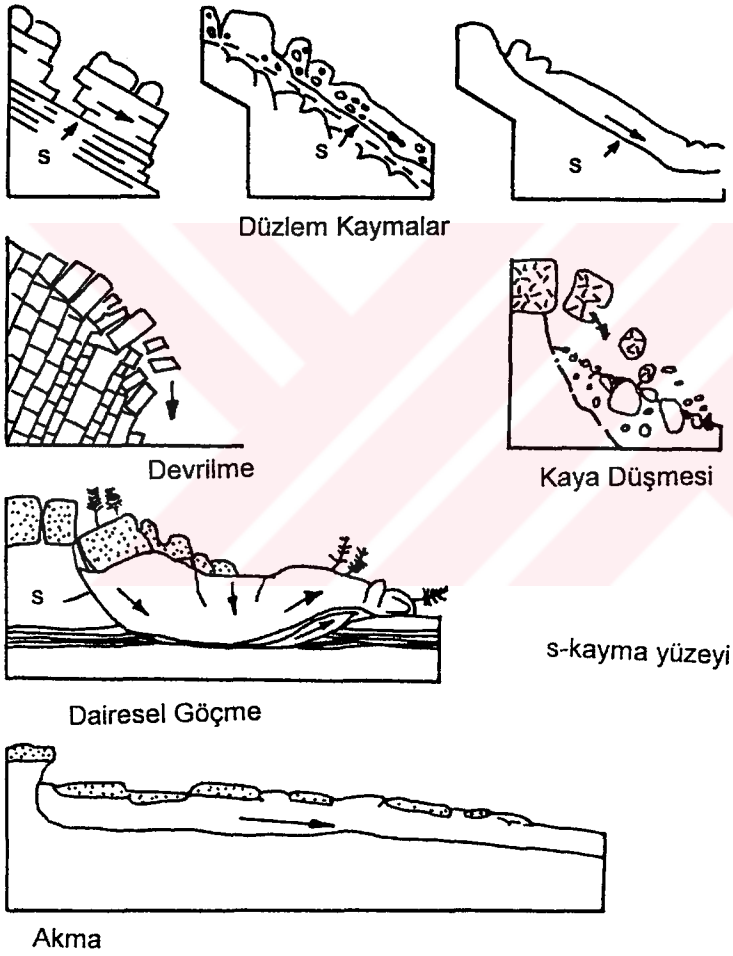
Çok ayrılmış kayaçlarda, yumuşak ve gevşek zeminlerde çok yavaştan çok hızlıya kadar değişen akmalar meydana gelir. Hareketin bu şekilde değiştiği şev kaymalarını, düşmeler ve akmalar arasındaki sınırları ve geçişleri tanımlamak zordur. Bu sınırları ayrıntılı olarak inceleyen Blyth ve diğerleri, şev kayma tiplerini Şekil 8'de görüldüğü gibi vermişlerdir [12].

Bu konudaki önemli çalışmalardan birini gerçekleştiren Varnes [10], akmaların;

- Kaya parçaları akmaları
- Kum akması
- Lös akması
- Kum ve silt akması
- Yavaş toprak akması

- Hızlı toprak akması
- Moloz çığı
- Moloz akışı

şeklinde, şev hareketlerinin de hareket tipi, malzeme cinsi, hareket hızı, göçme alanının geometrisi, yaş, hareket nedenleri, zarar görme derecesi, oluşum biçimi bakımından sınıflandırılabileceğini belirtmiştir. Gene aynı çalışmada Varnes, sınıflandırmada öncelikle gözönüne alınması gereken kriterlerin hareket tipi ve daha sonra malzeme tipi olması gerektiğini belirtmiş ve sonuç olarak Tablo 2 'de verilen sınıflandırmayı hazırlamıştır.



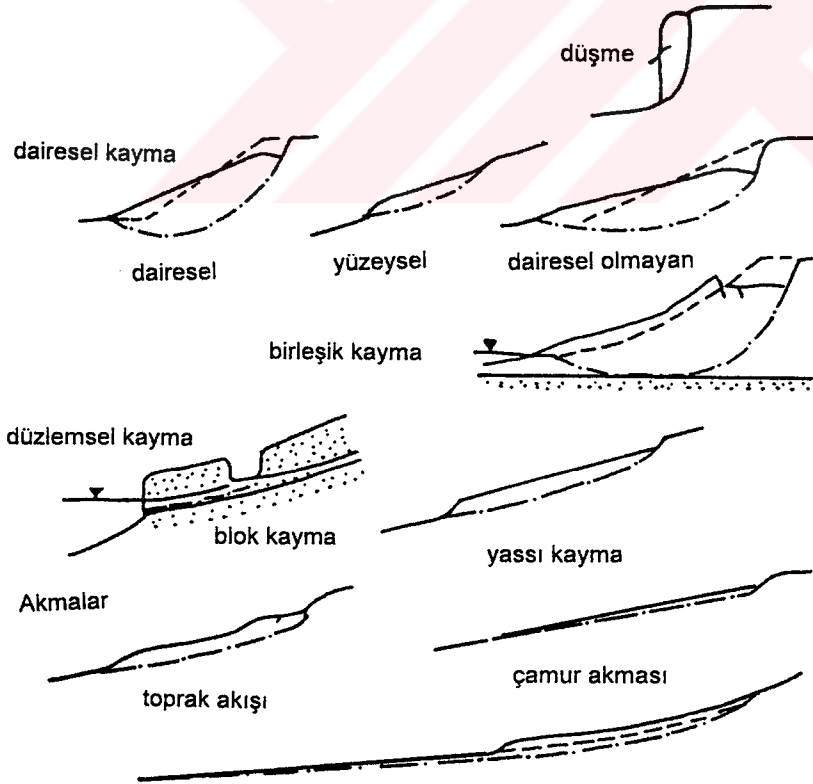
Şekil 8. Şev hareket tipleri [12].

Zemin ve kayadaki şev kaymalarını, hareket tiplerine göre değişik isimlerle sınıflandırmak, olayın doğasının anlaşılması, stabilite analizinin ve yöntemlerin seçimi açısından önem taşımaktadır.

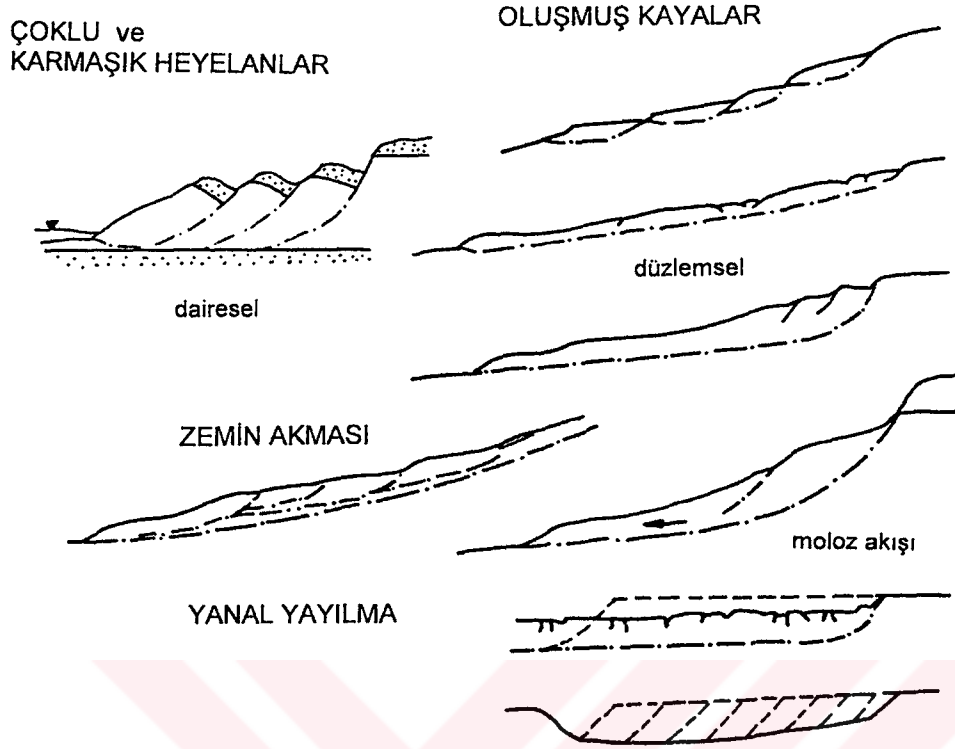
Tablo 2. Doğal şev kaymaları [10]

HAREKET TİPİ	MALZEME ÖZELLİĞİ		
	ANA KAYA	İRİ	İNCE
DÜŞME	Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi
DEVİRİLME	Blok Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Zemin Düşmesi
DÖNEL KAYMA	Kaya Çökmesi	Moloz Çökmesi	Zemin Çökmesi
DÜZLEMSEL KAYMA	Blok Kayma	Moloz Kayması	Zemin Kayması
YANAL YAYILMA	Kayma Yayılması	Moloz Yayılması	Zemin Yayılma
AKMA	Kaya Akması (derin sünme)	Moloz Akması (zemin sünmesi)	Zemin Akması (zemin sünmesi)

Skempton ve Hutchinson [3], daha sonra yaptığı bir çalışmada, kil şevleri Şekil 9 'da görüldüğü gibi bazı temel hareket tipleri ve Şekil 10 'da görüldüğü gibi çoklu ve karmaşık heyelanlar olarak sınıflandırmıştır. Göçme sırasında meydana gelen hareketlerin nedenleri, sadece şev malzemesinin özelliklerine ve doğasına bağlı değil, aynı zamanda kayma yüzeyinin şekline de bağlı olmaktadır. Kayma mukavemetinin, şekil değiştirme ve deformasyon ile değişme tarzı da bu aşamada çok önem kazanmaktadır.



Şekil 9. Kil şevlerin temel hareket tipleri [3].



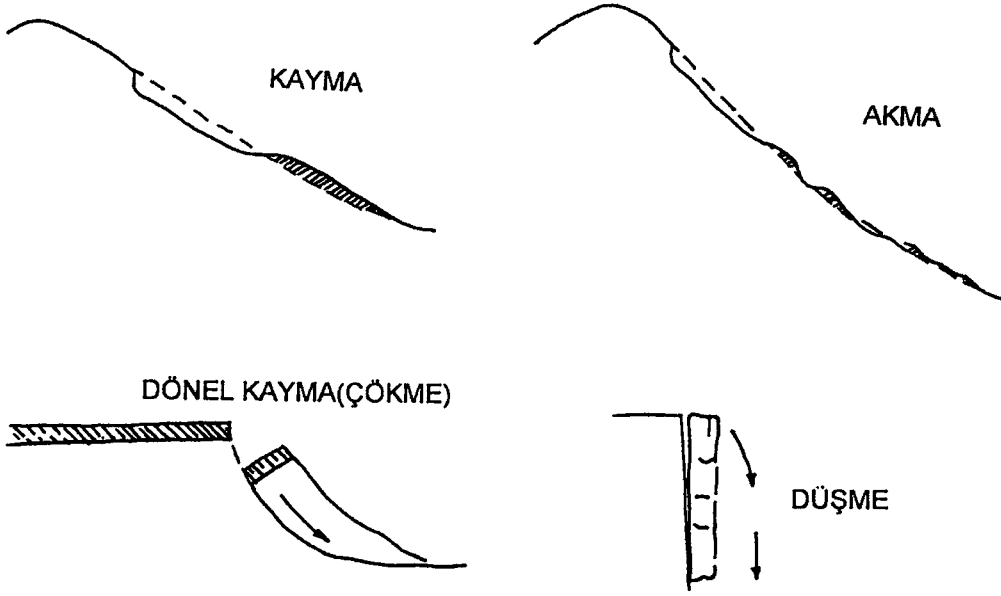
Şekil 10. Kil şevlerde çoklu ve karmaşık heyelan tipleri [3].

Şev kayma tipleri konusunda oldukça basit ve kullanışlı bir sınıflandırmada; Blong tarafından önerilmiştir[11]. Bu sınıflandırmaya göre, şev hareketleri Şekil 11 'deki gibi dört gruba ayrılmaktadır.

1. Kaymalar
2. Dönel kaymalar ve çökmeler
3. Akmalar
4. Düşmeler

Bu dört kategorili ayırımın basit olmasının yanı sıra, birçok mühendislik amaçları için yeterli olduğu söylenebilir[5].

Sınıflandırmanın bir değişik yolu da kayma hızlarını incelemektir. Varnes'a göre [4], 0.3 m/dak. ve daha yüksek hızla hareket, çok hızlı, 1.5 m/gün ve üstü, hızlı; 1.5 m/ay - 1.5 m/gün orta ve 1.5 m/ay - 60 m/yıl arası yavaş hareketleri yansıtmaktadır. Bu sınıflandırmanın üst limitini kaya düşmesi ve hareket mesafesi büyük, akma-kaymalar, alt limitini ise kayada sünme oluşturur.



Şekil 11. Basit sınıflandırma [11].

Daha önce anlatılan tüm sınıflandırmalar bir basitlik içermelerine rağmen, çözüm için detaylı araştırma gerektiren ve birçok faktör tarafından etkilenen heyelanlar için kullanılamamaktadır. Bu amaçla eldeki tüm bilgileri toplayan Varnes, geniş uygulama alanı bulan bu sistemi önermiştir. U.S. Transportation Research Board ve National Academy of Sciences tarafından da kabul edilen ve yayınlanan bu sınıflandırma, Tablo 3 'de gösterilmiştir[4].

Tablo 3. Varnes'in sınıflandırma sistemi [4]

Hareket Tipi	ZEMİN CİNSİ			
	ANA KAYA		TOPRAK	
DÜŞMELER	Kaya Düşmesi		Toprak Düşmesi	
AZ ÜNİTELİ KAYMALAR	Dönel Çökme	Düzlemsel Blok Kayması	Düzlemsel Blok Kayması	Dönel Blok Çökmesi
ÇOK ÜNİTELİ KAYMALAR	Kaya Kayması		Döküntü Kayması	Yanal yayılmadan dolayı kırılma-kayma
KURU AKMA	Kaya Parçaları Akması	Kum ve silt	Karışık çok Plastik	
YAŞ AKMA	Kum Akması	Lös Akması	Döküntü Akması	Yavaş Toprak Akması Çamur Akması
KARMAŞIK	Çeşitli malzeme veya hareket tiplerinin kombinezonları			

Varnes'in sınıflandırma sisteminin ilgi görmesinin nedeni Şekil 12 'de görüldüğü gibi üç boyutlu olarak sunulmasıdır[4].

Hutchinson, Tablo 4 'de verilen sınıflandırmada, şevin maruz kaldığı hareketin geçmişini ve sürecini dikkate almıştır[13].

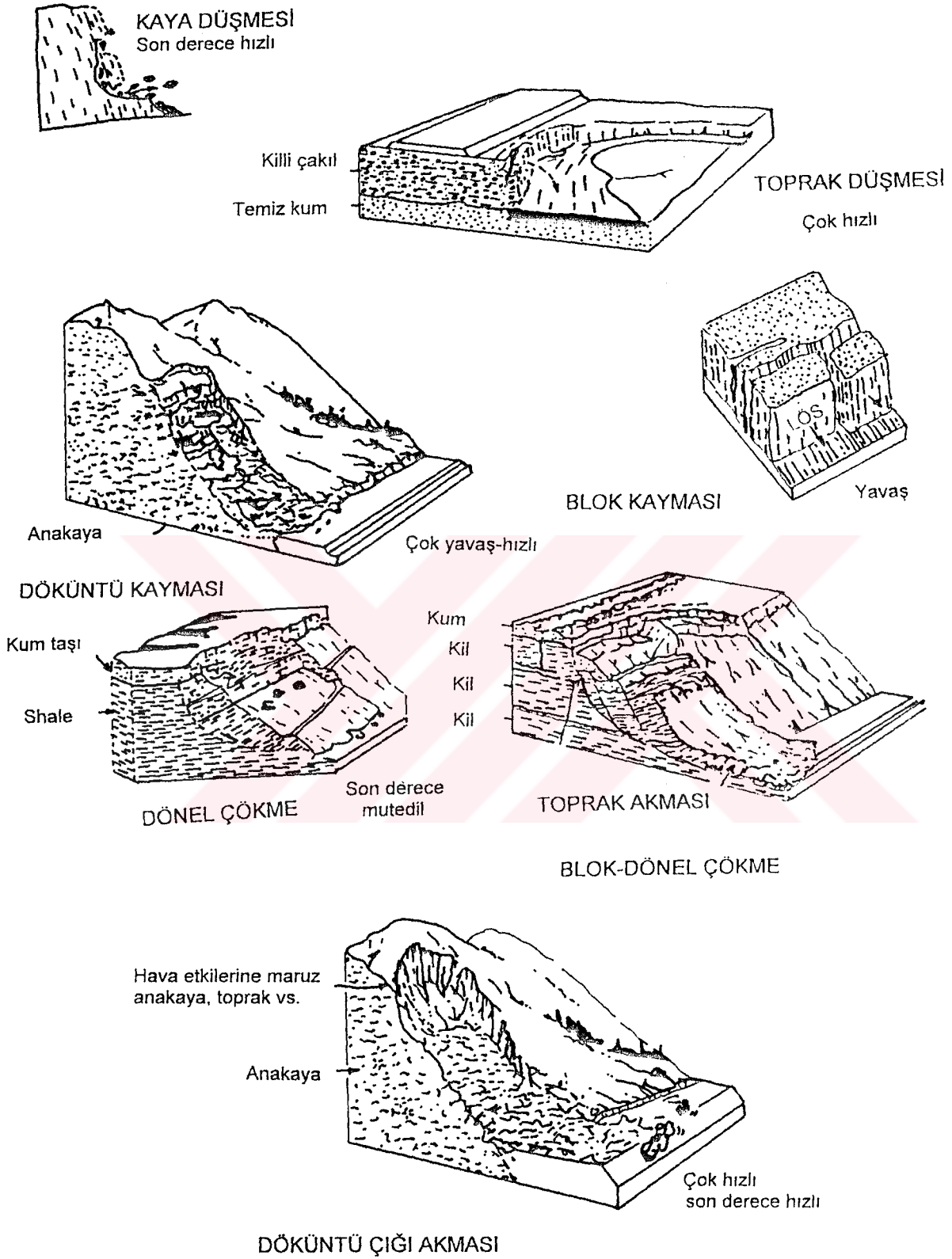
Tablo 4. Geoteknik sınıflandırma[13]

c ve ϕ 'den etkilenen zemin bünye durumları	Boşluk suyu basıncından etkilenen zemin bünye durumları
1. Önceden hiç kayma görülmemiş zeminlerde kısa dönem heyelanları (Kayma mukavemeti parametreleri ya pik veya kalıcı değerler arasındadır).	1. Kısa Dönem (Drenajsız) (Fazla boşluk suyu basıncı dengede değil)
2. Önceden kaymış zeminlerdeki heyelanlar (Kayma mukavemeti parametreleri kalıcı değerlere çok yakındır).	2. Orta (Fazla boşluk suyu basıncı kısmen dengededir)
	3. Uzun dönem (Drenajlı) (Fazla boşluk suyu basıncı sürekli sızıntı değerlerine yakındır).

Şev hareketleri veya heyelanların sınıflandırılması konusu oldukça geniştir. Yapılan sınıflandırmanın en önemli yanı, araştırmacının amacına uygun olmasıdır. En basit sınıflandırma Blong[11] tarafından verilmiştir. Yapılan bu sınıflandırmada şev hareketleri kaymalar, düşmeler, çökmeler ve akmalar olarak dört grupta incelemiştir. Bu sınıflandırma basit olmasına rağmen, çoğu amaçlar için de yeterli olmaktadır. Ancak, daha detaylı bir sınıflandırma gerekiyorsa Varnes[4] tarafından geliştirilen sınıflandırma kullanılabilir.

1.5. Şev Stabilite Problemleri

Bir şevin kullanım ömrü boyunca, meydana gelebilecek göçme mekanizmalarına göre, yükleme hızı ve drenaj koşullarının da birlikte düşünülmesi gerektiği, farklı sızma ve yükleme durumları ile karşılaşılabılır. Stabilite analiz koşullarında en önemli etken, şevi oluşturan zeminin geçirgenliğidir. Geçirgenliği yüksek zeminlerde su çabuk drene olacağından, yükleme sırasında zemin konsolide olma olanağı bulacaktır. Bu durumda stabilite analizi drenajlı koşullarda bulunan parametrelerle yapılmalıdır. Geçirgenliği düşük zeminlerde ise yükleme sırasında su drene olma imkanı bulamayacağından analiz,drenajsız koşullarda bulunan parametrelerle yapılacaktır. Ayrıca uygulamada her iki durumun da söz konusu olduğu problemler ortaya çıkmaktadır.



Şekil 12. Varnes'in sınıflandırma sistemi [4].

Kısa süreli stabilite problemlerinde, yani inşaat ve kazı sırasında, drenajsız koşullar geçerli olurken uzun süreli stabilite incelemelerinde, drenajlı durumu ele almak uygun olacaktır. Uygulamada çok farklı koşullar ile karşılaşmakta ve bunların hepsini tek bir deney yöntemi ile kontrol etmek mümkün olamamaktadır. Bu nedenle, durumları sınıflandırmak ve kayma mukavemeti parametrelerini ona göre bulmak gerekmektedir. Faktörler, zeminlerin kayma mukavemetini etkilediğinden, şevde potansiyel göçme ve yapım sırasında oluşabilecek kritik durumlar ve aşamalar göz önüne alındığında stabilite problemleri, drenajsız durum, drenajlı durum ve kısmen drenajlı durum olmak üzere üç grupta incelenebilir.

1.5.1. Drenajsız Durum

Bir zeminin kayma mukavemeti hangi koşullarda olursa olsun efektif gerilmelere bağlıdır. Boşluk suyu hareketlerine getirilen kısıtlamalar, su basıncında artışa neden olurlar. Boşluk suyu basıncındaki değişimler de doğrudan efektif gerilmeleri ve dolayısıyla da kayma mukavemetini etkiler. Toplam gerilme analizinin kullanıldığı ve yükleme-boşaltma sırasında drenajın oluşmadığı arazi koşullarında, drenajsız kayma mukavemeti ile hesap yapılmalıdır. Zeminde konsolidasyon olayının gerçekleşmediği yani suyun drene olmadığı duruma en güzel örnek kil şev üzerinde inşa edilen yapılarıdır. Killi zeminlerdeki şevlerde kısa süreli stabilite hesaplarında ve bu gibi şevlerde oluşan kaymaların incelenmesinde drenajsız olarak yapılan deneylerden alınan, efektif veya toplam gerilmeye göre bulunmuş, mukavemet parametreleri kullanılmaktadır. Hem yapım hem de göçme sırasında drenaja müsaade etmeyen, hızlı oluşan durumları belirlediğinden, bu durum kısa-dönem yapım veya yapım sonrası durum olarak da adlandırılır. Şev stabilite problemlerinde kullanılan kayma mukavemeti parametreleri değişik yükleme ve drenaj şartları altında laboratuvarında yapılan üç eksenli deneylerden elde edilmektedir. Analizde zeminin doğal su muhtevasına, aşırı konsolidasyon oranına, zemin cinsine, yükleme ve yeraltı suyu koşullarına, deney tekniğine dikkat ederek, uygun kayma mukavemeti parametreleri seçmek gerekir. Zeminlerde kırılma şartı genellikle

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

şeklinde Mohr-Coulomb ifadesi ile verilir. Bu kırılma kriterinde, zeminlerdeki kayma mukavemetinin olası göçme yüzeyi boyunca kaymaya karşı oluşan dirençten kaynaklandığı kabul edilmektedir. (1) bağıntısına bakıldığında bu direncin, $\sigma \tan \phi$ sürtünme direnci ve c kohezyon direnci olmak üzere iki terimden oluştuğu görülmektedir. Burada ϕ kayma mukavemeti açısı, sadece dane yüzeyleri arasındaki sürtünmeden oluşan direnci değil, aynı zamanda danelerin birbirine göre hareketine engel olan kilitlenme etkisini de içeren toplam direnci temsil etmektedir. Kil şevlerin toplam gerilme yaklaşımı ile drenajsız kayma mukavemeti analizleri (1) bağıntısı ile yapılmaktadır. Yukarıda bahsedilen yükleme koşullarının etkileri gözönüne alınacak olursa, kayma mukavemeti parametreleri çabuk ve drenajsız deneylerden yani konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) deneylerden elde edilen parametreler olarak düşünülmelidir.

Zeminin, yük altında sıkışması, şekil değiştirmesi gibi ölçülebilen bütün davranışları efektif gerilmeler tarafından kontrol edilmektedir. Efektif gerilme de, zemin içindeki herhangi bir nokta üzerine etkiyen toplam asal gerilmeler ile hidrostatik boşluk suyu basıncı arasındaki farka eşittir. Bu tanıma göre tamamen suya doygun bir zeminde efektif veya daneler arası gerilme, Terzaghi [15] tarafından

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2)$$

eşitliği ile verilmektedir. Zeminlerin daneli bir yapıya sahip olmalarından dolayı toplam yükün belli bir kısmını daneler arası değme noktalarında oluşan gerilmeler, diğer kısmını da boşluklardaki basınç karşılamaktadır. Efektif gerilme hesaplarında kullanılan toplam gerilmenin, zemin iskeleti tarafından taşınan bileşeni olduğu kabul edilirse Mohr-Coulomb kırılma kriteri,

$$\tau_f' = c' + (\sigma - u) \tan \phi' \quad (3)$$

şeklini alır. Kilin drenajsız kayma mukavemeti laboratuvar veya arazi deneylerinden bulunabilmektedir. Fakat pratikte drenajsız kayma mukavemeti deney tipine bağlı olduğundan, deney sonuçları dikkatlice kullanılmalıdır.

1.5.2. Drenajlı Durum

Geçirimsizliği yüksek olan kum ve çakıl gibi zeminlerde, bir çok yükleme hızı için zemin içindeki su oldukça çabuk dışarı çıkmakta ve konsolidasyon olayı da oldukça hızlı gelişmektedir. Bazı durumlarda da, yükün uygulanması sırasında konsolidasyon sona ermektedir. Bu gibi koşullar dikkate alındığında, geçirimsizliği yüksek olan zeminlerdeki kayma mukavemeti parametreleri, arazideki koşullara karşı gelen efektif gerilmelere göre bulunan kayma mukavemeti parametreleridir. Efektif kayma mukavemeti parametreleri boşluk suyu basıncı artışlarına imkan tanımadan, çok yavaş, yani drenajlı durumda, kayma mukavemeti parametreleri konsolidasyonlu drenajlı (CD) deneyler ile belirlenebildiği gibi boşluk suyu basıncı ölçülen konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneyler ile de belirlenebilmektedir.

1.5.3. Kısmen Drenajlı Durum

Bazı yükleme durumlarında, zemin cinslerine göre oluşan boşluk suyu basınçlarının, kısmen sönmüldüğünü kabul etmek daha gerçekçi bir yaklaşım olmaktadır. Bu tip problemlerde, efektif kayma mukavemeti parametreleri kullanılmaktadır. Burada geçirimsizliğe bağlı olarak boşluk suyu basıncının sönmülmesinin etkisi hesaba katılır ve konsolidasyonlu-drenajsız deneylerden elde edilen parametreler kullanılır. Deneyler sırasında, zeminin ilk gerilme durumunu verecek konsolidasyon basıncı ve kesme sırasında ani su çekilmesinden doğan gerilmelere karşılık gelecek normal basınçlar seçilmelidir. Yapım sırasında, su muhtevası azaldığı ve yükleme nedeniyle pozitif boşluk suyu basınçlarının oluştuğu, kademeli yükleme durumlarında bu analizi kullanmak doğru olur.

Aitchison ve diğerleri [16], efektif gerilme prensibinin geçerliliği üzerinde araştırmalar yapmışlar ve zemin suyundaki, p'' değişikliklerinin (emme veya basınç), efektif gerilmelere katılması gerektiğini savunarak,

$$\sigma' = \sigma + p'' \quad (4)$$

eşitliğini önermişlerdir. Aitchison[17], boşluklara hava girmesi durumunda boşluk suyu basıncının tüm kesitte etkili olmamasından dolayı, (4) bağıntısının geçerliliğinin kalmayacağını, bu durumda

$$\sigma' = \sigma + V(u_a - u_w) - u_a \quad (5)$$

eşitliğinin dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Burada u_a boşluktaki gaz fazın basıncını, u_w boşluklardaki sıvı fazın basıncını, V ise çeşitli zemin cinsleri için doygunluk derecesinin bir fonksiyonu olarak seçilebilen bir parametreyi göstermektedir. Buna göre kısmen doygun zeminlerde efektif gerilme,

$$\sigma' = \sigma - u^* \quad (6)$$

bağıntısı ile tanımlanabilir. Burada eşdeğer boşluk suyu basıncı

$$u^* = [Vu_w + (1 - V)u_a] \quad (7)$$

olarak verilmiştir. Kısmen doygun zeminlerde, σ' efektif gerilmesi, uygulanan toplam gerilme σ 'dan, eşdeğer boşluk suyu basıncının çıkarılması ile elde edilmektedir.

1.6. Güvenlik Sayısı

Yapılan bütün zemin yapılarının, göçmeye karşı yeterli güvenlikte tasarlanmış olması gerekmektedir. Zemin yapısının güvenliği çoğu kez güvenlik sayısı denilen bir parametre ile kontrol edilir. Güvenlik sayısı; dengeyi koruyan kuvvet ve momentlerin, kaymayı sağlayacak kuvvet ve momentlere oranı olarak tanımlanmaktadır.

Stabilite analizinin sonuçları normal olarak güvenlik sayısı terimleri ile açıklanırlar. Güvenlik sayısı, yapının stabilitesini temsil eden matematiksel bir oran olduğundan, kayma mukavemeti ve gerilmelere göre değişmektedir. Birçok basitleştirici varsayımın yapıldığı, yarı amprik analiz yöntemlerinde, hangi metodun uygulanacağına projeci kendi deneyimleri

ile karar verir. Böylece güvenlik sayısı gerçekte, projeciye bir proje ile diğerini kıyaslama imkanı tanıyan bir deneyim faktörü olarak ortaya çıkar[18].

Geoteknik mühendisliğinde yapılan çeşitli güvenlik sayısı tanımları aşağıdaki gibidir.

1. Potansiyel kayma yüzeyi boyunca direnen kuvvetlerin, kaydıran kuvvetlere oranı
2. Bir noktada direnç gösteren momentlerin, kaydıran momentlere oranı
3. Potansiyel kayma yüzeyi boyunca zemindeki mevcut kayma mukavemetinin, ortalama kayma gerilmelerine oranı

Morgenstern ve Sangrey[19], güvenlik faktörünü, belli bir kayma yüzeyi boyunca, sevi limit denge durumuna getirebilmek için, kayma mukavemeti parametrelerinin azaldığı bir faktör olarak tanımlamıştır. Bu tanıma göre güvenlik sayısı, kayma mukavemeti parametrelerine bağlıdır ve kayma yüzeyi boyunca üniform kabul edilmektedir. Potansiyel kayma dairesi merkezine göre moment alındığında; güvenlik sayısı tanımı, karşı koyucu momentlerin, kaydırıcı momentlere oranı olarak yapılmaktadır. Fakat kayma yüzeyi dairesel olmadığında güvenlik sayısını bu şekilde bulmak yanlış olacaktır. Şevlerde gerilme dağılımının detaylı hesaplandığı durumlarda güvenlik sayısı; bir noktada hesaplanan gerilmenin, müsaade edilen gerilmeye oranından bulunmalıdır. Örnek olarak, eğimli bir düzlemde yer alan tek bir zemin veya kaya kütesinin kayma düzlemi, kaya mekaniğinde ek veya fay, zemin mekaniğinde bir yataklanma düzlemi ve hatta göçmenin yer aldığı dairesel bir yüzey olabilir. Stabilitayı bozan kuvvete, kayma yüzeyi üzerindeki mevcut kayma mukavemeti, direnç gösterir. Kaydırıcı kuvvet, kayma mukavemetine ancak blok kayma sınırına geldiğinde eşit olur. Bu durumda; harekete karşı direnen kuvvet, stabiliteyi bozan kuvvete eşit olur. Buna mobilize olmuş (uyan) kayma mukavemeti denir. Gerçek mukavemet ile mobilize olmuş mukavemet arasındaki oran da güvenlik sayısını verir. Hareketi sağlayan kuvvet, aşağıya doğru hareket eden bloğun ağırlık bileşenidir. Bu kuvvet yapı, sismik atalet yükleri ve diğer kuvvetler ile artabilir. Direnç gösteren kuvvetler de ağırlık bileşeninden bulunur. Bunların en önemli özelliği zeminin sürtünme ve kohezyon bileşenlerine bağlı olmalıdır.

Chugh [20], limit denge yöntemine dayanan şev stabilite analiz yöntemlerinde, zeminin kayma mukavemetindeki belirsizlik ve değişimleri hesaba katmayan, tüm kayma yüzeyi boyunca sabit olan bir güvenlik sayısı kabulü yapmaktadır. Kezdi [18], güvenlik sayısının sadece kayma mukavemeti parametrelerine değil, aynı zamanda özel göçme mekanizmalarına da bağlı olduğunu ileri sürmüştür. Suyun etkisinin olmadığı şevin, ani su

çekilmesi halinin, sızma etkisinde olan şevin, topuk kayması, derin kayma, düzlemsel kayma gösteren şevlerin hepsinin değişik güvenlik sayılarının olması gerektiğini belirtmiştir. De Mello [21], küçük jeolojik detayların, gerçek boşluk suyu basıncının, zeminin gerilme-şekil değiştirme özelliklerinin, başlangıç gerilmelerinin ve diğer faktörlerin güvenlik sayısını önemli derecede etkilediğini ve güvenlik sayısı hesabında her değişkenin hesaba katılması gerektiğini ileri sürmüştür. De Mello'ya göre güvenlik sayısının 1.0 olması, şev göçmesinin çok yakında olduğunu göstermemektedir. Grivas[22] ve Harr[23], bu sayının hesaplanmasının deterministik yaklaşımdan çok olasılıksal yaklaşımla olması gerektiğini savunmuşlardır. Peck[24], bir şevin en kötü durumu için hesaplanan ve sabit kabul edilen güvenlik sayısının her zaman emniyetli tarafta kalacağını ileri sürmüştür. Baikie[25] ise, kayma mukavemetinin bileşenleri olan sürtünme ($\tan\phi$) ve kohezyon (c) için iki ayrı güvenlik sayısı kullanılması gerektiğini önermiştir. Problemin tüm stabilitesi için eşitlik, ilk defa Collin[26] tarafından,

$$G.S.=\text{Direnen kuvvetler/Harekete geçiren kuvvetler} \quad (8)$$

şeklinde tanımlanmıştır. O günden beri bu bağıntı, mobilize olmuş kayma mukavemeti denklemleri ile birlikte, lokal veya tüm stabilite eşitliklerinde kullanılmaktadır. Bu denkleme göre seçilen bir potansiyel kayma yüzeyi boyunca, yalnızca göçmede değil, dengede olma durumunda da güvenlik sayısı 1.0 'den büyük olmalıdır. Özel olarak şev stabilite analizlerinde bu güvenlik sayısının 1.5 'den büyük olması tercih edilir. Stabilite analizlerinde değişik şartlarda sağlanması gereken güvenlik sayıları Tablo 5 'de verilmektedir[7].

Tablo 5. Yamaç ve şevlerde güvenlik sayıları[7]

Şart	Güvenlik Sayısı G.S.		
	Toplam Gerilme	Efektif Gerilme	Deprem
Dolgularda yapım sonu	1.50	-	-
Yarmalar	1.50	1.25	1.0
Barajda sızıntı	1.50	1.25	-
Barajda ani su düşmesi	1.50	1.10	-
Laboratuvar maksimum direnç parametreleri kullanımı (peak) ile	1.50	1.35	1.0
Kalıcı dirence göre	-	1.20	1.0
Uzun vadede duraylık	-	1.20	-
Yamaç üzerinde yapı bulunması	1.80	1.50	1.2
Fisürlü killer	-	1.50	-

Şev tasarımında güvenlik sayısının rolünü iyice anlamak gerekmektedir. İyi tanımlanmış bir rolde belirsizlikler dikkate alınmalı ve analize giren birimlerin (boşluk suyu basıncı dağılımı, mukavemet parametreleri ve tabakalaşma) güvenilirliği bir anlamda bunda etkili olmalıdır. Şev tasarımı yapanların, zemin parametreleri hakkındaki bilgileri ve arazi çalışmaları ne kadar az ve kalitesiz ise güvenlik sayısı da o derecede büyük olmaktadır.

1.7. Şev Hareketlerinin Nedenleri

Şev hareketleri, başlangıçtan sonuna kadar sürekli bir olaylar dizisi sonucu karşımıza çıkmaktadır. Bir heyelan sorunu ile karşılaşan mühendis bu heyelanın zararlı etkilerini gidermeye çalışmalıdır. Birçok hallerde, heyelanın ana nedeni önlenemediğinden, etkileri sürekli ya da aralıklı olarak azaltmak daha ekonomik olacaktır. Bazı heyelanlar birkaç saniye içerisinde oluşup tamamlanarak tek bir bölgeye has kalırlar. Meydana gelen zararlar belli oranlarda giderilir ve kayma nedeni fazla araştırma yapılmadan belli kuvvetler ile bulunabilir. Bununla birlikte heyelanlar genellikle jeolojik, topoğrafik, iklim faktörlerinin hep birlikte etkili olduğu daha geniş alanlarda meydana gelirler. Belli başlı fiziksel özellikleri bilinen bazı kabuk hareketleri, erozyon ve aşınmanın meydana geldiği kaya şevlerde kaymanın oluşumu ve gelişimi tek bir nedene bağlanamayabilir. Sonuç olarak bazı kuvvetler önemsenmeseler de şevin aşağıya doğru hareketini başlatabilirler. Burada hareketi doğuran son kuvvet yalnızca tek bir nedene bağlı değildir, bir sürü etkenin oluşturduğu zincirin bir halkasıdır. Sowers[27], şevi kaydıran etmenlerin, eş zamanlı olduğunu ve sonuçta hangisinin etkin olduğuna karar vermenin zor olduğu kadar yanlış da olacağını savunmuştur. Yani kayma sınırında olan bir zemin kütlesi için sonuç faktör bir başlatıcı olmaktan öteye gidememektedir.

Düşmeler hariç bütün heyelanlar, toprak zeminlerin kesme kuvveti etkisi altında dengelerinin bozulmasıyla oluşurlar. Bu durumda bir heyelanın oluşumuna;

- Yüksek kesme kuvvetini meydana getiren etkenlerle
- Minimum kesme mukavemeti ile ilgili etkenlerin

incelenmesiyle başlamak gerekir[28]. Toprak malzemenin stabilitesinin bozulması ile ilgili belli başlı etkenler Tablo 6 'da verilmektedir.

Tablo 6. Yamaç dengesinde etkenler[7]

I. Gerilme Artışı	II. Dirençte Azalma
1. Yamaç üstünde yük artışı	1. Aşınma, yıpranma
2. Topuğa yakın bölgeden malzeme kaybı	2. Süreksizlik yüzeylerinde su basıncı
3. Deprem ve diğer titreşim ivmeleri	3. Kuru ortamda ani ıslanma ve yapının bozulması
4. Çatlak suyu basınçlarındaki artış	4. Zaman ve hareket sonucu dirençte maksimumdan kalıcıya düşme
5. Çekme çatlaklarına su dolması	5. Killi matrisin şişmesi
6. Giderik kırılma olayı	6. Çatlak ve boşluklarda bulunan buz mercceklerinin erimesi
7. Yamaç dışındaki su düzeyinde düşme	7. Çimentolayıcı malzemenin yıkanması
	8. Boşluk suyu basınçlarının artması

Şev hareketlerinin ortaya çıkışında, bir takım çevresel faktörlerin etkisi olduğu açıktır. Bu faktörlerin ne derece etkili olduğunun bilinmesi, hareketin boyutu ve süresi hakkında sağlıklı tahmin yapılarak, gerek projelendirme, gerekse inşaat esnasında birçok yararlar sağlanmaktadır.

1.8. Şev Stabilitesi Islah Yolları

Şev stabilite analizinde kullanılan yöntemlerin amacı, mühendislere karşılaştıkları şev kaymalarında uygulayabilecekleri, uygun ıslah çarelerini bulmakta yardımcı olmaktır. Kaymanın meydana geldiği yüzey, yer değiştiren zemin boyunca açılan muayene çukurları ve galerilerle dikkatlice incelenir. Bunların yapılmasının pratik olarak imkansız olduğu derin kaymalarda ise sondajlardan çıkarılan numunelerin durumu, kayma yüzeyinin derinliği hakkında bilgi vermektedir[29].

Arazi kaymasının meydana getirdiği tahribatın giderilmesi ve kaymanın tekrar etmesinin önlenmesi anlamına gelen ıslah, çeşitli şekillerde olabilir. Bu çözüm heyelanın cinsine, büyüklüğüne, şekline ve önemine göre değişmektedir. Buna göre şev stabilitesi ıslah metodları Tablo 7'de gösterildiği gibidir[31].

Heyelanlarda alınacak önlemler, bir başka açıdan da aşağıda görüldüğü gibi verilmektedir[30].

1. Heyelana hiç dokunmamak
 - Heyelanlı araziye terk etmek
 - Heyelanı bir köprü ile geçmek

Tablo 7. Heyelanlarda alınacak önlemler[31]

Yöntemin Prensibi	Uygulanabilecek Yöntemler	Açıklamalar
I. Göçme nedeni yüklerin azaltılması	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kayma alanının üst kısmındaki zeminin kaldırılması 2. Şevlerin yatırılması 3. Kaydırıcı veya aktif itkinin geçerli olduğu alanlardaki yeraltı su düzeyinin düşürülmesi 4. Yüzeysel suların derivasyonu 5. Sızan boruların alan dışına çıkarılması 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Her zaman fizibil değil 2. Her zaman fizibil değil 3. Yeğlenir, pompaj gerektirmiyorsa genellikle ucuz; her zaman fizibil değil
II. Boşluk suyu basıncı fazlasının azaltılması yoluyla, zeminin kayma direncinin artırılması	<ol style="list-style-type: none"> 1. Yüzeysel drenajın iyileştirilmesi 2. İçsel (YAŞ) drenaj <ol style="list-style-type: none"> a) Yatay drenler b) Düşey kuyular; serbest akışlı veya pompajlı c) Düşey kum drenleri d) Drenaj galerileri 3. İnce daneli zeminlerde elektrik geçirme yoluyla kurutma (electroosmosis) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Yeğlenir 2. Çoğu kez uygulanabilir <ol style="list-style-type: none"> a) Genellikle serbest akım b) Noktasal kuyu sistemlerini (wellpoint systems) veya geniş aralıklı tekil derin kuyuları kapsayabilir c) Drenler döşendiğinde, daha derindeki geçirimli katmanlara veya doğal zemin yüzüne boşaltımı sağlayacak ölçüde düşük çıkış kotları gerekir 3. Diğer yöntemlere göre daha çabuk sonuç verir; genellikle pahalı ve denenerek emin olunduktan sonra kullanılmalıdır. Zemin suyunun tuz içeriği yüksekse maliyet önemli ölçüde artabilir.
III. Topuk dolgusu, toprak payanda, ve topuk yüklemesi yoluyla direnen kuvvetlerin artırılması	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kayan kütlelerin aşağı kesimi üzerinde ve topuk ötesinde dolgu oluşturulması 2. Örselenmemiş zemin üzerine oturan yüksek dirençli toprak payanda yapılması 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Olabiliyorsa serbest drenajlı malzeme kullanılmalı. Kaymanın topuk ötesine ulaşmasını önlemek bakımından yeterli genişlikte olmalıdır. 2. Olabiliyorsa serbest drenajlı malzeme kullanılmalıdır.
IV. Yükü kayma alanı dışındaki sağlam zemine aktaran yapılar yoluyla direnen kuvvetlerin artırılması	<ol style="list-style-type: none"> 1. İstinat duvarları 2. Zemin ankrajları 3. Düşey kazıklar veya perdeleme 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Yeterli desteği sağlayabilecek biçimde projelendirilebilse çok pahalı olabilir. 2. Özellikle sürekli destek sağlama amacıyla yapılacak yerlerde yüksek güvenlik sayıları alınarak özenle projelendirilmelidirler. 3. Düşey kazıkların yatay veya eğik yüklerle dayanımı, zeminin kazıklar arasından kayması veya kazıklarla birlik toptan göçmesi olasılıkları çok iyi incelenmiş olmalıdır.
V. Özel koşullardaki yöntemler	<ol style="list-style-type: none"> 1. Enjeksiyon 2. Isıtma 3. Dondurma 4. Titreşimle sıkıştırma 5. Kompaksiyon 	Yalnızca özel koşullarda uygulanabilen özel yöntemlerdir. Yöntemin uygulanabilirliği ve ekonomisi irdelenmeli ve seçenek çözümlerle karşılaştırılmalıdır.

2. Heyelan sebeplerini ortadan kaldırmak

- Drenaj
- Şev yükünü azaltmak

3. Heyelanı tutucu bir yapı ile durdurmak

- Etekte taş dolgu
- İstinat duvarı
- Kazıklar
- Palplanş

4. Diğer tedbirler

- Çimento enjeksiyonu
- Şevin ağaçlandırılması

Bazı aktif veya potansiyel heyelan bölgelerinde, yalnız bir tek metodun uygulanabileceğini söylemek mümkün olmamaktadır. Böyle durumlarda en etkili yöntem, birkaç metodun bir arada uygulanmasıdır. Fakat heyelan olaylarında ıslah metodlarının bazıları daha başlangıçtan elenip, birçok yöntemden ancak birkaçı üzerinde durulmaktadır. Çoğu hallerde son seçim, birbirinin yerini alabilecek iki veya daha çok metod arasında karşılaştırma yaptıktan sonra mümkün olmaktadır[28].

2. TEORİK ÇALIŞMALAR

2.1. Zemin Şevlerinin Stabilitesi

Eski çağlardan beri insanlar, çeşitli amaçlarla yaptıkları yapıların yüklerinin aktarıldığı zeminin, stabiliteleri ile ilgilenmişlerdir. Yeryüzü geometrisinin yarattığı doğal şevler ve bu şevler üzerine inşa edilen yapılar, tasarımı, stabiliteleri ile mühendislerin güvenlik ve ekonomik açıdan en çok ilgilendikleri konulardan biri olmuştur. Artan nüfus ve teknolojik gelişmelere paralel olarak çoğalan yollar, problemlili zeminler üzerindeki yüksek dolgular, barajlar, büyük ve derin kazılar beraberinde stabilite problemlerini de getirmektedir.

Şevler, kendi ağırlıkları, zemin kütlesi üzerindeki ağırlıklar, yerüstü ve yeraltı su hareketlerinden doğan kuvvetler, depremler gibi ek kuvvetlerin etkisiyle aşağıya doğru harekete zorlanırlar. Bu kuvvetler de, zemin kütlesindeki kayma gerilmelerini (τ) doğurur. Şev dengesinin korunması için, herhangi bir düzlemdeki kayma gerilmesinin, aynı düzlemde doğan τ_f kayma mukavemetinden küçük olması gerekir.

Şev kaymaları ve heyelanların nedenleri, bunların aldıkları şekillerin de çeşitli olması stabilitesizliğin doğasını, matematiksel olarak yorumlamayı zorlaştırmaktadır. Şevlerde, yalnızca nedenlerine ve çeşitlerine bakarak analiz yapmak bir bakıma yanıltır. Çünkü şevden beklenen fonksiyonların da analiz aşamasında önemi büyüktür. Çoğu hallerde şevlerin fonksiyonel tasarımı için, şev zemininde oluşacak deformasyonların sınırlı olması gerekmektedir. Şev yakınlarında özel herhangi bir yapı yoksa, deformasyonlar göçmeyi gerçekleştirecek kadar kontrolsüz olmamak koşuluyla büyük olabilirler. Fakat şev yakınlarında veya altında önemli yapılar var ise, küçük deformasyonlar bile kabul edilememektedirler. Bu durumda fonksiyonel bir tasarım için, zemin kütlesinde ortalama gerilme seviyesi de düşük olmalıdır. Tasarımın önemli noktalarından biri de şevin kullanım süresidir. Bu durumun stabilite analiz yöntemlerinde, en az diğer bileşenler (yapım süreci, drenaj koşulları, malzeme özellikleri) kadar önemli olduğunu vurgulamak gerekir.

Mühendislik açısından, hemen her problemde denge, sayısal olarak ifade edilir ve sonuçta bir güvenlik sayısının hesaplanması istenir. Bu hesaplar sırasında da, limit gerilme ve limit denge olmak üzere iki ana yaklaşım yapılır.

2.1.1. Limit Gerilme Yaklaşımı

Sürekli ortam mekaniğinde bir yapıyı analiz etmek için; sistemin belirlenmesi, uygulanan gerilmelerin saptanması, malzemenin mekanik özelliklerinin belirtilmesi gerekir. Ortamdaki gerilme dağılışının hesaplanmasından sonra bunlar, malzemenin gerilme-deformasyon karakteristikleri ile karşılaştırılarak sistemin uzama-kısalmaları ve direncinin aşılıp aşılmadığı bulunur. Son yıllarda geliştirilen analiz yöntemlerinden olan sonlu elemanlar tekniği ile, verilen şev kesiti ve malzeme özellikleri için deformasyonları analiz etmek ve şevdeki güvenliği, şevdeki gerilme-şekil değiştirmelerle bulmak kolay olmaktadır. Bir şevde en kolay ölçümün uzama-kısalma olduğu gözönüne alınır, sürekli sayısal analizin arazi ölçümleri ile karşılaştırılması olanağı da ikinci faydalı yön olarak belirir. Bu tür gelişmiş yöntemlerdeki veriler, kendi hatalarını olduğu gibi sonuca yansıttığından çok doğru olmaları gerekir. Bu nedenle projeci, bir takım laboratuvar deneylerinden elde edilen zemin özelliklerine fazla güvenemiyorsa, bir baraj, dolgu veya şev kesitini vermesi için sonlu elemanlar yöntemini kullanması doğru olmayacaktır.

Bütün bunlara rağmen limit gerilme yaklaşımı gerçekçi bir yaklaşım olup, dış yükler ve kendi ağırlığı altındaki ortamın, hangi ölçüde hareket edeceği, gerilmelerin hangi noktalarda yoğunlaştığı ve bunun sonucunda göçmenin olup olmayacağı incelenmesi esasına dayanır. Ancak bu yaklaşım, gerilme analizini yapacak yöntem ve araçların bulunmasını ve ortamın özelliklerinin her noktada doğru olarak belirlenmesini gerektirir. Sonlu elemanlar yöntemi ve sayısal analiz tekniklerinin gelişmesiyle birinci zorluk büyük ölçüde kaldırılmıştır. Ortam özelliklerini tarifte karşılaşılan güçlükler, yapılan birçok aşamaya rağmen henüz tümüyle çözülememiştir[6].

Ortam özelliklerinin yetersiz olarak bulunmasının en önemli nedenleri:

1. Temel malzemesinde, gerilme-deformasyon modelinin saptanması, başka bir deyimle rijitliğin verilememesi
2. Malzeme özelliklerinde yersel, yönsel değişimin olasılığı
3. Üniform olmayan boşluk ve çatlak suyu basınçlarının varlığı
4. Özellikle kayada yönü ve şiddeti belli olmayan doğal gerilmelerin varlığıdır[32].

Bu sakıncalardan dolayı, limit gerilme analizi, yamaç stabilitesinde geniş uygulama alanı bulamamaktadır. Karşılaşılan teknik güçlüklerin yanında, limit gerilme çözümüne gelen eleştiriler, yamaçların büyük bir çoğunluğunda kaymanın, önceden mevcut süreksizlik

yüzeyleri boyunca oluştuğu ya da tek kayma yüzeyinin, sonradan belirmesi nedeniyle genel deformasyon analizinin gereksiz olduğu şeklinde yapılmıştır.

2.1.2. Limit Denge Yaklaşımı

Limit gerilme yaklaşımının, çözümde yarattığı zorluklardan dolayı başka yaklaşımların geliştirilmesi ihtiyacı duyulmuştur. Bu yaklaşım, ölçülmüş veya seçilmiş yüzeyler boyunca stabilitenin hesaplanmasına dayanır. Bu basitleştirme, hesapların elle yapılmasına olanak sağlaması açısından tercih edilir olmuştur. Diğer taraftan, limit denge prensiplerine dayanan basit yöntemlerle, gerilme altında yapıların deformasyonları hesaplanamasa bile, yapıların güvenliği hakkında karşılaştırmalı sonuçlar bulmak mümkün olmaktadır. Göçen şevler için, geriden yapılan hesaplardan bulunan mukavemet parametreleri, laboratuvar deney sonuçlarına benzemekte bu da limit denge yaklaşımına karşı güven vermektedir.

Limit denge yaklaşımının dayandığı ana fikir; göçme olasılığı olan bir yüzey varsaymak ve bu yüzey boyunca göçmeye yol açacak gerilme durumunu bulmaya çalışmaktır. Bunun için kayma yüzeyinin yeri ve şekli önceden kabul edilir. Sonra kayma bölgesindeki kütlelerin dengede kalması için gerekli olan kayma direnci hesaplanır. Bu analize göre güvenlik sayısı, denge için gerekli kayma direnci ile kayma yüzeyinde gerçekte varolan veya uyanan (mobilize) kayma direncinin karşılaştırılması ile bulunan bir katsayıdır. Kritik güvenlik sayısını bulmak için işlem, değişik şekil ve yerdeki kayma yüzeylerine göre iterasyon ile tekrarlanmalı ve en düşüğü seçilmelidir. Limit denge yaklaşımı klasik elastisite teorisi ile incelendiğinde hesaplanacak dengenin, gerçek değerinden daha düşük olacağı saptanmıştır. Bu yaklaşımın kullandığı yöntemlerin hepsi şu üç ortak noktayı içermektedir.

1. Güvenlik sayısı; mevcut kayma direncinin, kayma gerilmesine oranlanmasıyla bulunur.
2. Malzemenin kayma direnci; yenilme noktasına kadar doğrusal, bunun üzerinde yataydır.
3. Denge; bilinen üç denklemlerle hesaplanır. Hiperstatik durumlarda, bunun derecesi kadar varsayım yapılır[6].

Denge denklemleri iki ana koşulda uygulanmıştır. Geliştirilen ilk metodlarda kayan kütlelerin tümü için uygulama yapılmış, sonradan ortamın heterojenliği, su basınçlarındaki farklılıklar gibi nedenler ve tek gövde analizinin getirdiği hataların önlenmesi amacıyla dilim

yöntemleri geliştirilmiştir[25]. Kısaca limit denge yaklaşımı yamacı hiperstatik bir problem olarak kabul ederek, bilinmeyen kuvvet ve momentleri hesaplamaktadır.

2.2. Toplam ve Efektif Gerilme Analizi

Şev stabilite analizi yapılmadan önce, toplam ve efektif gerilmelerden hangisinin kullanılacağına karar verilmelidir. Bu seçim de genellikle, şev stabilite problemlerinin kısa dönem veya uzun dönem olarak sınıflandırılmalarına dayanır. Şev göçmeleri genellikle yüklemdeki değişimden oluşuyor ve hızlı meydana geliyor ise, kısa dönemde stabilite hesabına gereksinim vardır. Bu özellikle, bir zemin kütlelerinde yüklemdeki değişime bağlı, boşluk suyu basıncı değişimi, zeminin konsolidasyon süresi ile kıyaslandığında, daha hızlı ise önemlidir. Şayet yüklemdeki değişim, zeminin konsolidasyonu ile kıyaslandığında oldukça yavaş ise (doğal şevlerde yeraltı suyu seviyesinin değişimi), problem uzun dönem stabilite problemi olarak ele alınmalıdır. Uygulamada kısa dönem problemlerine uygulanan toplam gerilme analizi, her zaman daha basit ve uygundur. Çünkü boşluk suyu basınçlarının tahmini oldukça zor olmaktadır. Toplam gerilme analizinde kullanılan kayma mukavemeti parametreleri, toplam gerilmelere göre bulunur. Boşluk suyu basıncı oluşumunun etkisini içeren efektif gerilme analizinde ise, efektif gerilme parametreleri c' ve ϕ' kullanılır. Bu konudaki öneriler

1. Uzun dönem stabilite daha kritik gibi gözükmemektedir. Yeraltı suyu koşullarını kullanarak efektif gerilme analizi en iyi çözümdür.
2. Kısa dönem stabilite hesabında, kazı sırasındaki boşluk suyu basıncı değerlerine gerek yoktur.
3. Eğer kısa dönem stabilite isteniyorsa (geçici kazılar için), kilin drenajsız kayma mukavemeti kullanılarak yapılan toplam gerilme analizi uygundur. Fakat bazen, boşluk suyu basınçları kazı sırasında azalır ve hemen tekrar yükselebilir. Bu da fisürlü killerde, bu yöntemin daha dikkatle kullanılmasını gerektirir.
4. Eğer boşluk suyu basınçları kaydediliyorsa, herhangi bir zamanda stabilite hesabı, efektif gerilmeler ile yapılmalıdır.

Bunlara göre temellerde ve yumuşak zeminlerin üzerindeki dolgularda kısa dönem stabilite yaklaşımı oldukça kritiktir. Doğal şevlerdeki göçmeler, küçük gerilme değişikliklerine bağlı meydana gelse bile, problem uzun dönem olarak ele alınmalıdır.

Potansiyel göçme yüzeylerinde, mevsimlere göre değişen boşluk suyu basınçlarına ve aşınmalara bağlı kayma mukavemeti değişimleri olmaktadır. Bundan dolayı doğal şevlerde, efektif gerilme yaklaşımı kullanılmalıdır[33].

Zemin içindeki herhangi bir düzlem boyunca kaymaya karşı oluşan maksimum direnç, düzlem üzerindeki toplam normal gerilme ile boşluk suyu basıncı arasındaki farkın bir fonksiyonudur[34]. Stabilite analizlerinin birçoğu, Mohr-Coulomb kırılma denkleminin, ilk olarak Terzaghi tarafından suya doymuş zeminler için geliştirilen efektif gerilme kavramıyla birleştirilmesiyle elde edilen (3) bağıntısıyla yürütülür[25].

Stabilite hesaplarında genellikle σ toplam gerilme, bir kayma yüzeyi üzerinde yeter bir doğrulukta hesaplanabilir. En büyük belirsizlik, u boşluk suyu basıncı değerlerinin tahmin edilmesindedir. Boşluk suyu basınçları problemin cinsine ve önemine bağlı olarak yerinde ölçümlerle, laboratuvar deneyleriyle veya akım ağları ile belirlenir[34].

Genel olarak suya doymuş olan zemin şartları, suya doymuş olmayan zemin şartlarına göre daha iyi anlaşılmaktadır. Aynı zamanda bir şevde stabilitenin bozulmasına yol açacak büyük pozitif boşluk suyu basınçları, suya doymuşluk derecesinin büyük olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden çoğu stabilite analizlerinde, suya doymuş olmayan tabakadaki kayma gerilmesi ihmal edilmektedir[5].

Şev stabilitesi problemlerinde, toplam ve efektif gerilme analizlerinin kullanılabilmesi durumların bilinmesi önemlidir. Tablo 8'de çeşitli yükleme şartlarını belirleyen durumlar ve her durum için uygun görülen yaklaşım metodları verilmektedir[35].

Toplam gerilme analizi, suya doymuş killerde oluşan boşluk suyu basınçlarının sönümüne izin vermeyecek hızda yüklenip boşaltılması durumunda uygulanır. $\phi_u=0$ analizi olarak bilinen bu metodla laboratuvar veya arazide vane deneyi ile saptanan mukavemet değeri ile çalışılır. Bu gerilme analizi bir inşaat sonu metodu olup, stabilitenin zamanla arttığı problemlerin çoğunda güvenilir sonuçlar verir[34].

Toplam gerilme analizinde, mobilize olan kayma mukavemetinin değeri $\phi_u=0$ şartı için;

$$\tau = \frac{c_u}{G.S.} \quad (9)$$

olarak ifade edilir.

Tablo 8. Toplam ve efektif gerilme analizlerinin seçimi [35]

Durum	Uygun Metot	Tavsiyeler
1. Doygun killerde inşaat sonu stabilite durumu, yapım süresi konsolidasyon süresine göre kısa	$\phi_u=0$, $\tau_u=c$ olarak toplam gerilme analizi	c' , ϕ' analizi, arazide ölçülen boşluk suyu basıncı değerleri ile kullanılarak, yapım sırasında kontrol imkanı verir.
2. Uzun dönem stabilitesi	Dengede bulunan yeraltı suyu şartlarına göre, bulunan boşluk suyu basıncı değerini kullanarak c' , ϕ' analizi	
3. Yarı doymuş killerde inşaat sonu stabilite durumu, yapım süresi konsolidasyon süresine göre kısa	UU deneylerinden elde edilen c_u , ϕ_u analizi veya c' , ϕ' deneyleri ile, hesaplanan boşluk suyu basınçları beraberce	c' , ϕ' analizi, ölçülen boşluk suyu basıncı değerleri ile kullanılmıca, yapım sırasında kontrol imkanı verir
4. Yapım çalışması sırasında stabilite	Hesaplanan boşluk suyu basınçları ile beraber c' , ϕ' analizi	Hesaplanan boşluk suyu basıncı değerlerinin arazide ölçülen değerlerle uygunluğu kontrol edilmeli

Suya doymuş zeminlerde görünen kohezyon c_u , drenajsız basınç mukavemetinin yarısına eşit olup, örselenmemiş numuneler üzerindeki drenajsız deneylerden veya vane deneylerinden elde edilir. c_u değeri genellikle derinlikle değiştiğinden, stabilite analizinde kullanılacak değeri, seçilen deneme kayma yüzeyi civarındaki değerler olacaktır. Bu metodun kullanımının doğru olması arazideki şartların laboratuvardaki deney şartlarına uygun bulunması ile mümkün olur. Yani göçmeye sebep olan kayma gerilmesi, drenajsız şartlar altında uygulanmalıdır. Bu nedenle $\phi_u=0$ metodu; suya doymuş zeminlere ve gerilmedeki değişimlerin, su muhtevasında bir azalma veya çoğalma meydana getirecek kadar zamanın geçmediği problemlere uygulanabilir.

Efektif gerilme analizi, genellikle herhangi bir stabilite probleminin çözümü için geçerlidir. Bu analizde, stabilitenin toplam gerilme metodu ile görülemeyen eğilimi görülebildiğinden, daha da önemlidir. Boşluk suyu basınçlarının doğrulukla tahmin edilebileceği veya tam olarak bilindiği durumlarda uygulanabilir. Bunlar sıkışmaz zeminlerin uzun süreli veya su yüzeyinin düşmesi ile beliren problemlerdir. Ayrıca yarmalarda güvenlik sayısı zamanla azaldığından, bu gibi hallerde uzun süreli stabilite de kullanılır[6].

Efektif gerilme analizinde limit dengeyi sağlamak için harekete geçecek kayma yüzeyinin, kayma mukavemeti için;

$$\tau = \frac{c'}{G.S.} + (\sigma - u)(\tan \phi'/G.S.) \quad (10)$$

ifadesi kullanılır. Deneme kayma yüzeyi boyunca dengenin limite olduğu kabulü ile kuvvetlerin dengesi yazılarak güvenlik sayısı bulunur. σ değeri, kayma yüzeyi üzerindeki zemin kütlelerinin dengesinin uygun bir grafik veya sayısal metot ile analizi tarafından bulunur. Boşluk basıncı u 'nun hesabında kullanılacak olan yöntem, stabilite probleminin cinsine bağlıdır.

2.3. Şev Stabilite Analiz Yöntemleri

Doğal ve yapay şevlerin stabilite analizleri için birçok yöntem ileri sürülmüştür. Bu yöntemler arasında, uygulamada ve kullanım alanında bazı farklar olmasına rağmen hemen hepsinde bilinen veya kabul edilen kritik kayma yüzeyinde, kayma kütlelerinin dengesi araştırılmaktadır.

Kayma yüzeyleri genellikle ya elips yaylarının oluşturduğu yüzeylerin birleşiminden ya da iki veya daha fazla daire yayının birleşimlerinden oluşmaktadır. Kayma yüzeyi birçok faktör tarafından etkilenmekte ve geometrik olarak belirli tek bir düzeyde oluşmamaktadır. Buna rağmen yöntemlerin genelinde kullanılan dairesel kayma yüzeyi kabulü, analize uygunluk, gerçek duruma da yakınlık göstermektedir.

Pratikte sıkça kullanılan dilim yöntemleri, kayma yüzeyi üzerindeki zemin kütlelerinin yeterli miktarda düşey dilimlere ayrılması esasına dayanmaktadır. Bu dilimlerin düşey seçilmesi hesapta kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca dilim genişliklerinin eşit olması da gerekmemektedir. Bu yöntemin avantajlarından biri de, zemin şartlarının hesaba dahil edilmesinin mümkün olmasıdır. Dilim yöntemlerinde yapılan en basit yaklaşım, her dilimin dönmesini ve güvenlik sayısını bulmaktır. Direnç gösteren kuvvetler toplamı, harekete geçirici kuvvetler toplamına bölünerek topuk kısmında oluşacak problemlerden sakınılmaya çalışılır. Bu da daha ortalama bir güvenlik sayısı verir. Bu konuda, dairesel kayma yüzeyi varsayıldığında her dilimin kaydırıcı ve karşı koyucu kuvvetleri yerine, kayan kütlelerin bir dönme merkezine göre momentinin alınması daha iyi bir çözüm olmaktadır. Sonuç olarak

dilim yöntemleri arasındaki farklar, dilim kuvvetleri ile ilgili yapılan kabullere dayanmaktadır.

Genel olarak bütün mühendislik problemlerinde yapıların, belirli bir katsayı ile güvenlikte olması istenir. Şev stabilitesi açısından güvenlik sayısı; şevi dengede tutmak için, ortamın kayma direnci parametrelerinin, şevi denge kaybına zorlayan parametrelere bölünmesiyle elde edilen bir değerdir. Bu sayı bir şevin dengede olup olmadığını veya ne kadar dengede olduğunu gösterir.

Bu çalışmada, literatürden alınan ve limit denge yaklaşımına göre geliştirilen stabilite analiz yöntemleri hakkında bilgi verilmektedir. Limit denge yöntemlerinde, kayma yüzeyinin yeri ve şekli önceden kabul edilerek, denge denklemleriyle stabilitesi hesaplanıp, güvenlik sayısı birçok deneme yüzeyi için bulunur. Güvenlik sayısının, bulunan en küçük değeri hesaplarda kullanılır. Kısaca limit denge yaklaşımı, şevi hiperstatik bir problem kabul ederek, bilinmeyen kuvvet ve momentleri hesaplamaktadır. Tablo 9'da geoteknikte en çok kullanılan yöntemler tanıtılmaktadır[6].

Tablo 9. Analiz metodları[33]

Metot	Kayma Yüzeyi	Toplam Moment Dengesi	Toplam Kuvvet Dengesi	Dilimlerarası kuvvetlerde yapılan kabuller
$\phi_u=0$	Dairesel	*		
İsveç Dilim Yöntemi	Dairesel	*		Dilimlerarası kuvvetlerin bileşkesi dilim tabanına paralel
Kama Analizi	Dairesel değil		*	Belirli Eğim
Sonsuz Şev Analizi	Dairesel değil		*	Şeve paralel
Bishop	Genel	*		Paralel
Basitleştirilmiş Janbu	Genel		*	Paralel
Genel Janbu	Genel	*	*	Belirli itki çizgisi
Spencer	Genel	*	*	Sabit eğim
Morgenstern-Price	Genel	*	*	$X/E=\lambda.f(x)$
Genel Dilim Yöntemi	Genel	*	*	$X/E=\lambda.f(x)$

Verilecek olan stabilite analiz yöntemleri, lineer yöntemler ve lineer olmayan yöntemler olmak üzere iki kısımda incelenecektir.

2.3.1. Lineer Yöntemler

Analiz yöntemlerinden el ile çözüme en uygun olanlar; sonsuz şev analizi, $\phi_u=0$ analizi, İsveç dilim yöntemi ve kama analizidir. Bu metodların basit olmalarının nedeni her birinin içinde güvenlik sayısı için lineer bir eşitliğin bulunmasıdır. Kısaca bu yöntemlerde güvenlik sayısı direkt olarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle pratikte çoğunlukla bu yöntemler kullanılmaktadır.

2.3.1.1. $\phi_u=0$ Yöntemi

Dilim yöntemleri içerisinde sonuca en basit yaklaşımla ulaşan metodlardan biridir. Hareketin, silindirik bir yüzey üzerinde, tek bir rijit bloğun kaymasıyla meydana geldiği ve zemin mukavemetinin sadece kohezyondan kaynaklandığı varsayılır.

Doğru zeminlerde su muhtevası korunarak yapılan deneylerde ϕ 'nin sıfır çıkmasıyla geliştirilen yöntem, Batı Avrupa'daki buzul kökenli deniz ve göllerin yumuşak killeri gözönüne alınarak, silindirik kayma yüzeylerine uygulanmıştır. Yöntemin ilk şekline göre, kayma mukavemetinin hareket yüzeyi boyunca sabit olduğu düşünülmekteydi. Skempton ve Golder'ın dairesel bir yüzey boyunca kayma mukavemetini araştırması ile bu varsayımdan vazgeçilmiştir. Tüm kütlenin stabilitesi, bu açıdan kayma yüzeyinin merkezine göre alınan moment yardımı ile hesaplanmaktadır.

Bu metod esas olarak örselenmemiş numunelerde, vane veya serbest basınç deneyi ile bulunan drenajsız kayma mukavemeti hesabına dayanır. Bu deneylerin genel özellikleri, gerilme artışı boyunca, boşluk suyu basıncının değişmemesi ve kilin su içerisinde parçalanmasıdır. Eğer drenajsız kayma mukavemeti olan c, şevin farklı noktalarında direkt olarak ölçülebiliyorsa ve stabilite analizinde $\tau_f=c$ bağıntısına göre hesap yapılabiliyorsa, bu analiz $\phi_u=0$ analizi olarak adlandırılır[33]. Bu analiz efektif gerilmeleri ve boşluk basınçlarını ayrı ayrı ele almadığından toplam gerilmeye dayanan bir analizdir.

Basit dilim yöntemi olarak da adlandırılan, hatta elle hesap imkanına sahip olan yöntemde kullanılan güvenlik sayısı, O noktasına göre momentlerin dengesinden; karşı koyan momentin, döndüren momente oranı olarak hesaplanmaktadır.

Şekil 13.a'da, O noktası merkez olmak üzere, r yarıçaplı bir AB dairesel yayı bulunmaktadır. O noktasında bir dönme meydana geldiğinde, ABCA zemin kütlesi, W

ağırlığı ile kaydıran, W_a momentini uygular. Buna AB yüzeyi boyunca zeminin kayma direnci karşı koyacağından, karşı koyan moment;

$$M_o = c_u L r \quad (11)$$

olarak bulunur. Burada c_u zeminin kohezyonu, L , AB yay uzunluğu;

$$L = 2\pi r \frac{\theta}{360} \quad (12)$$

olarak ifade edilir. O noktasına göre momentler dengesinden güvenlik sayısı;

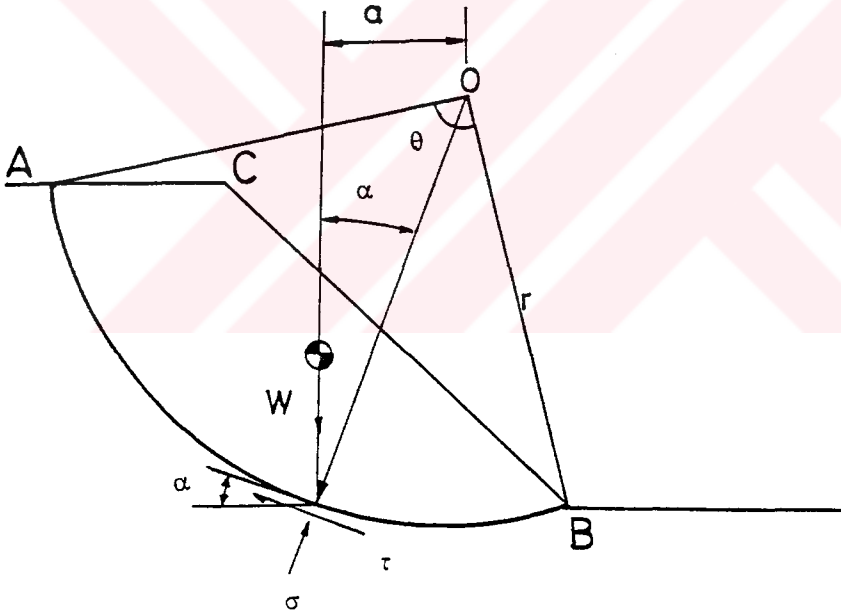
$$G.S. = \frac{M_o(\text{karşı koyan})}{M_o(\text{döndüren})} \quad (13)$$

$$G.S. = \frac{c_u L r}{W_a} \quad (14)$$

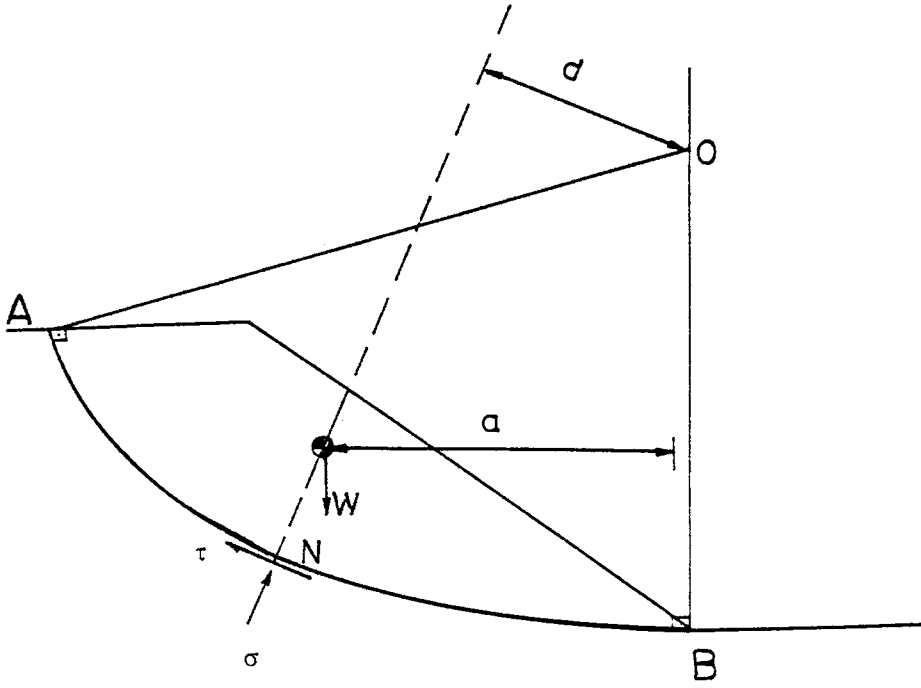
şeklinde, basit bir ifade olarak ortaya çıkar.

Bu yöntemin yaptığı varsayımlar, çözümü kolaylaştırmakta ancak bu nedenle oluşan hatalar da uygulama olanaklarını kısıtlamaktadır. Şekil 13.b'de olduğu gibi, kayma yüzeyi daireselden genele doğru değiştiğinde, bu yaklaşımın yetersizliği görülmektedir. Bu yöntemde τ 'nin değişimi biliniyorsa, moment denkleminin kullanılmayacağı açıktır. Ayrıca σ , düşey gerilmesi de hesaplara katılacaktır. Buradan, mevcut olan üç denge denkleminin karşı birçok bilinmeyen ortaya çıkacak ve çözümün de gerçekçi olmadığı görülecektir. Çoğu zeminde de görüldüğü gibi kayma direnci, c, ϕ parametrelerinden oluşuyorsa yöntemin geçerliliği kalmamaktadır[32]. Bu hesaplamalarda dilimlerarası kuvvetler bağımlı değişkenler oldukları için bunlar hesaba katılmamıştır. Fakat kayma yüzeyi üzerinde bulunan normal kuvvetlerin doğru teşkili (sürtünmeli durum) ve böylece herbir dilimin kayma mukavemetinin doğru hesabı için, dilimlerarası kuvvetlerin son derece dikkatli düzenlenmesi gerekmektedir. Pratikte de bunu sağlamak oldukça zordur.

Sonuç olarak metodun teorisinde, su muhtevasında herhangi bir değişim olmamakta, diğer bir deyişle boşluk suyu basıncı sabit kalmaktadır. Uygulamada da aynı şartlar oluşursa, yöntem doğru sonuç verebilmektedir. Zamanla konsolidasyon basıncı azalmakta ve bir ϕ açısı meydana gelmektedir[30]. Bu aşamada, zeminin drene olması için yeterli sürenin olmadığı kabul edilir ve bu analizlerde zeminin drenajsız koşuldaki kayma dayanım parametreleri kullanılır[37]. Ayrıca tam doygun olmasına rağmen su muhtevası değiştirilmeden, bazı zeminler üzerinde yapılan deneylerde, sıfırdan farklı bir içsel sürtünme açısı elde edilmektedir. Bu durum kayma yüzeyinin yerine de tesir etmektedir. Fakat pratikte meydana getirdiğı fark önemsenmeyebilir[30]. Bütün bunlar gözönüne alındığında yöntem, kısa vadedeki duraylılık analizleri için uygun olmaktadır. Buna karşın ani yükleme değişikliklerinin görüldüğü yamaçlarda uygulanması olumlu sonuç vermemektedir.



Şekil 13.a. Dairesel kayma yüzeylerinde gerilme



Şekil 13.b. Genel kayma yüzeylerinde gerilme

2.3.1.2. İsveç Dilim Metodu

$\phi_u=0$ analizinde, kayma yüzeyi civarında uyanmış(mobilize) drenajsız kayma mukavemetinin gerilme düzeyinden bağımsız olduğu varsayılır. Efektif gerilme analizinde, kayma yüzeyi üzerindeki kayma mukavemeti, Mohr-Coulomb kırılma kriteriyle verilen efektif normal gerilme ile orantılıdır ve bu yüzden göçme yüzeyi civarındaki normal gerilmenin değişiminin belirlenmesi gerekir. İsveç geoteknik komisyonu ve Fellenius[37,38], kayan kütleyi dilimlere bölerek bu problemi çözmüşlerdir[33]. Bu yöntemle göre kayma yüzeyi dairesel silindriktir. Göçme yüzeyi üzerindeki şev kütlesi eşit aralıklarla (1-2m) dilimlere ayrılmalıdır. Dilimlerarası kuvvetlerin, aynı doğrultuda fakat zıt yönde ve birbirlerine eşit oldukları kabul edilmekte ve böylece bu kuvvetler hesaba katılmamaktadır. Geride sadece dilim ağırlığı, zemin reaksiyonu, kohezyon, sürtünme mukavemeti ve varsa sızıntı kuvvetleri ile dilim dengededir[30].

Hesaplarda yanal kuvvetler bileşkesinin her dilimin tabanına paralel etkidiği kabul edilmektedir. Bundan dolayı tabana, dikey kuvvetler etkimemektedir. Sonuç olarak da

güvenlik sayısı en düşük düzeyde çıkmaktadır. İsveç dilim metodu bu özelliği sebebiyle diğer yöntemlerin kontrolünde kullanılmaktadır[7].

Yöntemde göçmenin, zemin bloğunun O merkezli silindirik kayma yüzeyi üzerindeki rotasyonu ile oluştuğu kabul edilir. O noktası civarında moment dengesi araştırılarak güvenlik sayısını veren bir ifade bulunur. Bu sayının hesabı için Şekil 14'de gösterilen şev profili, dilim genişliği sabit kalacak şekilde, dilimlere bölünmektedir. Herhangi bir i diliminin ağırlığı W_i , dilim tabanında, normal ve teğetsel doğrultuda olmak üzere iki bileşene ayrılır. α_i dilim yay ortasını, O merkezine birleştiren doğrunun, O merkezinden geçen düşey doğrultu ile yaptığı açığı göstermek üzere ağırlığın normal ve teğetsel bileşenleri;

$$N_i = W_i \cos \alpha_i \quad (15)$$

$$T_i = W_i \sin \alpha_i \quad (16)$$

olarak, her bir dilim için ayrı ayrı hesaplanır. ABCA zemin kütlesi, W ağırlığı ile göçmeye neden olduğundan, kaydırıcı moment;

$$M_0 = \sum_1^i rT_i = \sum_1^i rW \sin \alpha_i \quad (17)$$

dir. Dilimin kaymasına karşı koyan kuvvet, zeminin kayma direncinden meydana gelip;

$$T_f = \Delta L \tau_f = \Delta L (c + \sigma \tan \phi) \quad (18)$$

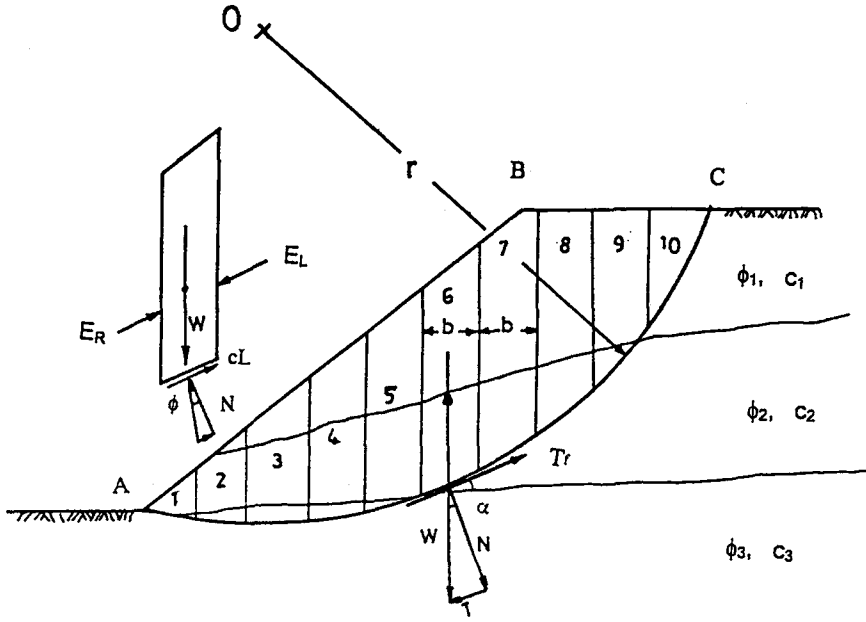
$$T_f = \Delta L \left(c + \frac{N}{\Delta L} \tan \phi \right) \quad (19)$$

$$T_f = \Delta L c + N \tan \phi \quad (20)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Böylece kaymayı önleyici kuvvet momenti;

$$M_0 = \sum_1^i (rc\Delta L) + \sum_1^i (rW \cos(\alpha_i) \tan \phi) \quad (21)$$

olarak bulunur.



Şekil 14. İsveç dilim metodu ve bir dilime etkiyen kuvvetler

Güvenlik sayısı, kaymayı önleyici momentin, kaydırıcı momente oranı olarak yazılıp, gerekli sadeleştirmeler yapılırsa;

$$G.S. = \frac{cL + \sum (W \cos \alpha \tan \phi)}{\sum W \sin \alpha} \quad (22)$$

olarak elde edilir. Burada c ve ϕ , zeminin kayma mukavemeti parametrelerini, α , her bir dilim taban merkezinin yatayla yapmış olduğu açığı, W, dilim ağırlığını, ΔL , dilim yay uzunluğunu, L, AC yay uzunluğunu göstermektedir. Bu değişkenler Tablo 10'daki gibi düzenlenirse, güvenlik sayısı daha çabuk hesaplanabilir.

Tablo 10. İsveç dilim yöntemi için tablo[30]

Dilim No	Alan F (m ²)	Dilim Ağırlığı W(t/m)	N=Wcos α (t/m)	Ntan ϕ (t/m) (1)	c ΔL (t/m) (2)	T=Wsin α (t/m) (3)
1						
2						
3						
.						
.						
.						
i						
$\Sigma N \tan \phi$					$\Sigma c \Delta L$	ΣT

Değerleri tabloya aktarmak için, dilim genişliği sabit alınarak teşkil edilen dilimler, sırayla numaralandırılır. Dilimler yaklaşık yamuk kabul edilerek hesaplanılan alanlarla, zeminin birim hacim ağırlığı çarpılarak, her bir dilimin ağırlığı bulunur. Tablo 10'daki ΣT , cebirsel bir toplamdır. O merkezinden geçen düşey doğrultunun sağındaki T_i 'ler kaydıran (+), solundaki T_i 'ler ise kaymaya karşı koyan (-), terimlerdir[39]. Tablo 10'a göre güvenlik sayısı;

$$G.S. = \frac{(1) + (2)}{(3)} \quad (23)$$

şeklinde hesaplanır.

İsveç dilim yönteminde, su akımları olması durumunda akım ağırları çizilerek, boşluk suyu basınçları hesaplanabilir. Bu durumda güvenlik sayısı efektif kayma direnci parametreleri cinsinden;

$$G.S. = \frac{c'L + \tan \phi' \sum (N - uL)}{\sum T} \quad (24)$$

olarak hesaplanır.

İsveç dilim yöntemi genel bir yöntem olduğundan, bir çok şev stabilite analizinde kullanılmaktadır. Bu metodla elde edilen güvenlik sayısı, yanal kuvvetler sıfır kabul edildiğinden, diğer metodlarla hesaplanan güvenlik sayılarından %10-15 kadar küçük çıkmaktadır. Hata miktarı, α dilim taban açısının derin kayma yüzeylerinde büyük değişiklik göstermesi ve boşluk suyu basıncının artması ile giderek büyümektedir[39]. Bu nedenle metod ϕ açısının değişiklik gösterdiği şevlerde, kuru şevlerde ve diğer metodların kontrolünde kullanılmaktadır[7].

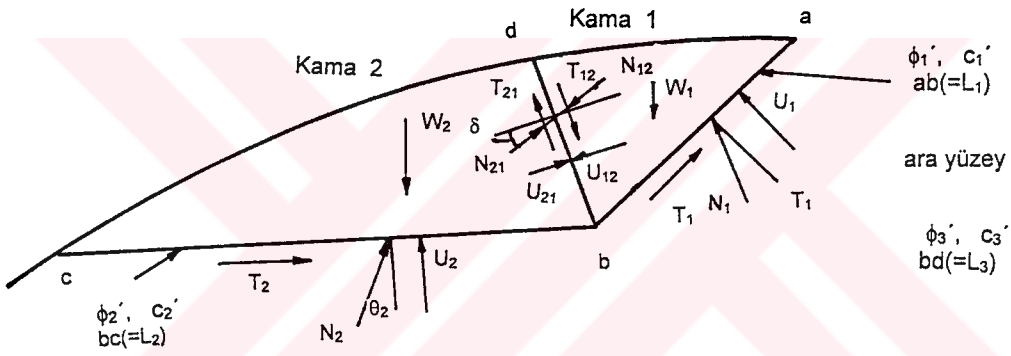
2.3.1.3. Kama Analizi

Bazı durumlarda kayma yüzeyi, bir veya iki doğru çizgi ile birleştirilerek elde edilir. Bu durum yamacın altında sağlam bir seviye (kaya) veya yamacın içinde ya da altında zayıf bir seviye olduğunda meydana gelmektedir. Kama şeklindeki kırılma düzlemleriyle,

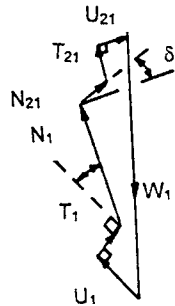
genellikle kaya mekaniğinde karşılaşılır. Bu tür kırılma düzlemlerine zeminlerde çok nadir rastlanır.

Sonsuz yamaç kabulüyle çözülen problemlerde, ihmal edilen uç etkileri, genellikle çözümlerde doğru sonuç alınmamasına neden olmaktadır. Bu nedenle kayma yüzeyi, bir ya da iki düzlemde temsil edilmekte ve bu durumda kayan kütle için bir ara yüzeyle ayrılmış, iki kama olarak analizi uygun sonuçlar vermektedir. Kama analizi yapılırken Şekil 15'de gösterilen kuvvetlerin yatay ve düşey dengesi araştırılmakta ve bu kuvvetlerin özellikleri de Tablo 11'de verilmektedir.

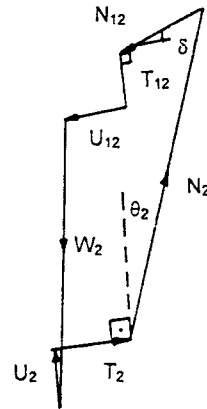
Öncelikle bilinmeyen güvenlik sayısı için belirli bir değer seçilir. Bazı kuvvetlerin değeri, bazı kuvvetlerin de yönü bilindiğinden, her kama için kuvvetler poligonu (Şekil 15.b ve Şekil 15.c) çizilerek çözüme gidilir.



Şekil 15.a. Kama analizinde yamaca etkiyen kuvvetler [7].



Şekil 15.b. Kama analizinde birinci kamaya ait kuvvet poligonu



Şekil 15.c. Kama analizinde ikinci kamaya ait kuvvet poligonu

Tablo 11. Kama analizinde kuvvetlerin özellikleri[7]

Kuvvet	Değeri	Yönü
W_1, W_2 kamaların kütlesi	Biliniyor	Düsey
U_1, U_2 tabanda boşluk suyu basıncı	Biliniyor	Tabana dikey
N_1, N_2 tabanda normal kuvvet ve sürtünmenin bileşkesi	Bilinmiyor	G.S. kabul edilirse bilinir
T_1, T_2 tabanda kohezyon	G.S. kabul edilirse bilinir	Tabana paralel
T_{12}, T_{21} ara yüzeyde kohezyon	Uyanma derecesi biliniyorsa bilinir	Ara yüzeye paralel
N_{21}, N_{12} ara yüzeyde normal kuvvet ve sürtünmenin bileşkesi	Bilinmiyor	Uyanma derecesi biliniyorsa bilinir
U_{21}, U_{12} ara yüzeyde boşluk suyu basıncı	Biliniyor	Ara yüzeye dikey

Zeminin uyanmış kayma direnci açısı ϕ_m ve uyanmış kohezyonu c_m , her kama için;

$$\tan \phi_{m1} = \frac{\tan \phi_1'}{G.S.} \text{ ve } \tan \phi_{m2} = \frac{\tan \phi_2'}{G.S.} \quad (25)$$

$$c_{m1} = \frac{c_1'}{G.S.} \text{ ve } c_{m2} = \frac{c_2'}{G.S.} \quad (26)$$

formülleriyle hesaplanır. Tabanda yer alan kohezyon kuvvetleri T_1 ve T_2 ise;

$$T_1 = c_{m1} L_1 \quad (27)$$

$$T_2 = c_{m2} L_2 \quad (28)$$

şeklinde ifade edilir. Şekil 15.b ve Şekil 15.c'de görülen kamaların taban uzunlukları, L_1 ve L_2 ile ifade edilmektedir. Ara yüzeydeki kohezyon kuvvetleri hesaplanırken, bu yüzeydeki gerilmelerin yenilme limiti altında kalmasından dolayı, zeminin uyanan ϕ_m ve c_m değerlerinin, kayma yüzeyinde uyanandan daha küçük değerde olduğu kabulü yapılmalıdır. Bu durumda ara yüzeydeki kohezyon kuvvetleri

$$T_{12} = T_{21} = \frac{c_3' L_3}{0.8 G.S.} \quad (29)$$

formülü ile hesaplanır. Ara yüzeydeki normal kuvvet ve sürtünme kuvvetinin bileşkesi N_{12} ve N_{21} kuvvetleri ise;

$$\tan \delta = \frac{\tan \phi_3'}{0.8 \text{ G.S.}} \quad (30)$$

formülü ile hesaplanan δ eğiminde etkir. Bu formülde kullanılan; ϕ_3' : ara yüzeydeki kayma direnci açısını, c_3' : ara yüzeydeki kohezyonu, L_3 : ara yüzey uzunluğunu, G.S. ise kabul edilen güvenlik sayısını göstermektedir.

Güvenlik sayısı hesaplanırken özellikle yamaç profili belirli bir ölçekle çizilerek, zemin tabakaları, özellikleri ve varsa su seviyesi bu profil üzerinde gösterilir. Ölçekli çizilen bu şekil üzerinde kayma yüzeyinin yeri, çoğunlukla arazinin jeolojisi ve zemin özelliklerine bağlı olarak belirlenir. Kayma yüzeyinin iki düzlemde belirmesi halinde ise, bu yüzey bir ara yüzeyle belirlenmiş iki kamaya ayrılır. Ara yüzeyin düşey olduğu kabulü çözümde kolaylık getirirse de, minimum güvenlik sayısının yatay olmayan bir ara yüzeyde elde edilmesi doğaldır.

(25) ve (26) bağıntılarında tahmin edilen güvenlik sayıları yerine yazılarak zemin tabakalarının uyanmış kayma direnci parametreleri hesaplanır. Daha sonra Tablo 11'de verilen kuvvetler, bulunan uyanmış kayma direnci parametreleri yardımıyla hesaplanarak, yönleri belirlenir. Seçilen kuvvet ölçeği ile de Şekil 15.b ve Şekil 15.c'de gösterilen her kama için, kuvvetler poligonu çizilir. Çizilen poligonu kapatması gereken, kamalar arası N_{12} ve N_{21} kuvvetlerinin eşit çıkması durumunda, tahmin edilen güvenlik sayısı, gerçek güvenlik sayısı olarak alınır. Eğer bu kuvvetler birbirine eşit çıkmıyorsa, bir poligonu kapatması gereken, kamalar arası kuvvetin değerine eşit ve ters yönde belirmesine kadar, güvenlik sayısı değiştirilir[7]. Yöntemin en önemli özelliği, hesaplama olmaksızın sadece çizimle problemin çözülebilmeye olanağı olmasıdır. Küçük bir değişiklik ile dilimlerarası kuvvetlerin eğimi değiştirilerek hassasiyet artırılabilir. Kuvvetler çokgeninin detaylarının oluşturulması öğreticidir. Problemin daha iyi anlaşılması açısından, şev stabilitesi hesaplarında fazla deneyimi olmayanlara, bilgisayar analizi yapıldıktan sonra kuvvet diyagramının çizilmesi önerilir.

2.3.1.4. Sonsuz Şev Analizi

Potansiyel kayma yüzeyinin, şev yüzeyine paralel olduğu ve şevin boyuna oranla daha az derinlikte olduğu durumlarda, uç etkileri ihmal edilerek, sonsuz uzunlukta kabulü yapılabilir[40]. Analizde yapılan diğer kabuller de aşağıdaki gibidir.

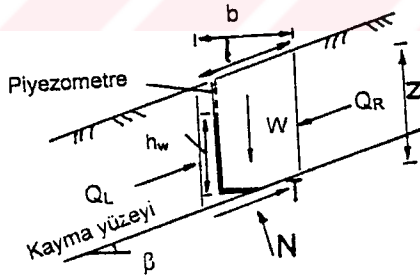
1. Kayan zemin kütlesi düzlemseldir.
2. Kayma yüzeyi yeryüzüne yaklaşık paralel olup, eğimi β 'dir.
3. Dilimlerarası kuvvetler kayma yüzeyine paraleldir.
4. Yeryüzü ve yeraltı suyu şartları kayma yüzeyi boyunca değişmezdir.

Sonsuz şev kayması, homojen bir kütlede meydana gelebildiği gibi, şev yüzüne paralel tabakalanma gösteren kütlelerde de meydana gelmektedir. Ayrıca sonsuz şevde, dönmeli kayma da oluşabilmektedir[39].

Sonsuz şev analizini kohezyonlu ve kohezyonsuz olmak üzere iki tür zeminde ele alabiliriz.

- Kohezyonlu zeminde:

Sonsuz bir şevde, şev yüzeyinden z derinliğindeki bir düzlem düşünelim (Şekil 16).



Şekil 16. Kohezyonlu zeminde sonsuz şev analizi

Şekil 16'da; b : dilim genişliği, z : dilim kalınlığı, W : dilim ağırlığı, N : W 'nin yüzeye dik bileşeni (normal kuvvet), T : W 'nin yüzeye paralel bileşeni (tabandaki kayma kuvveti), h_w : su yüksekliği, $Q_{L,R}$: Tabana paralel dilimlerarası kuvvet, c' : görünür kohezyon (efektif gerilmeler cinsinden), ϕ' : Kayma mukavemeti açısı (efektif gerilmeler cinsinden), γ : Zeminin birim hacim ağırlığı, γ_w : Suyun birim hacim ağırlığıdır.

Dilim tabanındaki boşluk suyu basıncı;

$$u = \gamma_w h_w \quad (31)$$

boşluk suyu basıncı katsayısı ise;

$$r_u = \frac{u}{\gamma z} \quad (32)$$

olur. Dilim için σ : tabandaki normal gerilme, τ : tabandaki kayma gerilmesidir.

Yamaç sonsuz olduğundan, dilimin iki tarafındaki kuvvetler eşit alınır. Yani $Q_L=Q_R$ 'dir. Dilim ağırlığının yüzeye dik bileşeni;

$$N = W \cos \beta = \sigma l \quad (33)$$

dir. (33) bağıntısından σ çekilirse;

$$\sigma = \frac{W}{b} \cos^2 \beta \quad (34)$$

olarak elde edilir. Dilim ağırlığının yüzeye paralel bileşeni;

$$T = W \sin \beta = \tau l \quad (35)$$

dir. (35) bağıntısından τ çekilirse;

$$\tau = \frac{W}{b} \sin \beta \cos \beta \quad (36)$$

olarak elde edilir. Mevcut kayma mukavemeti yani, kırılma kriteri (3) bağıntısında verildiği gibidir. Dengenin devamı için gereken kayma mukavemeti yani uyanmış kayma mukavemeti;

$$\tau = \frac{\tau_f}{G.S.} \quad (37)$$

dir. (36) ve (3) bağıntıları birleştirilerek (37) bağıntısında yerine koyulursa;

$$\frac{W}{b} \sin \beta \cos \beta = \frac{1}{G.S.} \left[c' + \left(\frac{W}{b} \cos^2 \beta - u \right) \tan \phi' \right] \quad (38)$$

yazılabilir. Buradan da güvenlik sayısı çekilirse;

$$G.S. = \frac{c' + (\gamma z \cos^2 \beta - u) \tan \phi'}{\gamma z \sin \beta \cos \beta} \quad (39)$$

olarak elde edilir. (39) bağıntısı r_u cinsinden de;

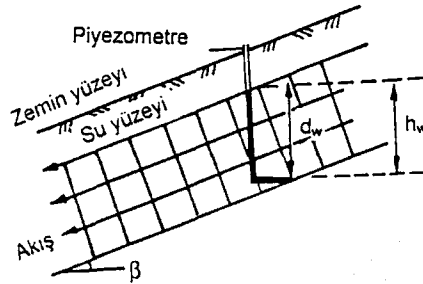
$$G.S. = \frac{(c'/\gamma z) + (\cos^2 \beta - r_u) \tan \phi'}{\sin \beta \cos \beta} \quad (40)$$

şeklinde yazılabilir.

Eğer yamaca paralel, dengeli bir su akımı varsa yani, yeraltı suyu şev yüzüne paralel akıyorsa, eşpotansiyel eğrileri şev yüzeyinde dik olur. Şekil 17'ye göre;

$$h_w = d_w \cos^2 \beta \quad (41)$$

dır.



Şekil 17. Sonsuz şev analizinde yamaca paralel dengeli su akımı durumu

Killi doğal yamaçlarda, şiddetli yağmurlar sırasında, sık olarak kaymalar oluşur. Yeraltı su seviyesi bu yüzden yüzeye ulaşır ve yamaçtan aşağı dengeli bir sızma görülür. Bu durumda eğer $c'=0$ ve $d_w=z$ ise;

$$G.S. = \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma}\right) \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} \quad (42)$$

dır. Bunun pratik anlamı, yamaçtan su sızması durumunda güvenlik sayısında %50 oranında azalma oluşmasıdır[33].

(40) ve (42) bağıntısı ile bulunan güvenlik sayısı bir veya birden küçükse kayma oluşur. Şayet birden büyük ise kayma meydana gelmez. Güvenlik sayısının bire eşit olması durumunda ise kayma kritik derinlikte oluşur. Bu derinlik;

$$H_c = \frac{c'}{\gamma \cos^2 \beta (\tan \beta - \tan \phi')} \quad (43)$$

formülü ile hesaplanır.

- Kohezyonsuz zeminde:

Kohezyonsuz zeminlerden oluşan şevlerde, güvenlik sayısı şev yüksekliğinden bağımsız olacaktır;

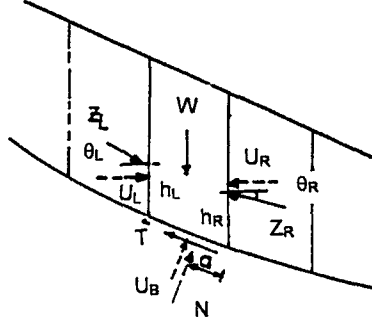
$$G.S. = \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} \quad (44)$$

şeklinde tanımlanır.

2.3.2. Lineer Olmayan Yöntemler

Bir şevin efektif gerilme analizi yapılacaksa, kayma yüzeyi civarındaki efektif gerilmeler belirlenmelidir. Pratikte buna, kayan zemin kütesinin dilimlere ayrılmasıyla başlanabilir. Şekil 18'de bir dilime etkiyen kuvvetler gösterilmekte ve bu kuvvetlerin etkime yerleri ve değerleri analizin başlangıcında bilinmemektedir.

Eğer bir şev, n tane dilime bölünmüş ise genelde $5n-2$ adet bilinmeyen vardır. n adet dilim için yatay ve düşey kuvvet denklemleri ile, moment denklemlerinin sayısı, toplam $3n$ tane dir. Buna göre problemin çözümü için $2n-2$ adet varsayım yapılmalıdır. Tablo 12’de dilim yönteminde yapılan varsayımlar ve bilinmeyenler gösterilmektedir.



Şekil 18. Tipik bir dilime etkiyen kuvvetler

Tablo 12. Dilim metodunda yapılan varsayımlar ve bilinmeyenler[33]

Bilinmeyenler	1	Güvenlik sayısı (T kesme kuvvetini N normal kuvvetine indirmek için kullanılır)
	n	Dilim tabanındaki N toplam normal kuvvetleri (Boşluk suyu kuvvetleri U_L ve U_R biliniyor)
	n	N kuvvetinin etkime yeri
	$n-1$	Dilimlerarası toplam kuvvet Z (Boşluk suyu kuvvetleri U_L ve U_R biliniyor)
	$n-1$	Dilimlerarası kuvvetlerin θ eğimleri
	$n-1$	Dilimlerarası kuvvetlerin h yükseklikleri
	Toplam $\rightarrow 5n-2$	
Yapılan varsayımlar	n	N 'nin dilimlerin ağırlık merkezinden bir hat boyunca etkidiği düşünülür. Bunun için dilimler çok ince seçilmelidir
	$n-1$	Dilimlerarası kuvvetlerin θ eğimleri veya etkime çizgisinin h yüksekliği
	Toplam $\rightarrow 2n-1$	

Genel formülasyon bölümünde denge eşitlikleri genel olarak formüle edilmiş ve güvenlik sayısı için gerekli lineer eşitlikler elde edilmiştir. Bu eşitliklerin çözümü için üç varsayımda bulunmak gerekir. Bunlar;

1. Kayma yüzeyi civarındaki normal gerilmelerin dağılımı ile ilgili tahminler,
2. Dilimlerarası kuvvetlerin itki çizgisinin durumu hakkındaki tahminler,
3. Dilimlerarası kuvvetlerin eğimi hakkındaki tahminlerdir.

Analiz metodlarının çoğunda, N normal kuvvetlerinin, dilim tabanının ortasına etki ettiği kabulü yapılmaktadır. Bu da, dilimlerin ince olmasının sonucudur. Yapılan kabulle, tahminler n-2 sayısına düşmüş olur.

Dilimlerarası kuvvetlerin eğimleri için birçok yöntemde, bir tahmin yapmak gerekmektedir (Tablo 9). Daha sonra hem moment dengesine hem de yatay kuvvet dengesine göre analiz yapılarak, G.S._m ve G.S._f olmak üzere iki güvenlik sayısı bulunur.

Genellikle, dilimlerarası kuvvetlerin eğimi θ 'nın, sabit bir değeri olduğu kabul edilse de, G.S._m ve G.S._f farklı çıkmaktadır. Bu Spencer metodunun da temelidir.

Stabilite analiz yöntemlerinin tümü, kabul yapmayı gerektirdiğinden, bu yöntemlerden hiçbiri gerçek güvenlik sayısını vermemektedir. Ancak bu yöntemler yine de kabul edilebilir sonuçlar vermektedir[33].

2.3.2.1. Genel Dilim Yöntemi

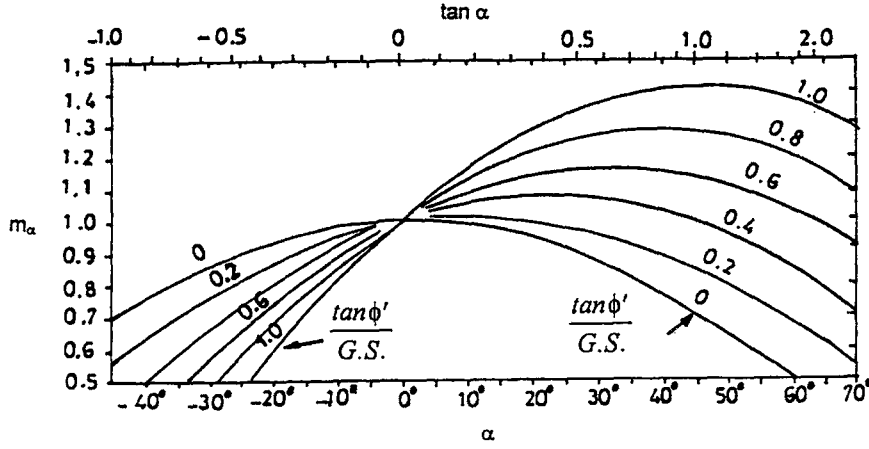
Fredlund ve Krahn [41], denge denklemlerinin çok genel olarak ifade edilebileceğini gösterdiler. Bu ifade, dairesel ve dairesel olmayan kayma yüzeyleri için aynıdır. Ancak kayma yüzeyinin dairesel olmadığı durumlarda, bu formülasyona sürtünmesel dönme merkezi ilave edilir. Tüm şev için, moment ve kuvvet dengesi ayrı ayrı dikkate alınarak G.S._m ve G.S._f için iki farklı denklem elde edilir. Elde edilen bu denklemler, her bir dilimin tabanına etkiyen ve aşağıdaki denklemle gösterilen toplam normal kuvveti içerirler.

$$N = \left[W - (X_R - X_L) - \frac{1}{G.S.} (c'l \sin \alpha - ul \tan \phi' \sin \alpha) \right] / m_\alpha \quad (45)$$

Burada;

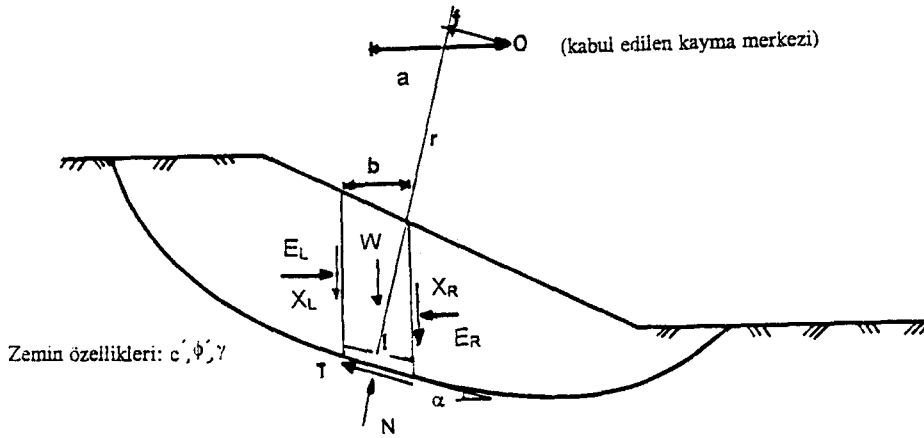
$$m_\alpha = \cos \alpha \left(1 + \tan \alpha \frac{\tan \phi'}{G.S.} \right) \quad (46)$$

dir. α 'ya karşılık gelen m_α değerleri Şekil 19'da gösterilmektedir. N'nin değerini veren eşitlik, dilimlerarası makaslama kuvvetleri X_R ve X_L 'yi içerdiğinden, problemin çözülmesi için kabuller yapılması gerekmektedir.



Şekil 19. α 'ya karşılık gelen m_α değerleri [33].

Genel dilim yönteminin çözümü için, Şekil 20'deki kırılma kriteri (3) bağıntısında, uyanmış kayma mukavemeti (37) bağıntısında, N ve T kuvvetleri de (33) ve (35) bağıntılarında verildiği gibidir.



Şekil 20. Genel dilim metodu

Buna göre;

$$T = \frac{1}{G.S.} [c'l + (N - ul) \tan \phi'] \quad (47)$$

şeklinde yazılıp, düşey yöndeki kuvvet dengesi oluşturulursa;

$$N \cos \alpha + T \sin \alpha = W - (X_R - X_L) \quad (48)$$

bağıntısı elde edilir. Buradan da T'nin değeri yerine yazılıp yeniden düzenlenirse (45) bağıntısı elde edilir. Yatay yöndeki kuvvet dengesi;

$$T \cos \alpha - N \sin \alpha + E_R - E_L = 0 \quad (49)$$

şeklinde yazılıp, T'nin değeri yerine koyularak (49) bağıntısı yeniden düzenlenirse;

$$E_R - E_L = N \sin \alpha - \frac{1}{G.S.} [c'l + (N - ul) \tan \phi'] \cos \alpha \quad (50)$$

elde edilir. Tüm yamaç boyunca, O'ya göre moment dengesi;

$$\sum W a = \sum T r + \sum N f \quad (51)$$

yazılıp, T değeri yerine koyulursa;

$$G.S._m = \frac{\sum [c'l + (N - ul) \tan \phi'] r}{\sum (W a - N f)} \quad (52)$$

bulunur. Dairesel kayma yüzeyi için;

$$\begin{aligned}
f &= 0 \\
a &= r \sin \alpha \\
r &= \text{sabit}
\end{aligned} \tag{53}$$

olduğundan güvenlik sayısı;

$$G.S._m = \frac{\sum [c'1 + (N - ul) \tan \phi']}{\sum W \sin \alpha} \tag{54}$$

ile ifade edilir. Yamaç boyunca kuvvet dengesi, yüzeyel yükleme olmaması durumunda;

$$\sum (E_R - E_L) = 0 \tag{55}$$

$$\sum (X_R - X_L) = 0 \tag{56}$$

dır. Buradan;

$$\sum (E_R - E_L) = \sum N \sin \alpha - \sum \frac{1}{G.S._f} [c'1 + (N - ul) \tan \phi'] \cos \alpha = 0 \tag{57}$$

$$G.S._f = \frac{\sum [c'1 + (N - ul) \tan \phi'] \cos \alpha}{\sum N \sin \alpha} \tag{58}$$

bulunur. $G.S._m$ ve $G.S._f$ 'nin çözümü için N 'nin değeri bilinmelidir. Bu da, X_R ve X_L 'nin bilinmesini gerektirir. Problemden belirli kabuller yapılmalıdır. Bunlar $X_R - X_L = 0$ (Bishop[42]), $X/E = \text{sabit}$ (Spencer[43]) ve $X/E = \lambda f(x)$ (Morgenstern ve Price[44]) 'dir.

2.3.2.2. Genelleştirilmiş Janbu Yöntemi

Janbu, kendi adıyla anılan bu metodu [45,46] hem dairesel kayma yüzeyleri hem de, dairesel olmayan kayma yüzeyleri için incelemiştir. Genelleştirilmiş Janbu yöntemi, dilimlerarası kuvvetlerin etkidiği noktayı dikkate alarak yapılan bir kabulle, dilimlerarası

kuvvetlerin etkisini içerir. Tablo 9'dan görüleceği gibi Janbu yöntemi, kuvvet dengesini tam, moment dengesini de yaklaşık olarak sağlamaktadır.

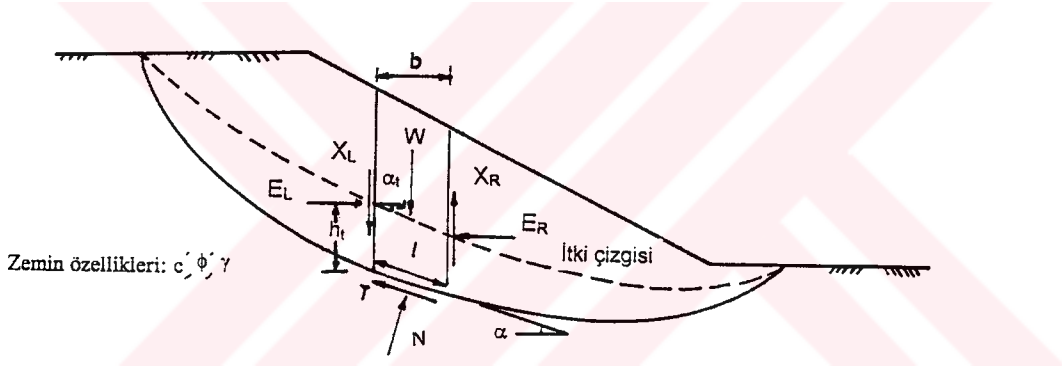
Şekil 21 'de gösterilen dilim için (3), (33), (35), (37), ve (48) bağıntıları kullanılıp,

$$l = b \sec \alpha \quad (59)$$

yazılırsa, (47) bağıntısı;

$$T = \frac{1}{G.S.} [cb + [W - (X_R - X_L) - ub] \tan \phi] / m_\alpha \quad (60)$$

şekline dönüşür. Daha sonra (48) bağıntısında T, yerine yazılıp, N kuvveti çekilirse (45) bağıntısının elde edileceği açıktır.



Şekil 21. Genelleştirilmiş Janbu yöntemi

Dilim tabanına paralel kuvvetler denklemi;

$$T + (E_R - E_L) \cos \alpha = [W - (X_R - X_L)] \sin \alpha \quad (61)$$

şeklinde yazılıp, (47) bağıntısı (61) 'de yerine koyulursa;

$$E_R - E_L = [W - (X_R - X_L)] \tan \alpha - \frac{1}{G.S.} [c'l + (N - ul) \tan \phi'] \sec \alpha \quad (62)$$

elde edilir. Dilim tabanına göre moment alınırsa, X_R ;

$$E_R b \tan \alpha_t - X_R b - (E_R - E_L) h_t = 0 \quad (63)$$

$$X_R = E_R \tan \alpha_t - (E_R - E_L) \frac{h_t}{b} \quad (64)$$

şeklinde elde edilecektir. Toplam kuvvet dengesine göre, (55) ve (56) bağıntısındaki şartlar sağlanmalıdır. Buna göre (55) bağıntısı, (62) bağıntısında yerine yazılırsa;

$$\sum (E_R - E_L) = \sum [W - (X_R - X_L)] \tan \alpha - \frac{1}{G.S._f} \sum [c'1 + (N - ul) \tan \phi'] \sec \alpha = 0 \quad (65)$$

bulunur. Buradan da gerekli sadeleştirmeler yapıp, N yerine (45) bağıntısındaki değeri yazılırsa, güvenlik sayısı;

$$G.S. = \frac{\sum [c'b + (W - (X_R - X_L) - ub) \tan \phi'] / n_\alpha}{\sum [W - (X_R - X_L)] \tan \alpha} \quad (66)$$

şeklinde bulunur. Burada;

$$n_\alpha = \cos \alpha m_\alpha \quad (67)$$

dır.

Denge denklemlerinde kullanılan, düşey yanal kuvvetlerin değeri, moment denkleminin sistematik bir şekilde uygulanmasıyla bulunur.

$$X = -E \frac{dy_t}{dx} - h_t \frac{dE}{dx} \quad (68)$$

kuvvetleri, y_t değerinin kabullenilmesi ile sadece E'nin fonksiyonu olarak tanımlanır. Bilinenlerin sayısını, bilinmeyenlerin sayısına eşitlemek için itki çizgisinin denkleminin;

$$h_t = y_t - y = a(y_s - y) \quad (69)$$

şeklinde olduğu varsayılır. Burada a , itki çizgisinin kayma yüzeyi üzerindeki etkime yerini göstermekte ve tek bilinmeyen olarak ifade edilmektedir. Ayrıca y_i itki çizgisinin, y_s kayma yüzeyinin, y ise yamaç yüzeyinin koordinatlarını göstermektedir. $a=0$, çözümün en kolay elde edileceği durumdur ve bu durum aynı zamanda itki çizgisinin kayma yüzeyi ile çakışmasına karşılık gelmektedir. Böylece moment dengesini sağlayan yanal kuvvetler, kayma yüzeyine paralel olacaklardır. Sonuç olarak $a=0$ varsayımının gerçekçi olmadığı görülmektedir. Kabul edilebilir başka a değerlerinin bulunmasına rağmen, çözümde önemli sayısal güçlüklerle karşılaşmaktadır[47].

Janbu yönteminde çözüme, (60) bağıntısında kullanılan X için yapılacak kabulle başlanır. İlk denemede $X=0$ alınarak başlangıç güvenlik sayısı $(G.S.)_0$ bulunur. Sonra bağıntı (60) ve (61) 'den kabul edilmiş bir itki çizgisi ile yatay yanal kuvvetler (E_R ve E_L) hesaplanır. Bu E değerlerinden yararlanılarak, her dilim ara yüzeyi için dE/dX 'in değeri ya sayısal hesapla ya da, çizimle tahmin edilir. Daha sonra da X 'in sıfırdan farklı yeni değeri, (68) bağıntısı yardımı ile hesaplanır. Bu iterasyona, güvenlik sayıları arasındaki farkın ihmal edilebilir seviyelere düşmesine dek devam edilir. Çözümde, diferansiyel moment bağıntısı (68) 'in (66) bağıntısı ile doğrudan ilişkili olmamasından, ender de olsa sonuç elde edilmeyebilir.

Genelleştirilmiş Janbu yönteminin, kuvvet dengesi yöntemlerine katılmasının nedeni, hesaplanan X değerleri ile kuvvet dengesi için uygun bir çözüm sağlanabilmesidir. Aynı zamanda yöntem, moment dengesini de yaklaşık olarak sağladığından, diğer kuvvet dengesi yöntemlerinden daha üstün tutulmaktadır.

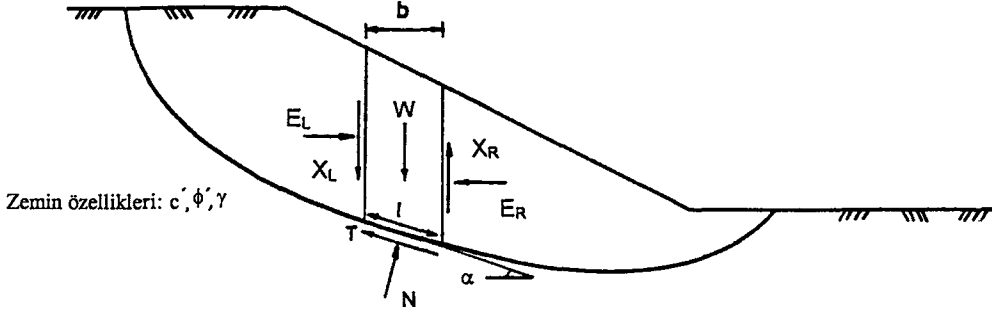
2.3.2.3. Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi

Genelleştirilmiş Janbu yönteminde herhangi bir varsayım yapılmadığından, genel denklemdaki bilinmeyenlerin sayısı, bilinenlere karşı artmaktadır. Bu nedenle çözüm karmaşıklaşmakta, çoğu zaman da el ile çözüme imkan vermemektedir. Böylece, çözümde dilimlerarası kayma kuvvetleri sıfır alınarak, basitleştirilmiş Janbu yöntemi geliştirilmiştir.

Janbu tarafından geliştirilen yöntemin en önemli özelliği, her tipteki kayma yüzeyine uygulanabilir olmasıdır. Basitleştirilmiş Janbu yönteminde, kuvvet dengesi kullanılarak stabilite analizi yapılmıştır[48].

Janbu, Bishop yönteminin genel hatlarını izleyerek güvenlik sayısı formülünü aşağıdaki gibi elde etmiştir.

Şekil 22 'de gösterilen dilim için kayma kriteri (3) bağıntısında verildiği gibidir.



Şekil 22. Basitleştirilmiş Janbu yöntemi

Düsey denge denklemi (48) bağıntısında olduğu gibi yazılıp, dilimlerarası kayma kuvvetleri sıfır olarak alındığında $X_R=X_L=0$ olur. (61) bağıntısında $X_R=X_L=0$ ve (47) bağıntısındaki T eşitliği yerine yazılırsa;

$$E_R - E_L = W \tan \alpha - \frac{1}{G.S.} \left[c'l + (N - ul) \tan \phi' \right] \sec \alpha \quad (70)$$

elde edilir. Toplam kuvvet dengesinden, (70) bağıntısı;

$$\sum (E_R - E_L) = \sum W \tan \alpha - \frac{1}{G.S.} \sum (c'l + (N - ul) \tan \phi') \sec \alpha = 0 \quad (71)$$

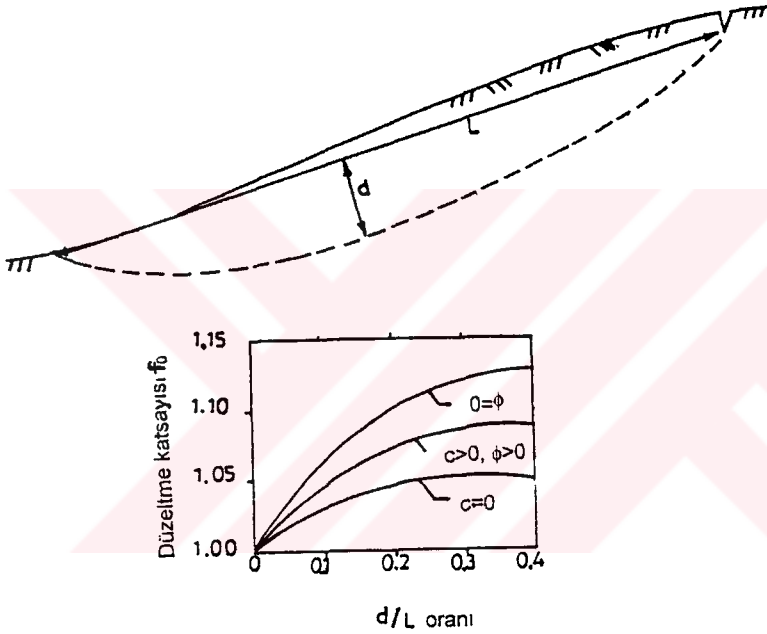
şeklinde elde edilir. Buradan da güvenlik sayısı çekilip, (45) ve (59) bağıntısı yerine koyulursa;

$$G.S. = \frac{\sum [c'b + (W - ub) \tan \phi'] / n_\alpha}{\sum W \tan \alpha} \quad (72)$$

bulunur. Güvenlik sayısı, aynen Bishop yönteminde olduğu gibi iterasyon yapılarak hesaplanır.

Janbu, genel yönteminde yapılan hesaplamalardaki bazı hataları ortadan kaldırmak ve dilimlerarası kayma kuvvetlerinin etkisini hesaba katmak için, (72) bağıntısı ile hesaplanan güvenlik sayısını, amprik bir düzeltme faktörü ile çarpmaktadır. Bu düzeltme faktörü Şekil 23'deki diyagramdan bulunarak aşağıdaki bağıntıda yerine konur ve düzeltilmiş olan yeni güvenlik sayısı bulunur.

$$G.S._{düzeltilmiş} = f_0 G.S. \quad (73)$$

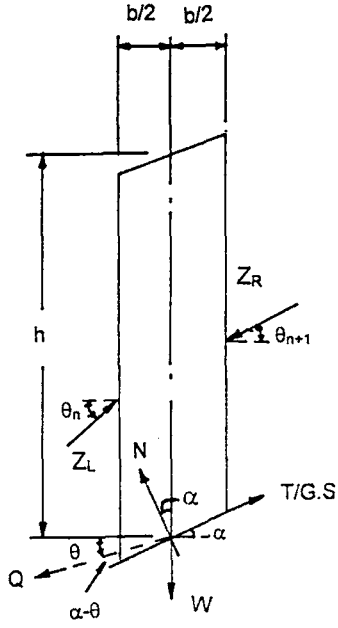


Şekil 23. Basitleştirilmiş Janbu yönteminde kullanılan düzeltme faktörü [33].

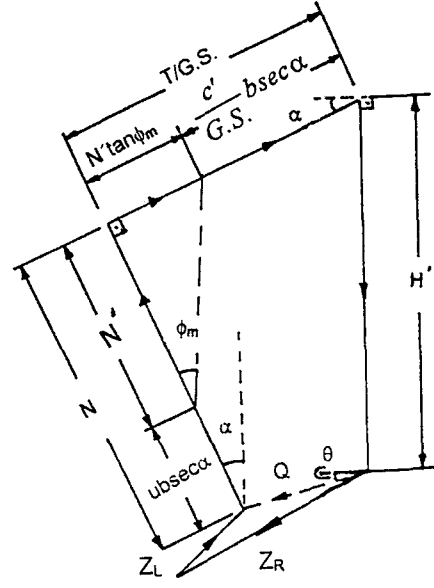
Düzeltilme faktörü f_0 , kayma bölgesinin derinlik-uzunluk (d/L) oranı ile artmakta, aynı zamanda güvenlik sayısını da %13 oranında arttırmaktadır.

2.3.2.4. Spencer Yöntemi

Spencer [43], kendi adıyla anılan bu yöntemi önce dairesel kayma yüzeylerine uygulamıştır. Yöntem, dairesel kayma yüzeyi için kuvvet ve moment dengesini sağlamaktadır.



Şekil 24.b. Spencer yönteminde dilime etkiyen kuvvetler [43].



Şekil 24.c. Spencer yönteminde kuvvet Poligonu [43].

Dilim kuvvetlerinin bileşkesi Q için Şekil 24.c 'den aşağıdaki ifade çıkarılmaktadır.

$$Q = \frac{\frac{c'b}{G.S.} \sec\alpha + \frac{\tan\phi'}{G.S.} (W \cos\alpha - ub \sec\alpha) - W \sin\alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[1 + \frac{\tan\phi'}{G.S.} \tan(\alpha - \theta) \right]} \quad (75)$$

(75) bağıntısındaki W, dilim ağırlığı $\gamma b h$ 'a karşılık gelmektedir. Bishop ve Morgenstern [50], tarafından verilen;

$$u = r_u \gamma h \quad (76)$$

bağıntısı, (75) bağıntısında yerine yazılırsa;

$$Q = \gamma b H \left[\frac{\frac{c'}{\gamma H G.S.} + \frac{1}{2} \frac{h}{H} \frac{\tan\phi'}{G.S.} (1 - 2r_u + \cos 2\alpha) - \frac{1}{2} \frac{h}{H} \sin 2\alpha}{\cos\alpha \cos(\alpha - \theta) \left(1 + \frac{\tan\phi'}{G.S.} \tan(\alpha - \theta) \right)} \right] \quad (77)$$

olarak elde edilir. Burada H şev yüksekliğini, h her bir dilimin yüksekliğini göstermektedir. Şayet şev üzerindeki kuvvetler dengede ise, dilimler arası kuvvetlerin toplamı sıfır olmalıdır. Diğer taraftan dilimlerarası kuvvetlerin yatay ve düşey bileşenleri de sıfır olmalıdır.

$$\sum [Q \cos \theta] = 0 \quad (78)$$

$$\sum [Q \sin \theta] = 0 \quad (79)$$

Dönme merkezi civarındaki dış kuvvetlerin momentlerinin toplamı sıfırsa, dilimlerarası kuvvetlerin momentleri toplamı da sıfır olur.

$$\sum [Qr \cos(\alpha - \theta)] = 0 \quad (80)$$

Kayma yüzeyi dairesel olarak ifade edildiğinden eğrilik yarıçapı r , sabittir. Bundan dolayı (80) bağıntısı;

$$\sum [Q \cos(\alpha - \theta)] = 0 \quad (81)$$

halini alır.

Verilen bir problemde, bu üç denklem sağlanmalıdır. Bütün dilimler için θ açısının sabit bir değer olarak alınması durumunda, bu üç bağıntı;

$$\sum Q = 0 \quad (82)$$

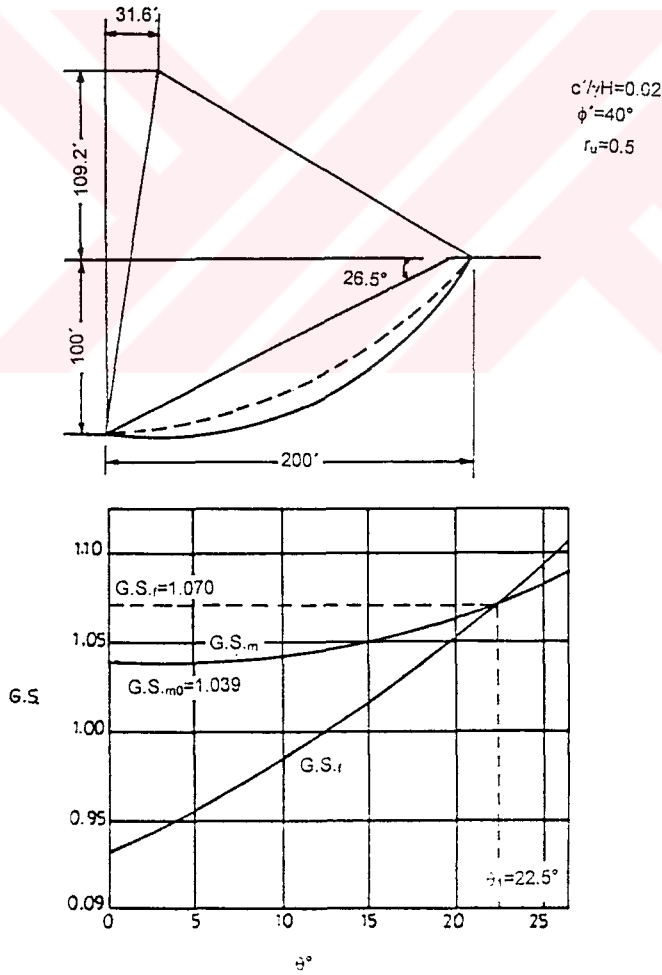
haline dönüşür. Gerçekte θ açısının, her bir dilim için farklı olmasına rağmen sabit alınmasının, sonuca etkisi küçük olmaktadır.

Dilim kuvvetlerinin paralel olduğu kabulü yapılarak problem, daha basit bir hale indirgenir. Değişik θ değerleri seçilir. Bu θ değerlerine karşılık gelen (78) ve (79) bağıntılarını sağlayan $(G.S.)_f$ güvenlik sayısı ve (80) bağıntısını sağlayan $(G.S.)_m$ güvenlik sayısı bulunarak, bunların belirttiği eğriler Şekil 25 'deki gibi eksen takımında çizilir. $(G.S.)_m$ ve $(G.S.)_f$ güvenlik sayılarının oluşturduğu eğrilerin kesişim noktasındaki

$(G.S.)_f=(G.S.)_m=(G.S.)_I$ ve buna karşılık gelen θ değeri bulunur. Bu değerler (75) bağıntısında yerine yazılarak, dilim kuvvetlerinin bileşke değeri elde edilir. Sırasıyla her bir dilim için, dilim kuvvetleri ve dilim tabanının ortasına göre alınan momentler ve kuvvetlerin etkiye noktaları elde edilmiş olur.

Spencer, bu metodla ilgili su sonuçları vermiştir;

1. Kesişim noktasında elde edilen θ değeri, şev eğiminden küçüktür.
2. θ açısının değişimi, $(G.S.)_m$ ve $(G.S.)_f$ 'in değerindeki değişimden daha çok etkilenir. Şekil 25 'de görüldüğü gibi $\theta=0$ alınmalıdır. Böylece moment denklemi kullanılarak bulunan $(G.S.)_{m0}$ ile $(G.S.)_I$ değeri arasındaki fark çok büyük olmamaktadır.
3. Dilim kuvvetlerinin etkiye noktaları, dilimlere ait düşey sınırın orta üçte bir limiti içerisinde kalır. Ancak alt üçte bir sınırına daha yakındır. Bu da dilim sınırlarında yaklaşık olarak üçgenel bir dağılımın, kabul edilebilir bir sonuç olduğunu ispatlar[43].



Şekil 25. Spencer yönteminde θ' 'ya karşı gelen $G.S._m$ ve $G.S._f$ değerleri [43].

Spencer, bu methodla basitleştirilmiş Bishop metodunda sonuca etki eden faktörleri de araştırmıştır. Buna göre basitleştirilmiş Bishop metodunu kullanmakla, r_u boşluk basınç katsayısının, α şev açısının, ϕ' efektif kayma mukavemeti açısının artması ve $c'/\gamma H$ oranının azalması ile hata oranının daha az miktarda arttığı görülmüştür.

Spencer [51], daha sonra yaptığı araştırmalar sonucunda kendi adıyla anılan yöntemi geliştirmiş ve her tür kayma yüzeyine uygulanabilir bir hale getirmiştir. Geliştirdiği bu yöntemle yamaçtaki çekme çatlaklarını da hesaba katma olanağı sağlamıştır. Yönteme göre dilime etkiyen kuvvetler Şekil 24.b 'de gösterildiği gibi;

- Ağırlık, W
- Dilim tabanına etkiyen normal kuvvet, N;

$$N = N' + ub \sec \alpha \quad (83)$$

- Eğimleri δ_L ve δ_R olan Z_R ve Z_L dilim arası kuvvetleri
- Tabana teğet uyandırılmış kayma direnç kuvveti;

$$T_m = \frac{b \sec \alpha}{G.S.} [c' + (N - ul) \tan \phi'] \quad (84)$$

- Yamaç tepesinde çekme çatlığı varsa burada oluşacak hidrostatik basınç kuvveti T_h 'dir.

a. Kuvvetler dengesi

Çözüme, tabana dikey denge denkleminin yazılması ve N kuvvetinin ifadesiyle başlanır(Şekil 24.c). Daha sonra, dilim tabanına paralel kuvvetler denklemi yazılarak N 'nin bulunmuş ifadesi buraya yerleştirilir. Şekil 24.a'da gösterilen, ilk ve son dilimler arasında kalan tüm dilimlere etkiyen sağ yanal kuvvetler;

$$Z_R = \frac{c_m' b \sec \alpha - W \sin \alpha + \tan \phi_m' (W \cos \alpha - ub \sec \alpha) + Z_L \cos(\alpha - \delta_L) [1 + \tan \phi_m' \tan(\alpha - \delta_L)]}{\cos(\alpha - \delta_R) [1 + \tan \phi_m' \tan(\alpha - \delta_R)]} \quad (85)$$

formülüyle hesaplanır. Burada ϕ_m ve c_m zeminin uyanmış kayma direnci parametreleridir ve

$$\tan \phi_m = \frac{\tan \phi}{G.S.} \quad (86)$$

$$c_m = \frac{c}{G.S.} \quad (87)$$

olarak ifade edilir. İlk dilimde Z_L sıfır olarak alınır. Bu nedenle birinci ara yüzeye etkiyen Z_1 hesaplanacaktır. En son dilimde sistemi dengeleyen dış kuvvet Z_N yatay kabul edilerek Z_N+T_h kuvveti bulunur.

b. Moment dengesi

Moment dengesi N, W ve T kuvvetleri dilim taban merkezine etkilediklerinde yanal kuvvet bileşikleri için yazılacaktır. Dilimlerarası kuvvetin etkime yüksekliği (Şekil 24.c) L_i ;

$$L_i = \frac{b_i}{2} (\tan \delta_i - \tan \alpha_i + \frac{1}{z_i \cos \delta_i} - \sum_{i=1}^i J) \quad (88)$$

formülüyle hesaplanır. Yamacın dengesini sağlamak amacıyla, uygulanması gereken dış moment M_N ise;

$$M_N = \gamma_w \frac{Z_w^2}{2} \left[\frac{b_N}{2} \tan \alpha_N + \frac{Z_w}{3} \right] - \sum_{i=1}^N [J] \quad (89)$$

ifadesi ile bulunur. Burada Z_w çekme çatlağı derinliğidir. (88) ve (89) bağıntılarında tanımlanan J, sistemin geometrisinin etkisini yansıtmaktadır.

$$J = \frac{1}{2} Z_{i-1} (b + b_{i-1}) - \delta_{i-1} (b_i \tan \alpha_i + b_{i-1} \tan \alpha_{i-1}) \quad (90)$$

Spencer, dilimlerarası kuvvetlerin paralel yani eşit eğimde (θ) alınmalarının, bulunacak olan güvenlik sayısında fazlaca bir hata doğurmayacağını göstermiştir[51].

Yamaç dengesinin sağlanabilmesi için $X_N=M_N=0$ şartını sağlayacak iki değişkene ihtiyaç vardır. Bu değişkenlerden ilki güvenlik sayısı, diğeri ise dilimlerarası kuvvetler katsayısı k ile birlikte, δ eğimlerinin belirlenmesini sağlayan, dilimlerarası kuvvetlerin ortalama eğimi θ 'dır.

$$\tan \delta_1 = k_1 \tan \theta \quad (91)$$

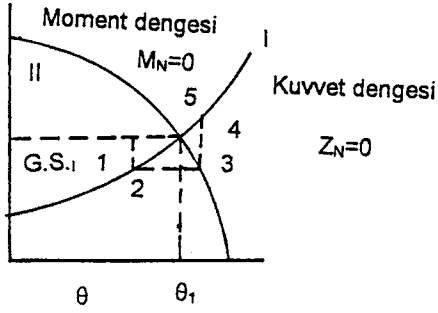
Her ara yüzey için, k değeri seçilebilir. Mesela $k=1$ durumunda dilimlerarası kuvvetler paralel olacak ve yatayla θ açısı yapacaklardır. k katsayısı değişik değerler aldığı sürece Z kuvvetleri, θ eğiminden farklı açılarda etkileyeceklerdir.

İtki çizgisi kavramı ilk defa Bishop[42,52] tarafından, dilimlerarası kuvvetlerin etkileşim noktalarını birleştiren çizgi olarak tanımlanmıştır. Her dilimde (88) bağıntısı ile itki çizgisinin geçiş yeri hesaplanmaktadır.

Bir yamaçta uygun görülen kritik kayma yüzeyinin hesaplanmasında, güvenlik sayısı ve θ değişkenlerinin seçilmiş değerlerine karşılık, dış dengeleme kuvveti Z_N ve dış dengeleme momenti M_N 'nin sıfıra düşürülmesi öngörülmüştür. Spencer[51] tarafından geliştirilen yöntemle göre hesap sırası aşağıdaki gibidir.

1. Her dilimin ön ve arka yüzü için, bir k değeri seçilir. Buradan sürekli bir eğri elde edilecektir.
2. G.S. ve θ için deneme değerleri seçilir.
3. Bağıntı (91) ile dilimlerarası kuvvetlerin eğimi hesaplanır.
4. (85) bağıntısı kullanılarak, dilimlerin yanal kuvvetleri hesaplanır(Z). En son dilime etkileyen Z_N 'nin sıfıra indirgenebilmesi için, güvenlik sayısı da yeterli sayıda değiştirilmelidir.
5. Hesaplanan dilimlerarası kuvvetler (88) ve (89) nolu bağıntılarda yerine koyularak, yamaç dengesini sağlamak için gerekli olan dış moment M_N hesaplanır. M_N 'nin değerinin sıfıra indirilmesi için de θ değeri yeterli sayıda değiştirilmelidir.
6. İşleme G.S. ve θ 'nın (4) ve (5) maddelerindeki değerleri ile (3)'deki işlemin her tekrarındaki G.S. ve θ değerleri arasındaki fark sıfıra düşünceye kadar devam edilmelidir.

İşlemler Şekil 26'da açıklanmıştır. G.S. ve θ arasındaki ilişki I nolu eğride $Z_N=0$, II nolu eğride $M_N=0$ şartını sağlayacak şekilde gösterilmiştir. G.S. ve θ 'nın başlangıçta seçilen deneme değerleri 1 nolu nokta ile gösterilmiştir. 2 nolu nokta, (3) ve (4) maddelerinde yapılan işlemler sonucunda elde edilmiştir. 3 nolu nokta ise güvenlik sayısının değiştirilmiş değeri ile (5) maddesindeki işlemi tamamlayan θ 'ya karşılık gelir. $M_N=Z_N=0$ şartı sağlanıncaya kadar işlemlere devam edilir. İki eğrinin kesişme noktası gerçek güvenlik sayısını verecektir. Hesap çok fazla iterasyon gerektirdiğinden, küçük hafızalı hesap makinaları ile yapılamamaktadır[51].



Şekil 26. Spencer yönteminde çözüm metodu

Spencer yönteminde iki önemli hata göze çarpmaktadır. Bunlardan ilki, hesapların karmaşıklığı, el ile çözümü zorlaştırmakta ve hatta imkan vermemektedir. İkincisi ise dilimlerarası kuvvetlerin paralel olmasının, her zaman mantıklı sonuç vermemesidir. Ayrıca bu durumda, itki çizgisi hesaplanarak yapılacak çözüm uygun olmayacaktır.

2.3.2.5. Morgenstern-Price Yöntemi

Morgestern ve Price [44,53], daha önce bilgisayar için yapılmış programın zorluklarını ortadan kaldırmak amacıyla, her bir dilim tabanının merkezi etrafındaki moment toplamını ve bir dilim tabanının normal ve teğet kuvvetlerin toplamını kullanarak güvenlik sayısını hesaplamak için yeni bir çözüm yöntemi geliştirmiştir. Diğer yöntemlerde ele alınan dilimlerden farklı olarak, daha geniş alınan bu dilimlerin herbirinin içinde cebirsel anlamda bir eleman ele alınır. Şekil 27 'de görülen bu eleman için kayma yüzeyine paralel ve dik kuvvetlerin dengesi yazılırsa kaymanın normali doğrultusunda;

$$dN' + dP_b = dW \cos \alpha - dx \cos \alpha - dE' \sin \alpha - dP_w \sin \alpha \quad (92)$$

ve kayma yönünde;

$$dT = dE' \cos \alpha + dP_w \cos \alpha - dx \sin \alpha + dW \sin \alpha \quad (93)$$

yazılabilir.

(92) ve (93) bağıntısı efektif gerilmelere göre Mohr-Coulomb kriteri ile birleştirilirse;

bağıntısını verir. Eleman için moment dengesi, eleman tabanının ortasına göre alınan moment denge deklemini verir.

$$E'((y - y_t') - (-\frac{dy}{2})) + P_w((y - h) - (-\frac{dy}{2})) - (E + dE')(y + dy - y_t' - dy_t + (-\frac{dy}{2})) - x\frac{dx}{2} - (x + dx)\frac{dx}{2} - (P_w + dP_w)x(y + dy) - (h + dh) - \frac{dy}{2} - dP_b g_1 - dN' g_2 + dw g_3 = 0 \quad (96)$$

(96) bağıntısı sadeleştirildiğinde, limit durumunda $x \rightarrow 0$ giderken g_1, g_2, g_3 egzantresitelerinin dx 'den daha küçük olacağı düşünülürse;

$$x = \frac{d}{dx}(E' y_t') - y \frac{dE'}{dx} + \frac{d}{dx}(P_w h) - y \frac{dP_w}{dx} \quad (97)$$

yazılabilir. (95) ve (97) bağıntıları kolay çözülemeyeceğinden, bunların çözümü sırasında iki önemli başlangıç varsayımı yapmak gerekir. Bunlar;

1. E' ve X kuvvetleri birbiriyle bağlantılı olmalı
2. Dilimler her diferansiyelin katsayısını kolay elde edecek şekilde seçilmelidir.

Çözüm için bir yol, dilimlerarası kuvvetlerin iki bileşeni arasında önsel olarak tanımlanan, dilimlerarası kuvvetlerin rölatif eğimini çözüm işleminin bir bölümü olarak göstermek ve kesin eğim derecelerini belirleyen bir katsayı ile birlikte bir bağıntı kurmaktır. Katsayılar diferansiyel denklemlerin çözülebileceği, sürekli fonksiyonlar şeklinde olmalıdır. Daha önce tanımlanan eğim fonksiyonu bütün X 'ler için aynıdır ve $f(x)$ ile gösterilmektedir. λ ölçekleme sabiti olmak üzere $X = \lambda f(x) E'$ 'dir. Böylece heyelan kütlelerini kamalara ve ince dilimlere bölerek, diferansiyel denklemlerde sadeleştirmeler yapmak mümkün olmaktadır. Bu dilimleme öyle yapılmalıdır ki, sevi bölümlere ayıran çizgilerin hepsi seçilen dilimlerde lineer veya kısmen lineer olmalıdır. Bu lineerlik zemin seviyesinde, kayma yüzeyine ve piyezometrik çizgiye de uygulanmalıdır. Örneğin;

$$y = Ax + B \quad (98)$$

$$\frac{dw}{dx} = px + q \quad (99)$$

$$f(x) = kx + m \quad (100)$$

seçilir. Her bir dilimin kenarında yeralan, P_w su basıncı kuvvetlerini piyezometrik seviyeden kayma yüzeyine doğru basıncın hidrostatik değişmesi ile ifade ettiğimizi düşünürsek, lineer piyezometrik çizgi ve kayma yüzeyi, P_w kuvvetini dilim kesiti boyunca kuadratik olarak değişken yapacaktır. Aynı düşünce sismik ivmeden meydana gelen, yanal kütle kuvvetlerine de uygulanabilir. Böylece ilave bağıntılar;

$$\frac{dP_b}{dx} = rx + s \quad (101)$$

$$\frac{dP_w}{dx} = tx^2 + ux + v \quad (102)$$

halini alır. (101) ve (102) bağıntılarını (95) nolu kuvvet bağıntısında yerine yazarsak;

$$(Kx + L) \frac{dE'}{dx} + kE' = Nx + P \quad (103)$$

bağıntısını elde ederiz. Burada K, L, N ve P (98), (99), (100), (101) ve (102) bağıntılarındaki katsayıların fonksiyonlarıdır. Bu fonksiyonların tüm ifadesi Bromhead [54] tarafından verilmiştir. Bu denklem $x=0$ ve $x=b_i$ sınırları arasında integre edilirse;

$$E'_{i+1} = \frac{1}{(L_i + k_i b_i)} (E'_i L_i + P_i b_i + \frac{1}{2} N_i b_i^2) \quad (104)$$

bağıntısı elde edilir. Bunu, kaymanın topuğunda $E'=0$ 'dan başlayarak sırayla her dilime uygulayıp, E' kuvvetlerinin tam serisi, rastgele seçilen bir güvenlik sayısı ve λ değerleri için elde edilebilir. Doğru bir değer seçildiği takdirde, kaymanın tepesindeki bu kuvvetlerin sonucusu sıfır olarak karşımıza çıkacaktır. Ayrıca bu şartları sağlayan G.S. ve λ , moment şartlarını sağlamadıkça tam doğru bir sonuç elde edilemez.

Kayma yüzeyi etrafındaki E' kuvvetinin momenti R;

$$R_i = E_i' (y t_i - y_i) = E_i' r_i \quad (105)$$

şeklinde ifade ediliyor olsun. (97) nolu moment bağıntısı düşünülerek ifade;

$$\int (x + yE') dx + Q \quad (106)$$

şeklinde yazılabilir. Burada Q, zemin kütlelerinde sismik ivmelerden meydana gelen momenti ayrıca dilimin kenarındaki bilinen boşluk suyu basıncı kuvvetlerinin momentini ifade etmektedir.

Böylece efektif yatay dilimlerarası kuvvetin momenti R_i , dilimin öbür yanındaki R_{i-1} momentinden ve dilimin kendi fiziksel özelliklerinden;

$$R_i = R_{i-1} + \int_0^{b_i} [\lambda(kx + m) + y|E'| dx + Q_i \quad (107)$$

şeklinde ifade olunur. Daha sonra bu, sırayla E' kuvvetleri için yapıldığı gibi her dilim kesiti boyunca şev topuğundan başlayıp kretine doğru giderek entegre edilebilir. Sonuç, genellikle sıfırdan farklı bir moment verir. Bundan sonra güvenlik sayısı ve λ 'nın her ikisini de değiştirerek bu denge dışı kuvvet ve momentleri azaltmak üzere sistematik dengeleme yöntemi kullanılır. Nihai R_n momenti ve dilimlerarası E_n' kuvvetinin her ikisi de sıfıra eşit olduğundan, bunu teşkil eden güvenlik sayısı ve λ değerleri problemin çözümünü oluştururlar ve bunlar ikincil sonuçlar dizisini türetmek için kullanılırlar. Bu büyüklükler her bir dilimin kendi kuvvet denkleminde türetilirler. Pratikte, R_n ve E_n' deki veya güvenlik sayısı ve λ 'daki hata yeteri kadar küçükse yakınsama kabul edilir.

Kayma yüzeyinin sonunda E' ve R 'deki hataların $\delta E'$ ve δR olduğunu varsayalım. Bu taktirde, güvenlik sayısı ve λ 'nın yeni değerlerini bulmak için bu iki bilinmeyen başlangıç değerlerine sırayla $\delta G.S.$ ve $\delta \lambda$ 'yı ilave etmek gerekir. $\delta G.S.$ ve $\delta \lambda$ iki değişkenli Newton yaklaşımı ile elde edilir.

$$\delta G.S. = \frac{\frac{\delta R}{\delta E'} \frac{\delta E'}{\delta \lambda} - \frac{\delta E'}{\delta R} \frac{\delta R}{\delta \lambda}}{\frac{\delta G.S.}{\delta \lambda} + \frac{\delta \lambda}{\delta G.S.}} \quad (108)$$

$$\delta \lambda = \frac{\frac{\delta E'}{\delta G.S.} \frac{\delta R}{\delta R} - \frac{\delta R}{\delta G.S.} \frac{\delta E'}{\delta R}}{\frac{\delta G.S.}{\delta \lambda} + \frac{\delta \lambda}{\delta G.S.}} \quad (109)$$

Gerekli olan tüm diferansiyel bileşenler (104) ve (105) bağıntılarının, güvenlik sayısı ve λ 'ya göre diferansiyeli alınır. Sonra, meydana gelen bu denklemleri, şevrin kretindeki diferansiyellerin değerlerini bulmak için her dilim boyunca sırasıyla kullanarak elde edilebilir[55].

Morgestern-Price yönteminin Spencer'a göre üstün yanı $f(x)=1$ fonksiyonunun gerçekçi olmayan bir itki çizgisi vermesi durumunda hesabın başka $f(x)$ değerleri ile tekrarlanabilir olmasıdır. Öte yandan Spencer yöntemi Morgenstern-Price'a göre daha basit ve daha az süre alıcı bir çözümdür.

2.3.2.6. Sürtünme Dairesi Yöntemi

Taylor tarafından geliştirilen bu yöntem c- ϕ zeminlerinde tüm kütlelerin dengesini incelemek için gerçekçi çözüm sağlayan ilk çalışmalardan biridir. Yöntemin esası kayma yüzeyi üzerinde bulunan N bileşke kuvvetinin, merkezi, kayma yüzeyinin merkezi ile aynı olan $r \sin \phi$ yarıçaplı bir daireye teğet olması kabulüne dayanmaktadır[29]. Homojen şevlerde toplam ve efektif gerilme analizine uygulanabilen bu yöntemde, kayan kütleyle etkileyen kuvvetler ağırlık W, kohezyon kuvvetlerinin bileşkesi C ve kayma üzerine etkileyen dikey ve teğetsel kuvvetlerin bileşkesi N 'dir (Şekil 28).

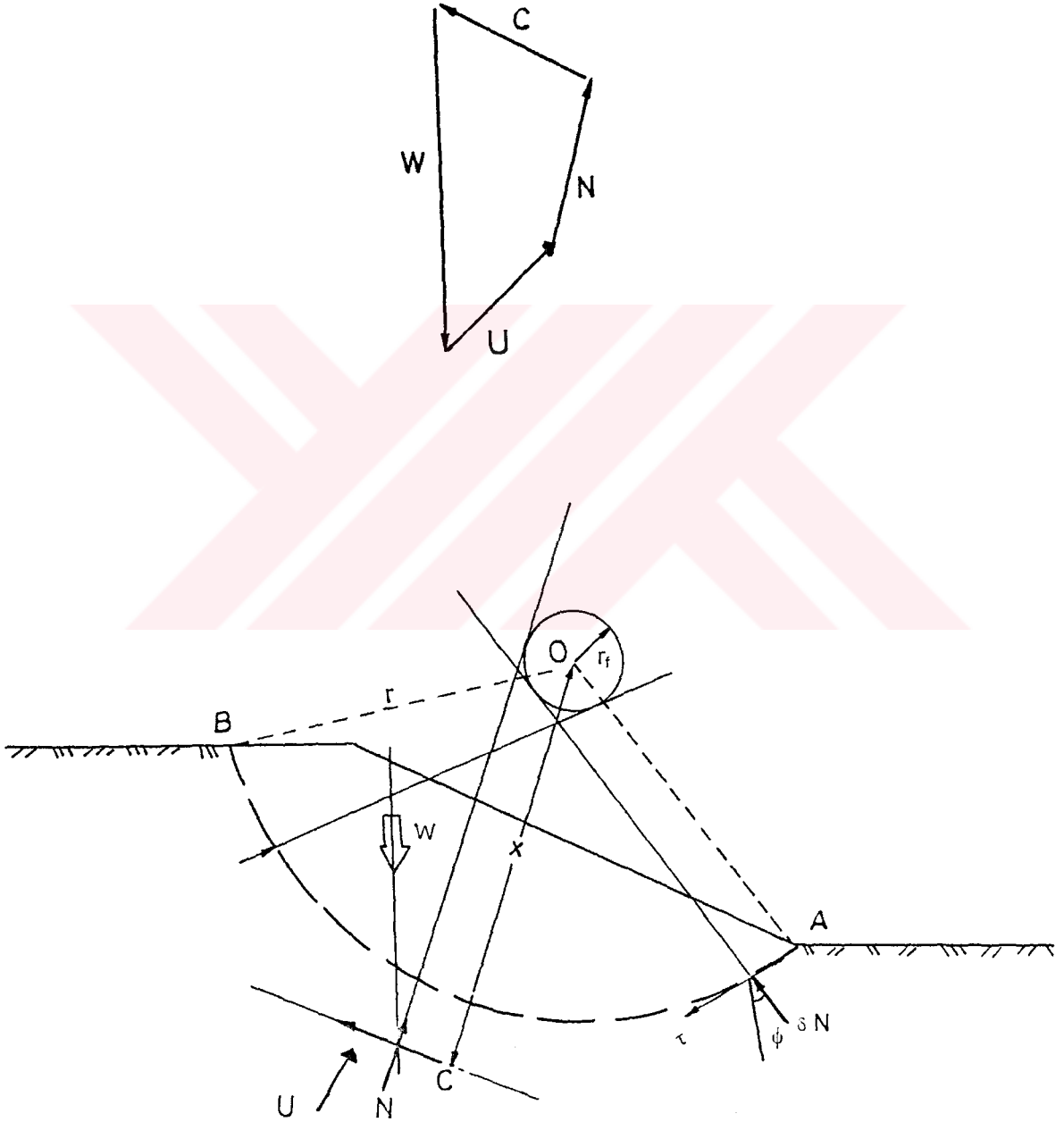
AB dairesel kayma yüzeyi boyunca etkileyen c kohezyon kuvveti, merkezden x uzaklığındaki ve L_k uzunluğundaki AB kirişine paraleldir. Merkeze göre moment alınıp, yay uzunluğu L_y ile gösterilirse;

$$C_x = cL_k \cdot x = cL_y \cdot r \quad (110)$$

elde edilip, buradan da kohezyon kuvvetlerinin etkiye doğrultusu;

$$x = \frac{L_y}{L_k} r \quad (111)$$

olarak bulunur.



Şekil 28. Sürtünme dairesi yönteminde sürtünme çemberi ve kuvvetleri

Böylece c kohezyon kuvvetinin doğrultusu belirlenmiş olur. N bileşke kuvvetinin doğrultusu bulunurken, kayan kütle boyunca her noktadaki normal gerilmenin yüzeyle ϕ açısı yaptığı ve bunların bileşkesi N 'nin ise $r \sin \phi$ yarıçaplı bir daireye teğet olduğu varsayımı gözönünde tutulmalıdır. Söz konusu deneme yüzeyi için değeri ve doğrultusu bilinen ağırlık ve boşluk suyu basıncı ayrıca kohezyon kuvveti ve normal kuvvetin oluşturduğu poligon, Şekil 28 'deki gibi çizilmeli ve kapanmalıdır. Bu kuvvetler çokgeni ile c ve N kuvvetlerinin değerleri belirlenir. Belirlenen c değeri, denge durumu için kohezyona karşı geldiğinden, zeminin gerçek kohezyonu ile mukayese edildiğinde, kohezyon için güvenlik sayısı;

$$(G.S.)_c = \frac{\text{Mevcut kohezyon}}{\text{Denge için gereken kohezyon}} \quad (112)$$

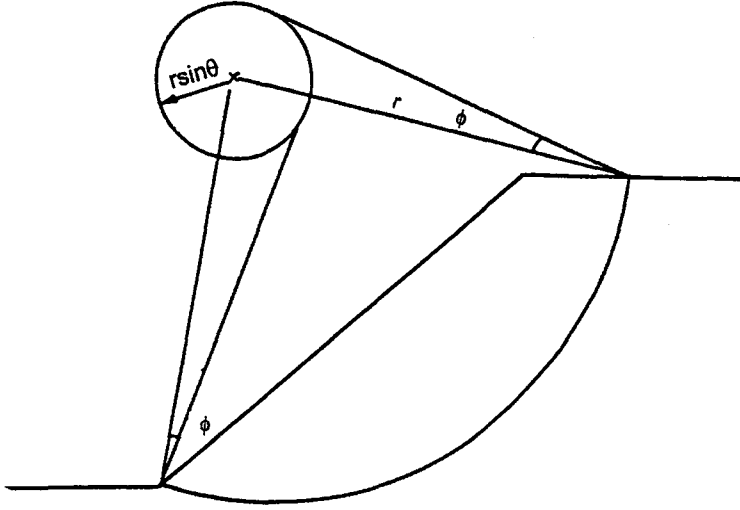
olarak elde edilir. Bu güvenlik sayısı, denge şartlarında sürtünme ve kohezyon mukavemetlerinin eşit oranlarda mobilize olduğu kabulüne dayanmaktadır. Böylece;

$$(G.S.)_\phi = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_1} \quad (113)$$

oranından yeni bir N doğrultusu ve ϕ_1 açısı elde edilir. Bu işleme $(G.S.)_c$ $(G.S.)_\phi$ eşit olana kadar devam edilir [35]. Daha çabuk sonuç elde etmek için birkaç işlemden sonra bulunan $(G.S.)_c$ $(G.S.)_\phi$ değerleri bir eksen takımında işaretlenir. Meydana gelen bu eğri orijinden 45 derecelik eğimle geçen doğruyla kestirilerek güvenlik sayısı bulunur.

N bileşke kuvvetinin, kayma yüzeyi üzerinde tek bir noktada yoğunlaştığı ve $r \sin \phi$ sürtünme dairesine tam teğet olduğu varsayımı, güvenlik sayısında alt limit çözümünü verir. Güvenlik sayısının üst limiti ise, normal kuvvetlerin sadece kayma yüzeyinin iki uç noktasında yoğunlaştığı kabulü ile elde edilir[6]. Şekil 29 'da gösterilen üst limit çözümü ile elde edilen güvenlik sayıları %8 oranında artış göstermektedir[35].

Sürtünme dairesi yönteminde, boşluk suyu basıncı olarak kayma yüzeyine dik olarak etkiyen boşluk suyu basınç kuvvetlerinin bir bileşkesi kullanılır. Kuvvetler çokgeni çizilirken gözönüne alınan U bileşke kuvveti kayma dairesinin merkezinden geçer.



Şekil 29. Güvenlik sayısı üst limit çözümü

Dilim yöntemlerinde, karmaşık zemin şartları ve kesit boyunca sabit olmayan boşluk suyu basınçları kullanılabilir olmasına rağmen, sürtünme dairesi metodunda, kayma yüzeyi boyunca zemin şartları sabit olarak düşünülmesi gerektiğinden, sürtünme dairesi metodunun sınırlı kullanım alanı vardır[42].

2.3.2.7. Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi

Genellikle homojen zeminlerde meydana gelen dairesel kaymalar için limit denge kabulüyle, dilimlere etkiyen yanal kuvvetlerin yatay, dilimlerarası kesme kuvvetlerinin sıfır olduğu ayrıca normal kuvvet ve ağırlığın dilim tabanının ortasına etki ettiği varsayılır[7]. Daha önceki şekliyle genel kayma yüzeyleri için geliştirilen bu metot, sonradan dairesel yüzey varsayımının hesaplarda önemli hatalar meydana getirmediği, pratik olduğu anlaşılınca sadece dairesel kayma yüzeylerine uygulanır olmuştur.

Bishop, X dilim kesme kuvvetlerinin dikkate alınması durumunda çözümün daha karmaşık olacağını savunmuştur[42]. Ayrıca bu kuvvetlerin ihmal edilmesi hesaplarda %1'den daha az bir hata meydana getirmektedir. Bu yüzden dilimlerarasındaki kuvvetlerin bileşkesinin yatay olduğu kabul edilerek basitleştirilmiş Bishop metodu geliştirilmiştir.

Yönteme göre kayma yüzeyi, bir daire yayı olarak varsayılır ve güvenlik sayısı; zeminin gerçek kayma dayanımının, uyanmış (mobilized) kayma dayanımına oranı olarak tanımlanır:

$$G.S. = \frac{\tau_f}{\tau} \quad (114)$$

Burada τ ve τ_f (1) ve (3) bağıntılarında verildiği gibidir. Bu bağıntılarda;

$$\sigma = \frac{N}{l} \quad (115)$$

$$\tau = \frac{T}{l} \quad (116)$$

ise, T kuvveti (47) bağıntısındaki gibi elde edilir.

Burada, σ' dilim tabanındaki efektif normal kuvveti (N-ul), τ_f Mohr-Coulumb kayma mukavemetini, τ ise uyanmış kayma mukavemetini ifade etmektedir. Güvenlik sayısını elde etmek için, Şekil 30 'a göre denge yazılırsa;

$$N \cos \alpha + T \sin \alpha - W = 0 \quad (117)$$

bulunur. Buradan N ifadesi;

$$N = \frac{W - T \sin \alpha}{\cos \alpha} \quad (118)$$

olarak çekilir. Daha önce elde edilen (47) bağıntısı (118) 'de yerine yazılırsa;

$$N = \left[W - \frac{1}{G.S.} (c'l \sin \alpha - ul \tan \phi' \sin \alpha) \right] / m_\alpha \quad (119)$$

elde edilir. Şekil 30 'da gösterilen O noktasına göre moment dengesi;

$$\sum W_r \sin \alpha = \sum T_r \quad (120)$$

için m_α değeri bulunur. Bu güvenlik sayısını, İsveç dilim yönteminden bulunan güvenlik sayısı olarak seçmek en doğru seçim olacaktır. Chowdhury [56], toplam veya düşük basınçlı efektif gerilme analizi ile hesap yapılacaksa, İsveç dilim yönteminden bulunan güvenlik sayısının 1.2 katı ile hesaba başlanmasını önermiştir. Eğer boşluk suyu basınçları daha yüksek ise, İsveç dilim yöntemi ile bulunan güvenlik sayısının 1.2 ve 1.25 katı alınarak hesaba başlanmalıdır[42].

Tablo 13. Basitleştirilmiş Bishop metodunda şev stabilitesi için cetvel[7]

Dilim No	α	W	c	u	$\tan\phi$	$c+(W/b-u)\tan\phi$	(6) b	$W\sin\alpha$	m_α	(7)/(9)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
.										
.										
.										

Tahmin edilen güvenlik sayısı ile hesaplanan m_α değerini, (121) bağıntısında yerine yazarak gerçek güvenlik sayısı hesaplanmaktadır. Bu işleme hesaplanan gerçek güvenlik sayısı ile, tahmin edilen güvenlik sayısı birbirine eşit oluncaya kadar devam edilir.

Yukarıdaki güvenlik sayısı hesabında m_α değeri, güvenlik sayısına bağlı olduğundan çözüm, iterasyon gerektirmektedir. Aynı metot kaynak [36] 'da farklı olarak ele alınmış ve iterasyona gerek kalmamıştır. Buna göre τ kayma dayanımı;

$$\tau = \frac{c' + (\sigma - u) \tan \phi'}{G.S.} \quad (123)$$

dilim tabanına etkiyen normal gerilme, (115) bağıntısından alınıp (123)'de yerine koyulursa;

$$\tau = \frac{1}{G.S.} \left[c' + \left(\frac{N}{l} - u \right) \tan \phi' \right] \quad (124)$$

olarak elde edilir. Dilim tabanına etkiyen kayma kuvveti, $T=\tau l$ 'dir. Limit dengenin sağlanabilmesi için, kaymayı teşvik edici momentin, kaymaya karşı koyan momente eşit olması gerektiğinden;

$$\sum rW \sin \alpha = \sum Tr = \sum \tau l r \quad (125)$$

şeklinde yazılır. Düşey kuvvet olarak sadece W alındığından, (15) ve (124) bağıntıları, (125) bağıntısında yerine koyulursa;

$$G.S. = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum [c'l + (W \cos \alpha - ul) \tan \phi'] \quad (126)$$

olarak elde edilir. Ayrıca şevde, r_u boşluk suyu basıncı oranının olması durumunda;

$$r_u = \frac{u}{W/b} \quad (127)$$

olup;

$$u = r_u \gamma h = r_u \frac{W}{b} \quad (128)$$

$$b = l \cos \alpha \quad (129)$$

$$u = \frac{r_u W}{l} \sec \alpha \quad (130)$$

dır. Bu bağıntılar güvenlik sayısı eşitliğinde yerine koyulursa;

$$G.S. = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum [c'l + W(\cos \alpha - r_u \sec \alpha) \tan \phi'] \quad (131)$$

elde edilir[36].

Whitman ve Bailey [57], basitleştirilmiş Bishop metodunu daha hassas diğer metodlarla karşılaştırmışlardır. Buna göre Bishop metodu diğer analiz metodlarına göre, en fazla %7 olmak üzere, %2 veya daha az hata vermektedir. Ayrıca Whitman ve Bailey[57], dik şevlerde topuğa yakın kısımlarda, içsel sürtünme açısı ϕ , sıfır değilse α negatif değerler

alacağından $(1+\tan\alpha\tan\phi/G.S.)$ teriminin sıfır veya negatif olma tehlikesi olduğunu belirtmişlerdir. Bu terimin sıfıra yaklaşması, güvenlik sayısının sonsuza yaklaşmasına neden olacağından, herhangi bir dilim için $[\cos\alpha(1+\tan\phi\tan\alpha/G.S.)]$ teriminin 0.2 'den küçük olması halinde dikkatlice kullanılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Sadeleştirilmiş Bishop yöntemi ile bulunan güvenlik sayısı, her durumda İsveç dilim yöntemi ile bulunandan yüksek ve gerçeğe daha yakındır. Sadeleştirilmiş Bishop yönteminin eksikliği, $G.S.>1$ ve kayma yüzeyinin derin olduğu durumda hataların artmasıdır.

2.3.2.8. Genel Bishop Yöntemi

Dairesel kayma yüzeylerinde, şev stabilite analizi yapan Bishop yöntemi, önceleri genel şekilli yüzeyler için geliştirilmiş fakat daha sonradan dairesel yüzey varsayımının önemli hata vermeyip hesaplarda kolaylık sağladığı anlaşılınca bu şekliyle uygulamaya alınmıştır[42,50].

Bishop, normal kuvvet ve ağırlığın, dilim tabanının ortasından geçtiğini varsayarak Şekil 30 'da genel moment denklemini;

$$\sum W_a - \sum T_r = 0 \quad (132)$$

şeklinde ifade etmiştir. Aynı şekle göre kayma mukavemeti de;

$$\tau = \frac{c'}{G.S.} + \left(\frac{N}{l} - u\right) \frac{\tan\phi'}{G.S.} = \frac{T}{l} \quad (133)$$

şeklindedir. Güvenlik sayısını bulmak için, (133) bağıntısı, (132) bağıntısında yerine yazılmalıdır.

$$G.S. = \frac{r}{\sum W_a} \sum [c' l + (N - ul) \tan\phi'] \quad (134)$$

Normal kuvveti, efektif türden;

$$N' = N - ul \quad (135)$$

şeklinde yazabileceğimiz gibi, düşey denge koşulunu içeren (48) bağıntısı ile birleştirerek;

$$N' = \frac{W - (X_R - X_L) - ul \cos \alpha - c'/G.S. \sin \alpha}{\cos \alpha + \sin \alpha \frac{\tan \phi'}{G.S.}} \quad (136)$$

olarak da ifade edebiliriz. Bu ifadeyi de, (134) bağıntısında yerine yazarsak güvenlik sayısını;

$$G.S. = \frac{r}{\sum W a} \sum \left[c' + \frac{\tan \phi' (W - (X_R - X_L) - ul \cos \alpha - c'/G.S. \sin \alpha)}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{G.S.}} \right] \quad (137)$$

olarak bulabiliriz. Bilinen terimler;

$$a = r \sin \alpha \quad (138)$$

$$r_u = \frac{u}{\gamma h} = \frac{ul \cos \alpha}{W} \quad (139)$$

ve (129) bağıntısı kullanılarak;

$$G.S. = \frac{1}{W \sin \alpha} \sum [(c'b + (W(1 - r_u) + (X_R - X_L)) \tan \phi')] \frac{1}{\cos \alpha \left(\frac{1 + \tan \alpha \tan \phi'}{G.S.} \right)} \quad (140)$$

yazılabilir. (140) bağıntısını sadeleştirmek için, (46) bağıntısında verilen m_α terimini yerine yazarsak, güvenlik sayısını;

$$G.S. = \frac{1}{W \sin \alpha} \sum [c'b + (W(1 - r_u) + (X_R - X_L)) \tan \phi'] / m_\alpha \quad (141)$$

şeklinde elde edebiliriz.

Güvenlik sayısının bu şekilde oluşturulması, tüm denge koşullarının sağlandığı anlamına gelmemektedir. Sistemin yatay ve düşey dengesinin elde edilmesi, dilim tabanına paralel kuvvet denkleminin yazılması ile sağlanır.

$$\sum [W - (X_R - X_L)] \tan \alpha - \sum T \sec \alpha = 0 \quad (142)$$

X dengesinin sağlanmadığı durumlarda yeni bir düşey yanal kuvvet dizisi seçilmelidir. Bu işleme (141) ve (142) bağıntısı sağlanana kadar devam edilmelidir. Bazı durumlarda her iki bağıntı da sağlanmasına rağmen çözüm mantıklı olmamakta yani güvenlik sayısı ya çok büyük ya da çok küçük çıkmaktadır.

2.4. Stabilite Kartları

Birçok problemde, yamacın stabilitesi yaklaşık olarak, hızlı bir şekilde bulunmak istenir. Bu hesapları hızlandırmak ve daha kolay bir ön tasarım yapmak için, stabilite kartları geliştirilmiştir. Bu abakları kullanmadan önce, şev geometrisinin ve zemin şartlarının standart bir şekle sokulmasının getirdiği bütün olumsuzluklar bilinmelidir. Abaklarla çözüm yapabilmek için genellikle çok basitleştirilmiş bir şev geometrisi ve homojen zemin şartlarına ihtiyaç vardır. Uygulamada bütün şevler, düzensiz geometrileri ve üniform olmayan zeminleri ile değişken zemin profiline sahiptirler. Homojen yamaçta çözümler; şev yüksekliği H , β açısı, kesme kuvveti parametreleri c ve ϕ , zeminin birim hacim ağırlığı γ ve güvenlik sayısı $G.S.$ 'yi içermektedir. Bu değişkenler boyutsuz parametreler şeklinde iki gruptur. Bunlar stabilite numarası $N_s = c/\gamma H$ [49] veya $\lambda_{c\phi} = \gamma H \tan \phi / c$ [43,44,46], boşluk basıncı oranı $r_u = u/\gamma z$ 'dir. Bu boyutsuz parametrelerin kullanılması, araştırılması gereken değişken sayısını azaltmakta ve verilen durumlar için, en kritik dairesel kayma yüzeyinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Homojen zemin durumları için ($\lambda_{c\phi} < 1$) Duncan ve Wright [58], kritik kayma yüzeyinin şev topuğunun altından geçmesi gerektiğini, kayma açısının 50 dereceden küçük olacağını ve kayma dairesinin derinliğinin sert bir zemin tarafından sınırlandırılmış olması gerektiğini belirtmişlerdir. Eğer $\lambda_{c\phi} > 2$ ise kritik kayma dairesi şev topuğunun ya

içinden ya da üstünden geçmelidir. Tablo 14 'de literatürde kullanımı uygun olan diğerleri verilmiştir.

Tablo 14. Literatürdeki stabilite kartları [33]

Yazar	Parametreler	Şev Açılı	Metot	Kullanım alanları
Taylor (1948)	c_u	0-90°	$\phi_u=0$	Sadece kuru şevlerde
	c, ϕ	0-90°	sürtünme dairesi	
Janbu(1954)	c, ϕ, r_u	11-90°	İsveç dilim	Sadece topuk dairelerinde kullanılır $\lambda_{c\phi}=(\gamma H/c')\tan\phi'$
Bishop ve Morgenstern(1960)	c, ϕ, r_u	11-26.5°	Bishop	-
Gibson ve Morgenstern(1962)	c_u	0-90°	$\phi_u=0$	c_u 'nun derinliğe bağlı lineer olarak arttığı durumlarda
Morgenstern(1963)	c, ϕ	11-26.5°	Bishop	Hızlı su seviyesi düşüşünün olduğu durumlarda
Spencer (1967)	c, ϕ, r_u	0-34°	Spencer	Sadece topuk dairesinde
Hunter ve Schuster (1968)	c_u	0-90°	$\phi_u=0$	Gibson ve Morgenstern yöntemini toprak seviyesindeki sonlu mukavemetleri kapsayacak şekilde genişletmişlerdir.
O'Connor ve Mitchell (1977)	c, ϕ, r_u	11-26.5°	Bishop	Bishop ve Morgenstern $c/\gamma H=0.1$ olacak şekilde genişletmişlerdir.
Hoek ve Bray (1977)	c, ϕ	0-90°	Sürtünme dairesi	Taylor zemin suyu ve gerilme çatlaklarını kapsayacak şekilde genişletmiştir.
Cousins (1978)	c, ϕ	0-90°	Kama	3 boyutlu kama analizi
	c, ϕ, r_u	0-45°	Sürtünme dairesi	Taylor $\lambda_{c\phi}$ 'yi kullanarak genişletmiştir
Charles ve Soares (1984)	ϕ	26.5°-63.4°	Bishop	Lineer olmayan kırılma zarfı $\tau=A(\sigma')^b$

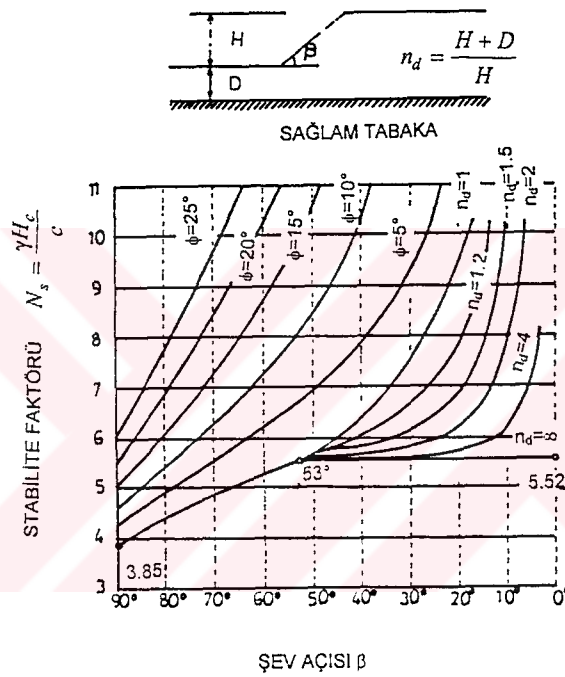
2.4.1. Taylor Stabilite Kartı

Taylor [49], sürtünme dairesi yöntemini kullanarak, homojen şev hesaplarında, zeminin belli bir kayma mukavemeti açısı için, H şev yüksekliği ve birim hacim ağırlığın artıp, c kohezyonun azaldığında, şev stabilitesinin azaldığını belirtmektedir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için homojen şevlerde, sızıntının olmaması gerekmektedir. Taylor, farklı şev yüksekliği, birim hacim ağırlığı ve kohezyon için bir diyagramla birleşecek boyutsuz bir stabilite sayısı, $\gamma H/c$ tanımlamıştır. Taylor 'un sonuçları, $\phi > 0$ zeminleri için geçerli olduğundan sınırlı bir kullanıma sahiptir. Bu çözümler bir şevde c, ϕ parametrelerinin toplam gerilmeler cinsinden bulunmasına yardımcı olur. Toplam gerilmeler $\phi_u=0$ drenajsız şartlarda

göçmeye neden olan doygun killerde kullanılır. Şekil 31 'de de görüleceği gibi belli bir β şev açısı için d derinliğine bağlı olarak, $\gamma H/c_{ist}$ stabilite sayısı eksenden okunur. d , kaymanın sınırında olan sert tabaka derinliğidir. Drenajsız göçmeye karşı güvenlik sayısı, mevcut kayma mukavemetini, ortalama kayma direncine oranlayarak;

$$G.S. = c_u / c_{ist} \quad (143)$$

şeklinde bulunur.



Şekil 31. Değişik ϕ açıları için β ile stabilite faktörü N_s ve derinlik faktörü n_d arasındaki bağıntıyı veren Taylor stabilite abağı [49].

Bu abağı kullanabilmek için şev topuğunda serbest su yüzeyi olmamalı, göçme yüzeyi dairesel olmalı, ayrıca sürşarj ve çekme çatlağı bulunmamalıdır. Bu stabilite kartı tamamen batık şevlerin analizi için kullanılabilir. Fakat bu kullanımda batık birim hacim ağırlık alınmalıdır. Bu arada iki özel göçme mekanizması tanımlanmaktadır. Şev göçmesi; şev yüksekliği H , drenajsız kayma mukavemeti ile kıyaslanır, şev yüzünden kaymanın topuğuna kadar devam eder. Topuk göçmesi; şev açısı 54° 'yi aştığı zaman bütün göçmeler şev topuğunda toplanır.

2.4.2. Bishop-Morgenstern Stabilite Kartları

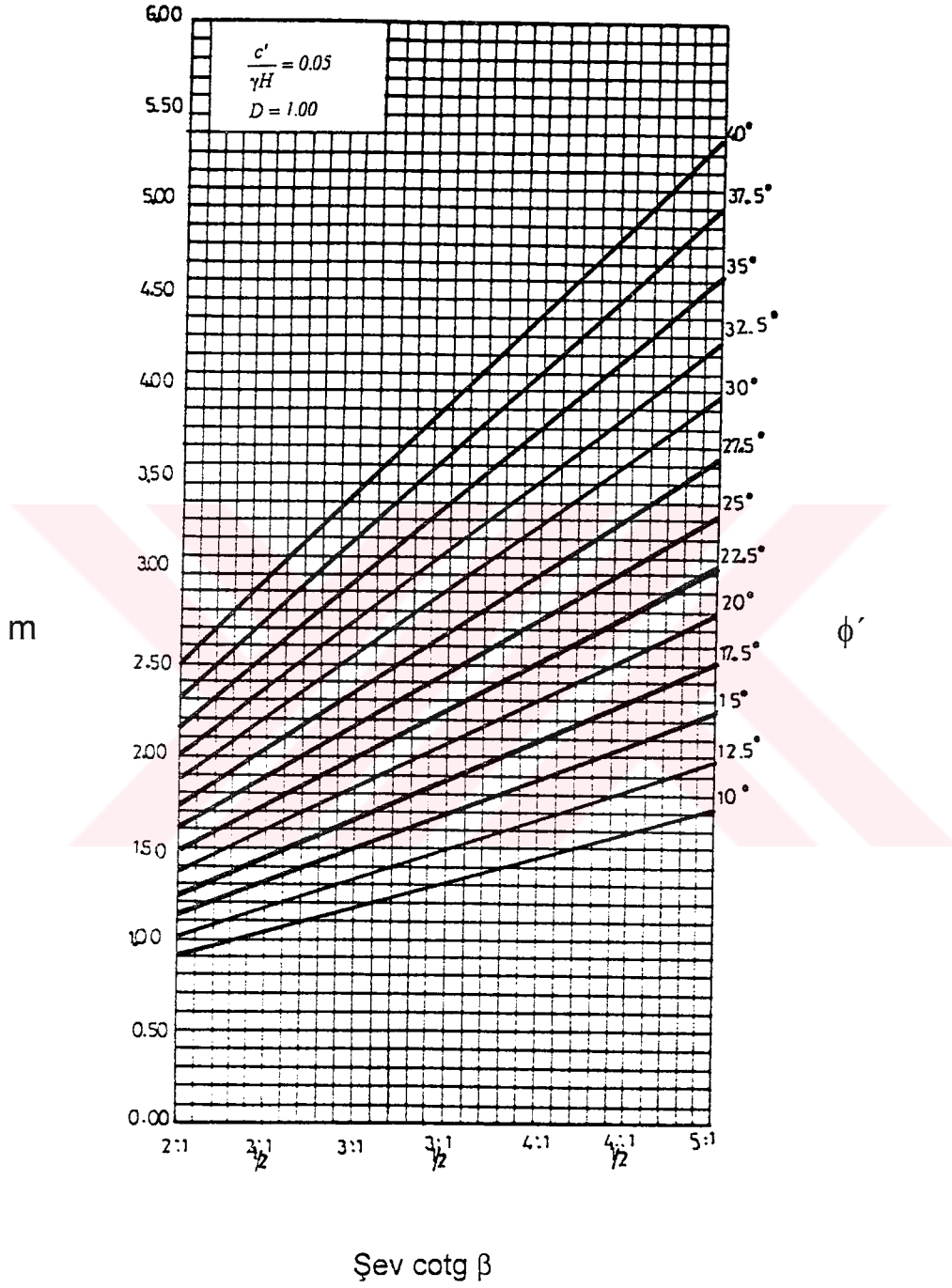
Stabilite analizleri için, Fellenius'dan beri, hemen netice veren çeşitli metodlar araştırılmıştır. Bunlardan toplam gerilme analizine göre hazırlanan, Taylor stabilite eğrileri daha önce verilmişti. Taylor eğrileri efektif gerilme analizleri için uygun değildir. Bishop ve Morgenstern[50], efektif kayma mukavemeti parametreleri olan c' ve ϕ' 'ne sahip zeminlerdeki şevlerin stabilitesini araştırmak için, Bishop metodunu belli şev açıları (11° - 27°) için kullanmışlardır.

Bishop'un, efektif gerilmelere göre verdiği şev stabilite analizi metodunda güvenlik sayısı, boşluk suyu basınç oranının bir fonksiyonu olarak düşünülürse;

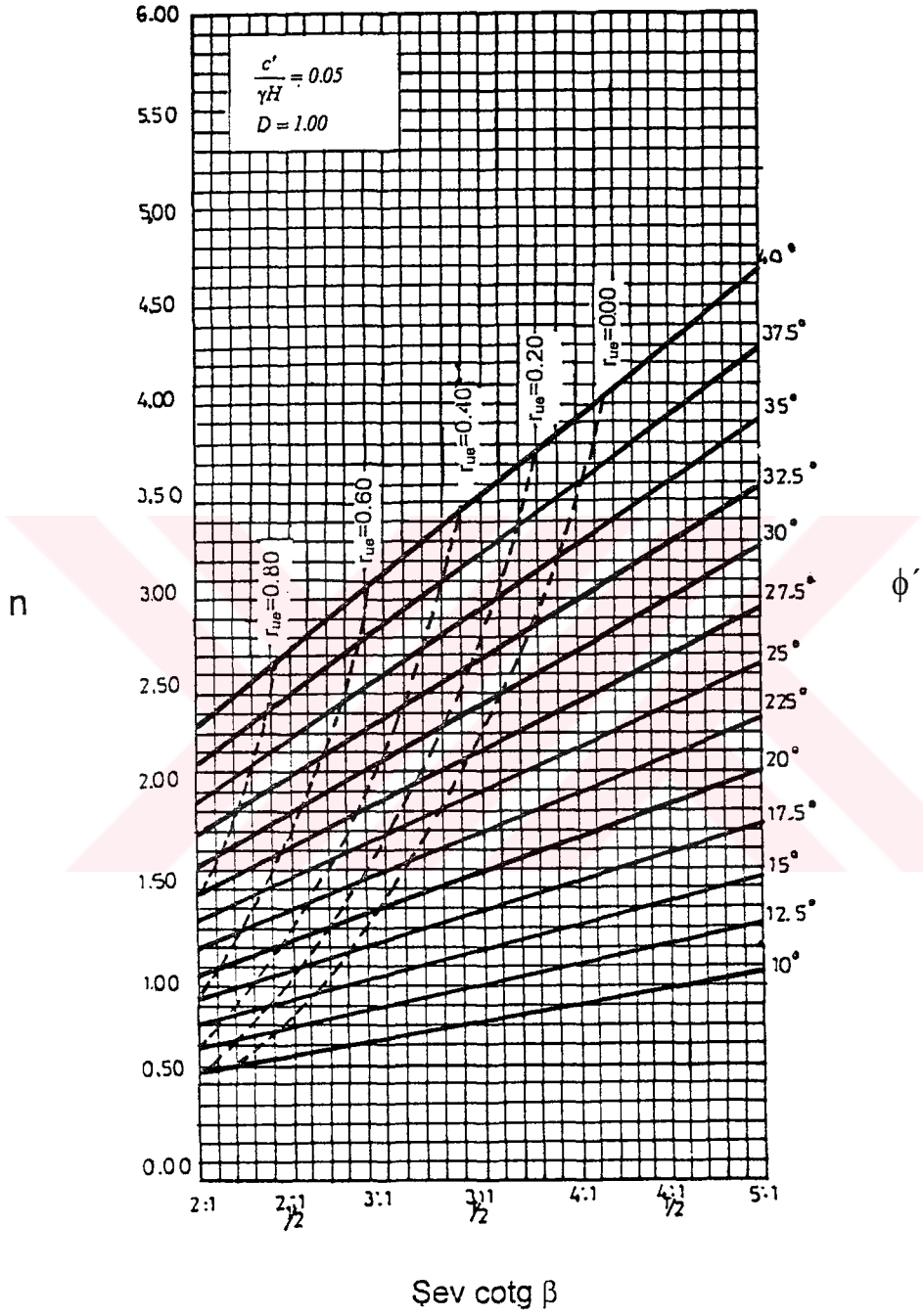
$$G.S. = m - nr_u \quad (144)$$

şeklinde lineer bir denklem olarak elde edilir. Buna göre diğer özellikler değişmediğinden, G.S. güvenlik sayısı ile r_u boşluk suyu basıncı arasında lineer bir bağıntı vardır. Burada m ve n boyutsuz parametreler olup, özellikleri bilinen bir şev için Şekil 32, Şekil 33, Şekil 34, Şekil 35, Şekil 36 ve Şekil 37 'deki eğrilerden alınabilir. Hesaplarda analiz değişkenleri olarak;

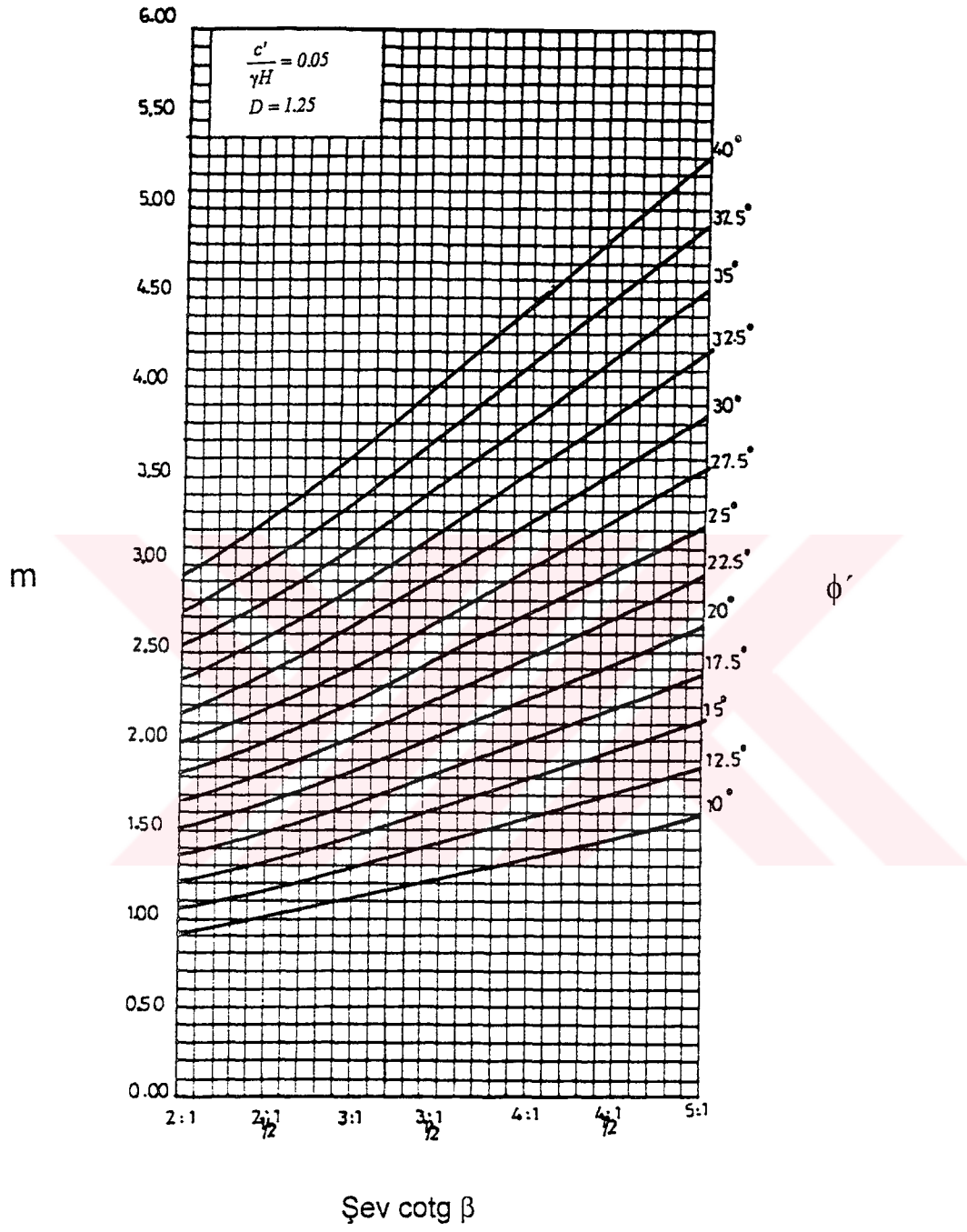
1. Derinlik faktörü (D)
2. Boşluk suyu basıncı (u)
3. Şev açısı (β) (eğriler β açısının kotanjantı ile verilmiştir).
4. H şev yüksekliği, γ_n doğal birim hacim ağırlığı, c' kohezyonu ve ϕ' içsel sürtünme açısı alınmaktadır.



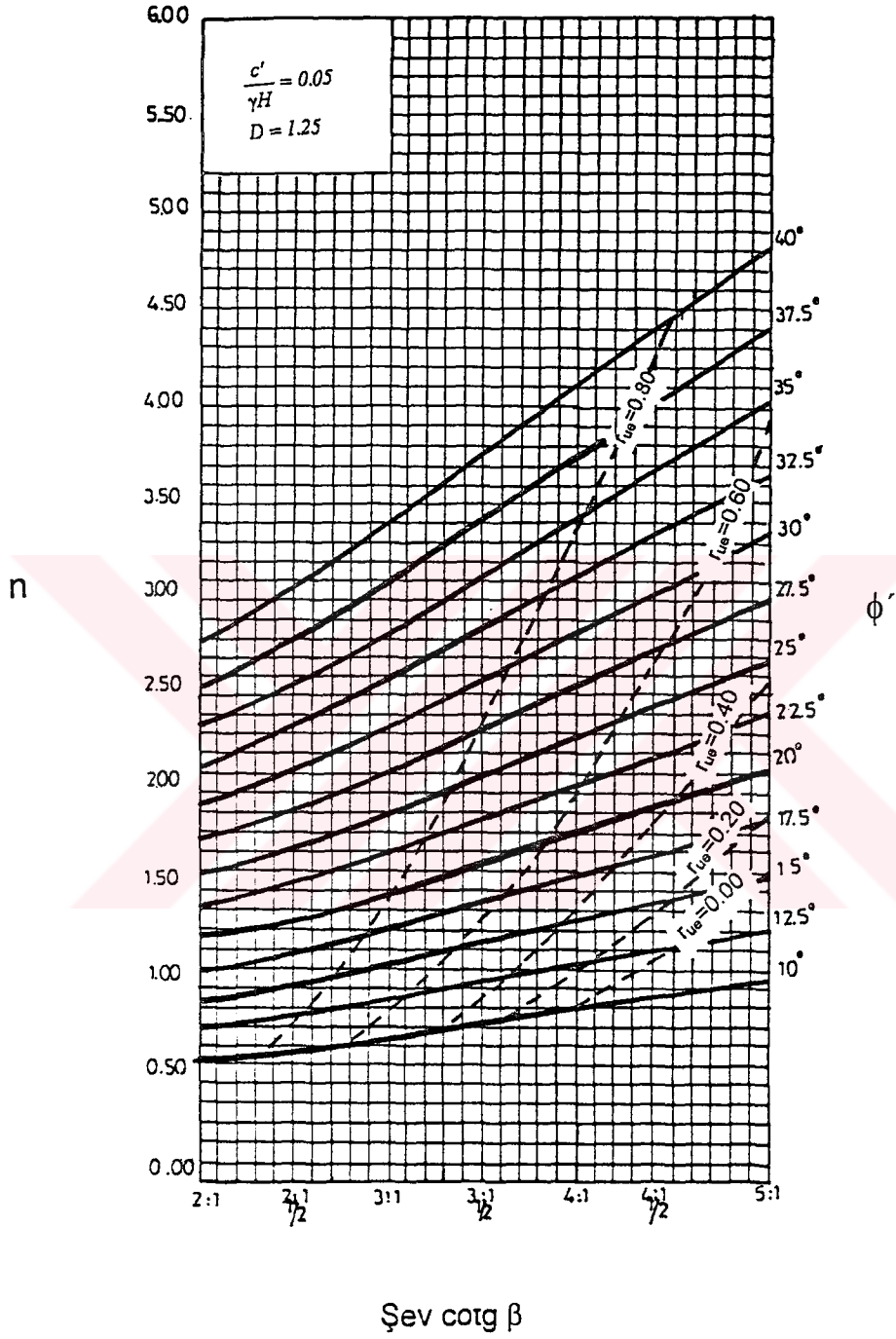
Şekil 32.a. $c'/\gamma H=0.05$ ve $D=1.00$ için m stabilite katsayısı [50].



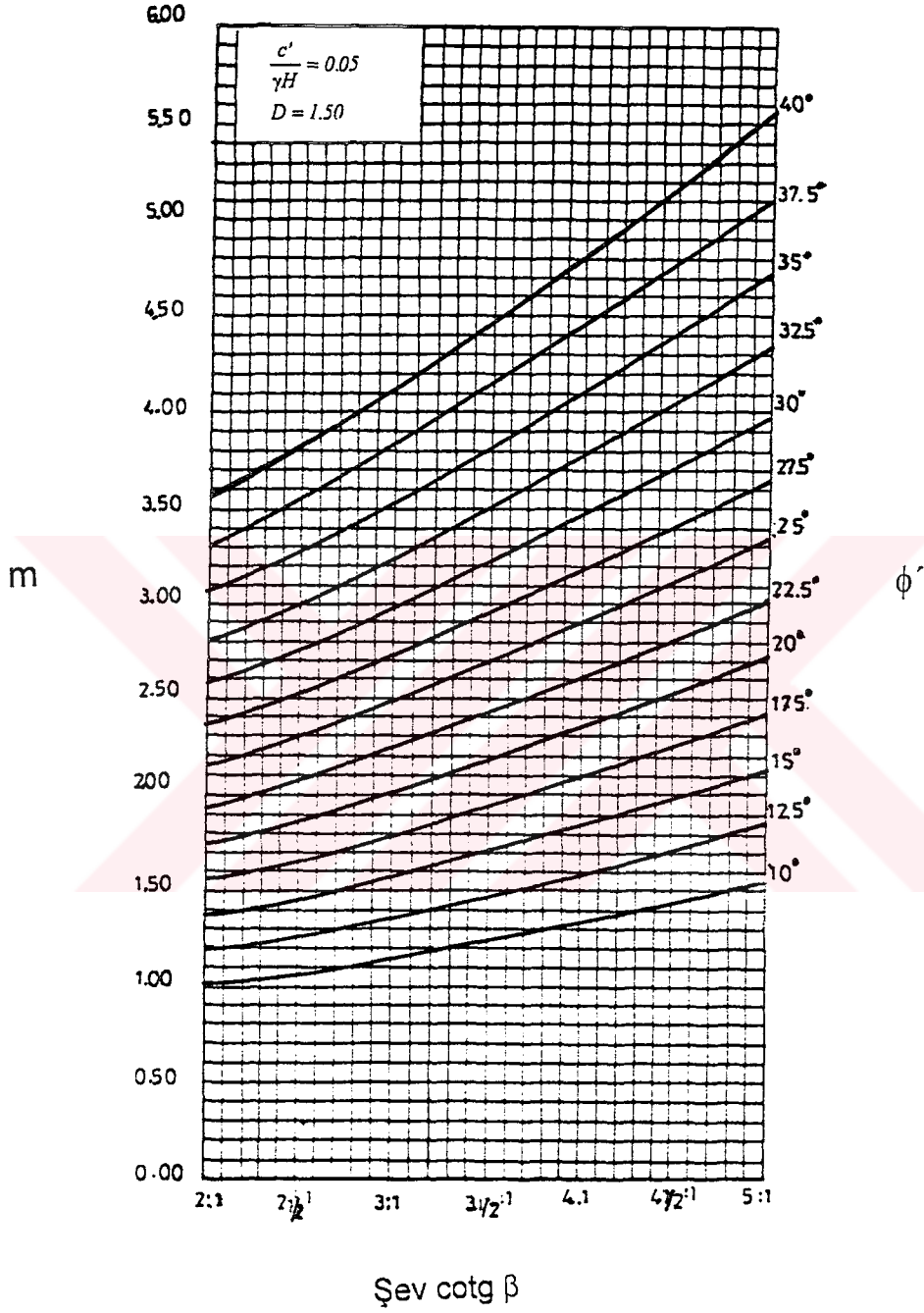
Şekil 32.b. $c'/\gamma H=0.05$ ve $D=1.00$ için n stabilite katsayısı [50].



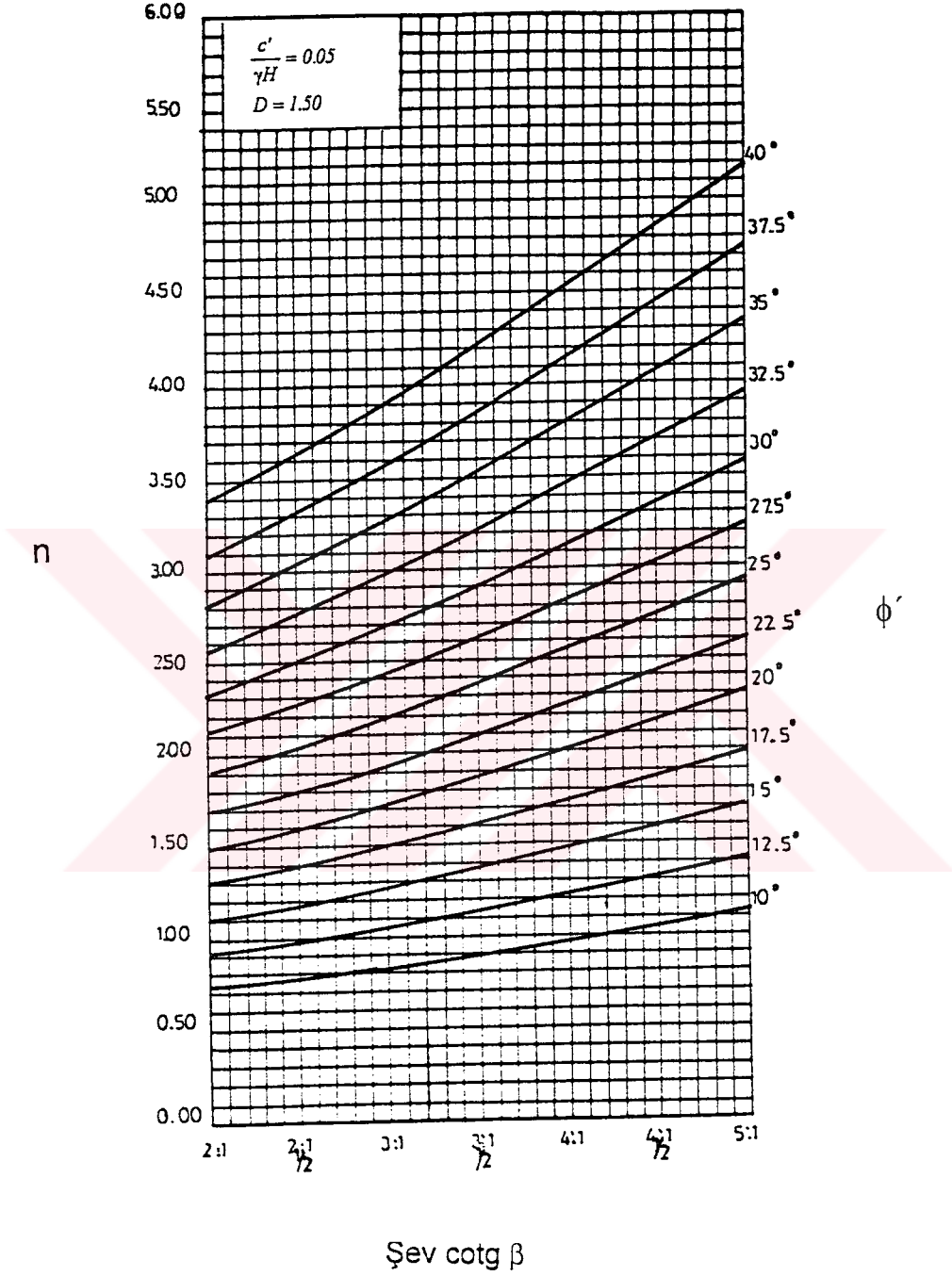
Şekil 33.a. $c'/\gamma H=0.05$ ve $D=1.25$ için m stabilite katsayısı [50].



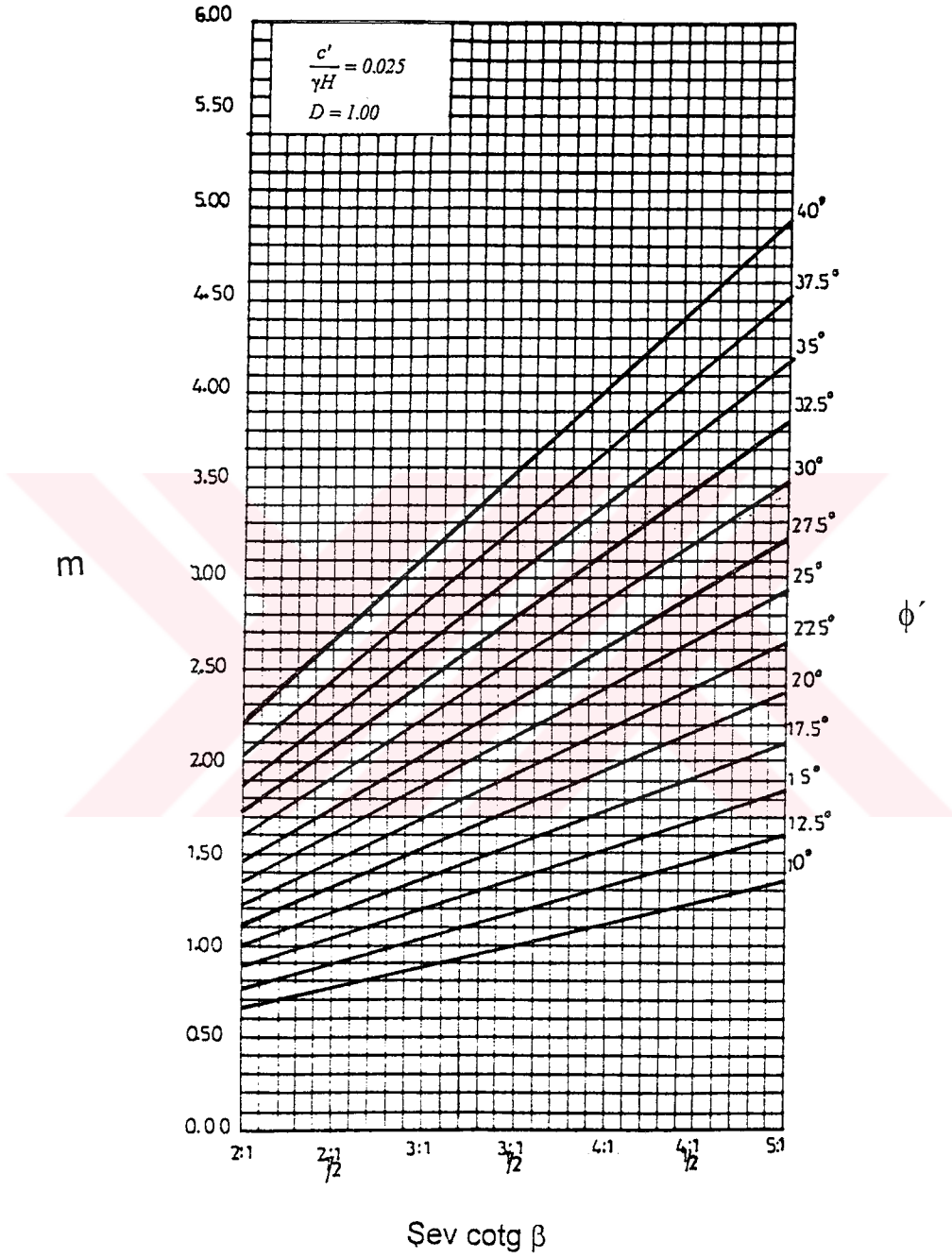
Şekil 33.b. $c'/\gamma H=0.05$ ve $D=1.25$ için n stabilite katsayısı [50].



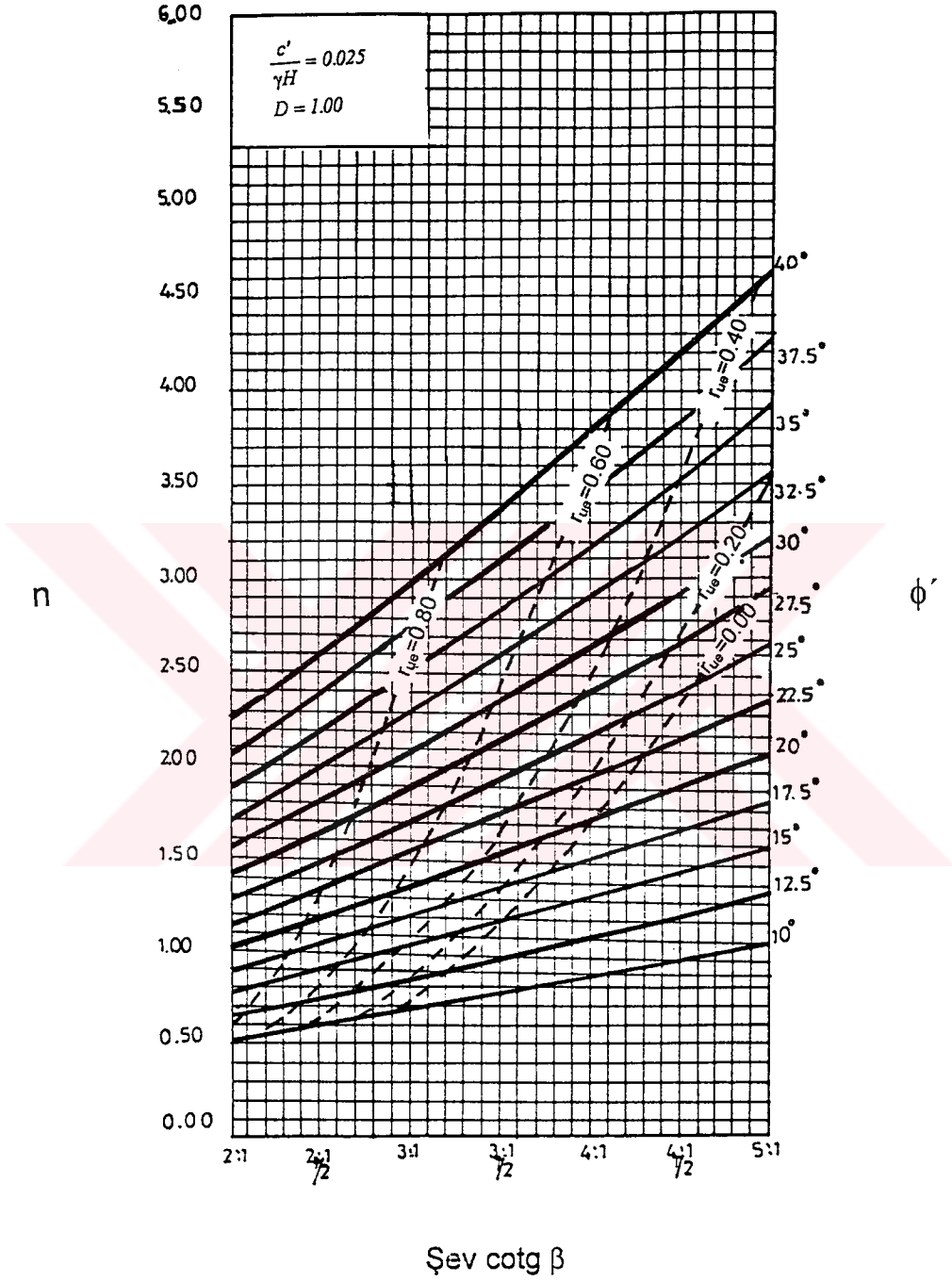
Şekil 34.a. $c'/\gamma H=0.05$ ve $D=1.50$ için m stabilite katsayısı [50].



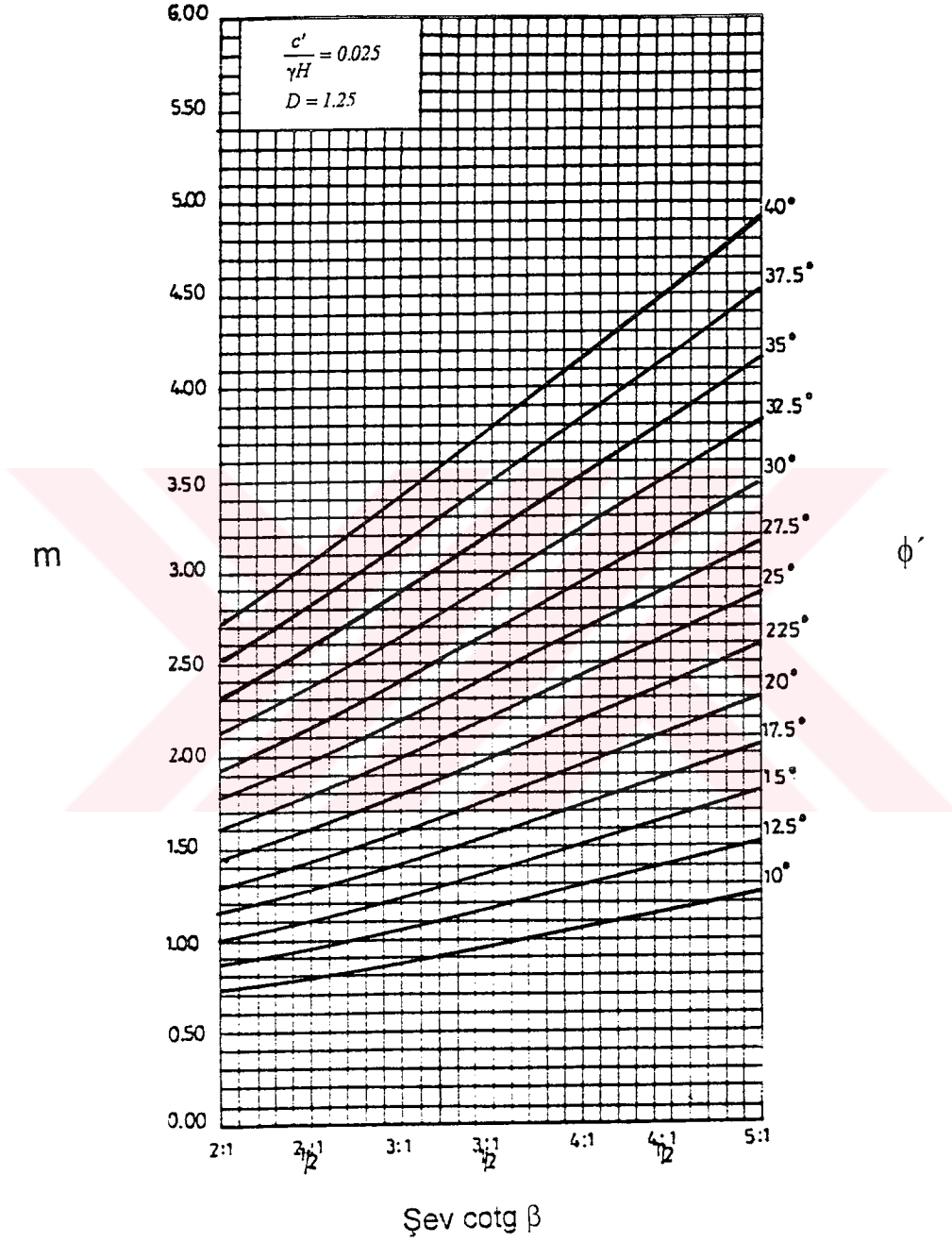
Şekil 34.b. $c'/\gamma H=0.05$ ve $D=1.50$ için n stabilite katsayısı [50].



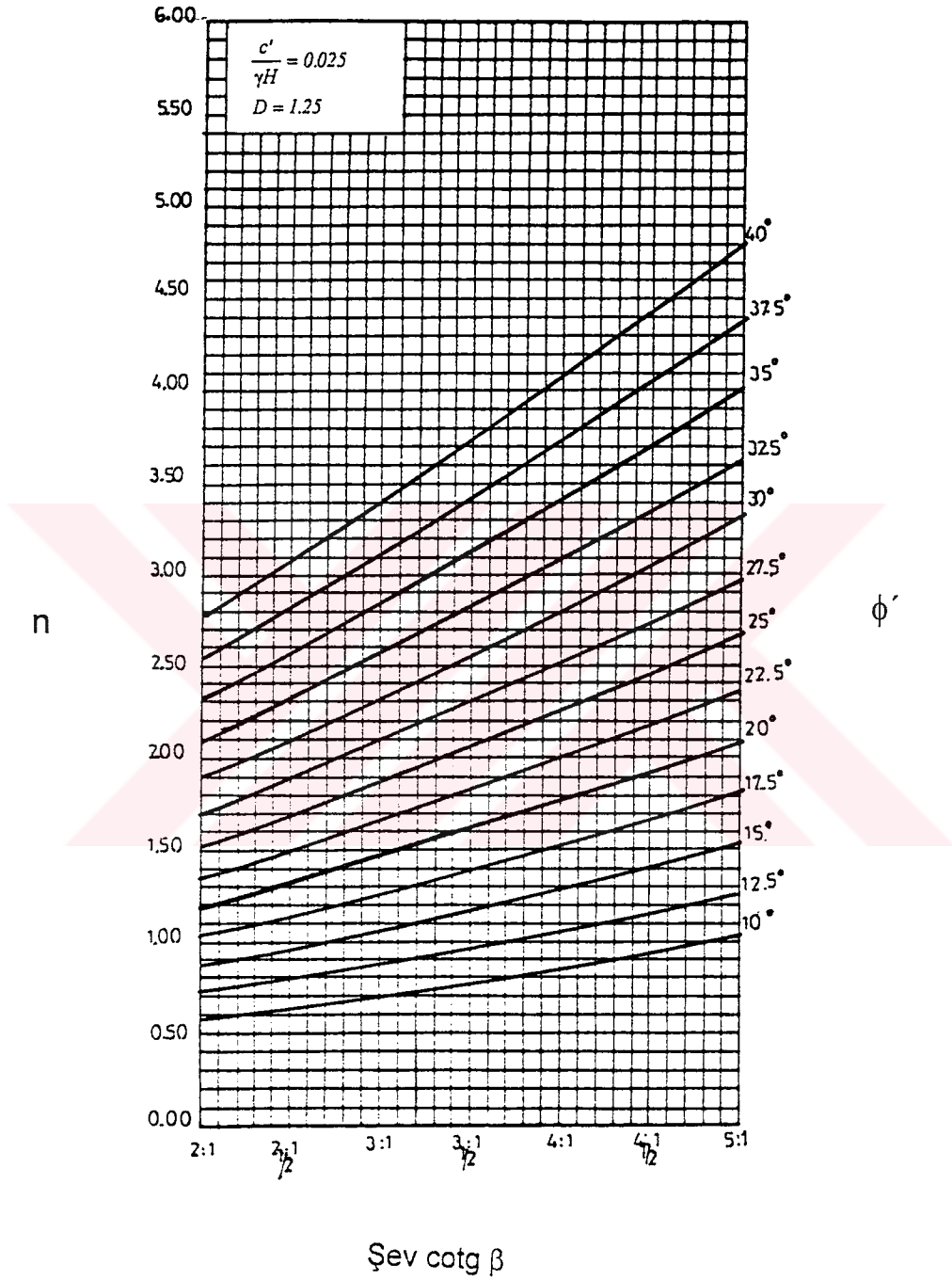
Şekil 35.a. $c'/\gamma H=0.025$ ve $D=1.00$ için m stabilite katsayısı [50].



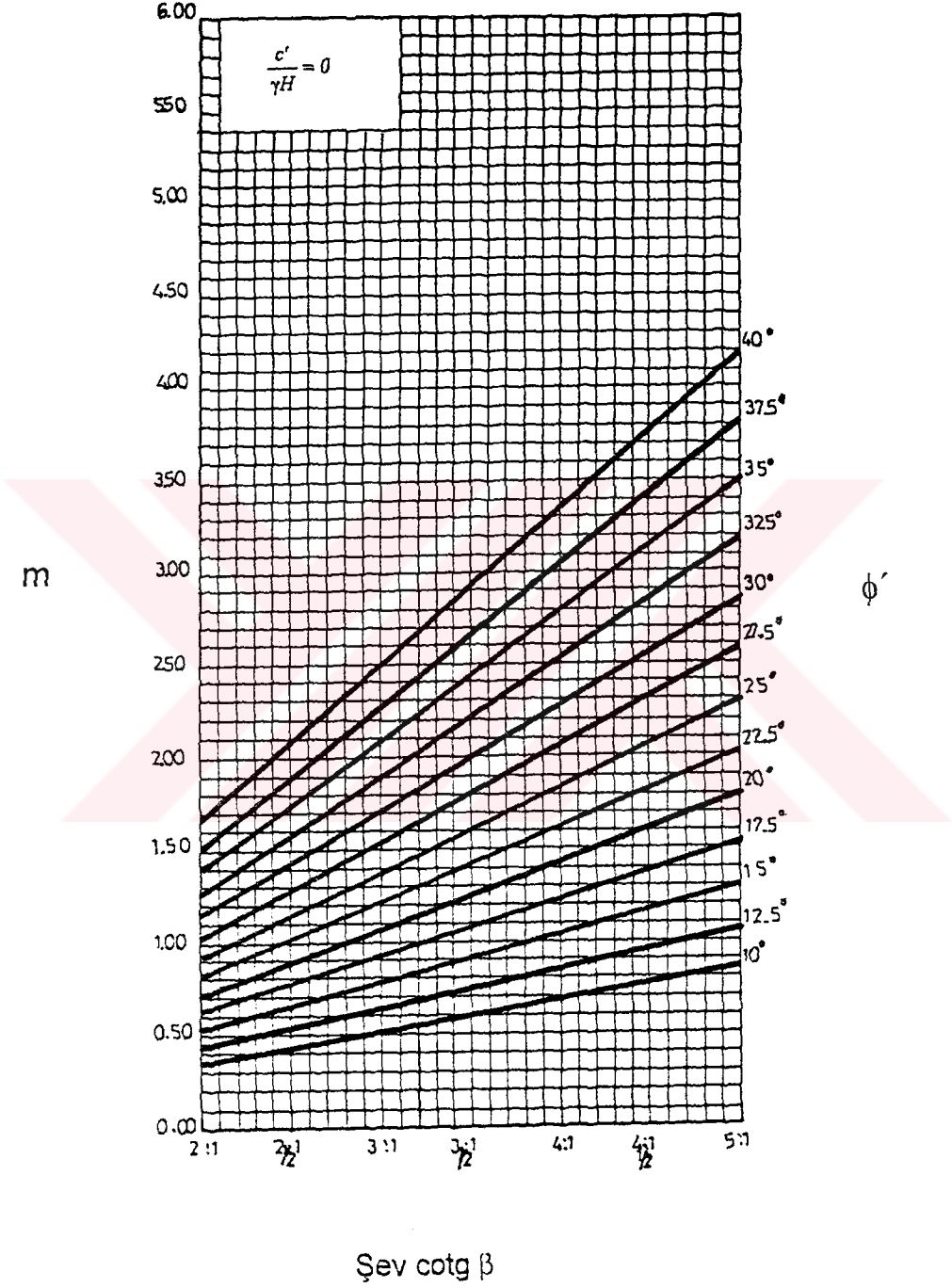
Şekil 35.b. $c'/\gamma H=0.025$ ve $D=1.00$ için n stabilite katsayısı [50].



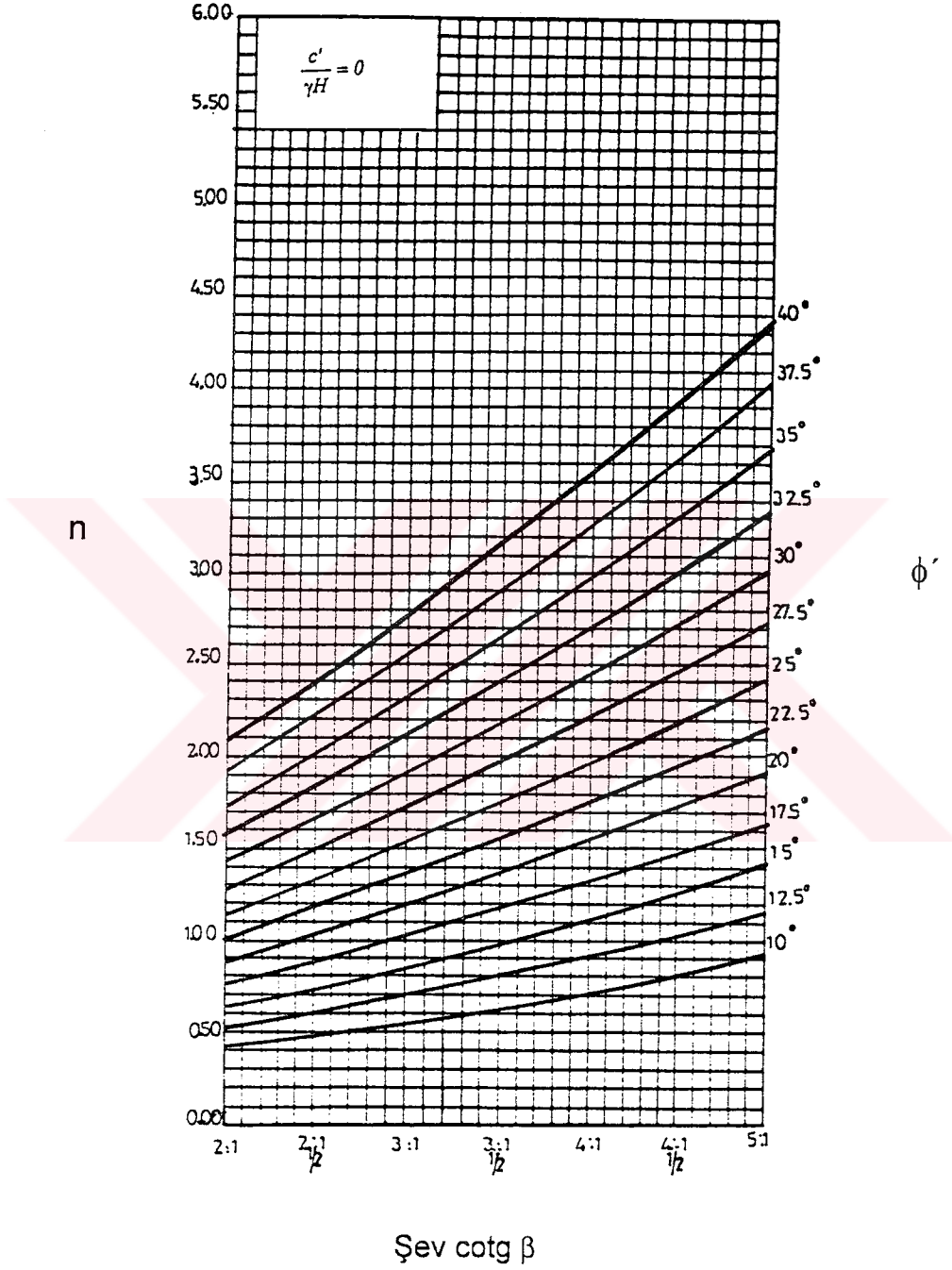
Şekil 36.a. $c'/\gamma H=0.025$ ve $D=1.25$ için m stabilite katsayısı [50].



Şekil 36.b. $c'/\gamma H=0.025$ ve $D=1.25$ için n stabilite katsayısı [50].



Şekil 37.a. $c'/\gamma H=0.00$ için m stabilite katsayısı [50].



Şekil 37.b. $c'/\gamma H=0.00$ için n stabilite katsayısı [50].

Hesaplarda, r_u boşluk basınç oranı, bütün kesitlerde sabit kabul edilir. Sabit olmadığı durumlarda da, analizler için ortalama bir değer alınmalıdır.

Hesap fazlalığını önlemek için boyutsuz sayı kullanılmış, eğriler aradaki ve dıştaki değerler için tatonman yapılmak üzere, $c'/\gamma H$ 'in üç değeri için (0, 0.025, 0.050) hazırlanmıştır.

2.5. Stabilite Analizinde Kullanılan Programların Tanıtılması

2.5.1. STABGM Programı

Ek 1'de verilen STABGM, şevlerin ve donatılı dolguların stabilite analizi için geliştirilen ve kayan dairesel yüzeylerin güvenlik sayısını hesaplamakta kullanılan bir programdır. Bu analiz yapılırken, İsveç Dilim Yöntemi ve Değiştirilmiş Bishop Metodu kullanılmaktadır. Verilen şev kesitinde birçok deneme kayma yüzeyi üreterek, bunların içinden minimum güvenlik sayısına sahip olan daireyi seçer. Ayrıca program, donatılı zeminlerinde de güvenlik sayısını hesaplamaktadır. Program; toplam veya efektif kuvvetleri ya da ikisini birleştirerek kullanmakta ve sismik kuvvet gücünün olduğu veya olmadığı durumları da hesaba katabilmektedir.

STABGM programı, STABR programının değiştirilmiş hali olup Şekil 38'de gösterilen akış mantığına göre yazılmıştır. STABGM Berkeley'de, California Üniversitesi'nde Guy Lefebvre tarafından 1971'de STABR adı ile yazılmış, 1973 ve 1974'de S.Chirapunt, 1981'de de J.Taylor tarafından modifiye edilmiştir. Daha sonra 1984'de Ka Wong tarafından MS-DOS sisteminde kullanılmak üzere kodlanmış, yine aynı yıl Bakkong Low tarafından donatılı zeminler için, ilaveler yapılmıştır. Bu çalışmada da program Türkçeleştirilmiş ve Türkçe bir kullanım kılavuzu hazırlanmıştır.

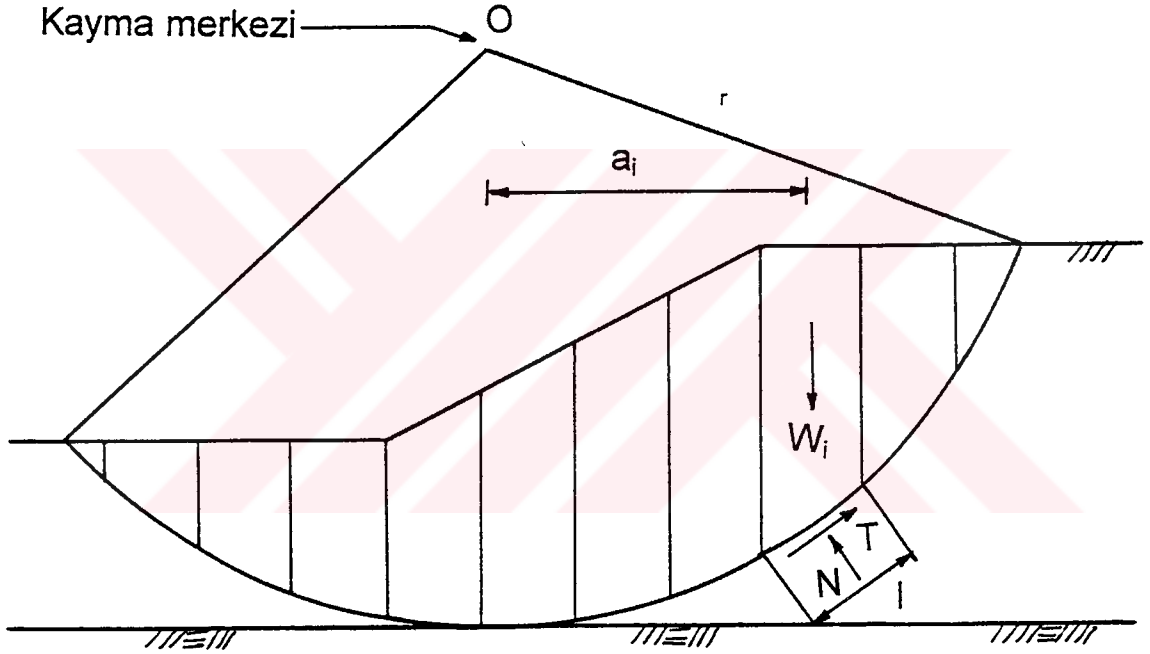


Şekil 38. Şev stabilite analizlerinin İsveç dilim ve değiştirilmiş Bishop metodu ile hesabının akış mantığı

İsveç Dilim Metodu moment dengesine, değiştirilmiş Bishop hesap metodu düşey kuvvet dengesi ve moment dengesine dayanmaktadır. Bu programa göre güvenlik sayısı;

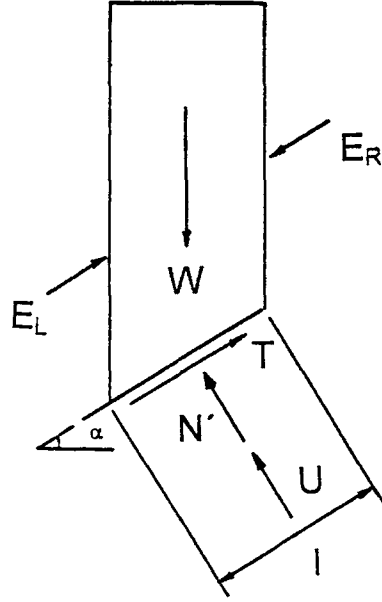
$$G.S. = \frac{\text{kayma mukavemeti}}{\text{denge için gerekli olan kayma mukavemeti}} \quad (145)$$

olarak verilmektedir. Denge için gerekli kayma mukavemetini hesaplayabilmek için problem Şekil 39'da gösterildiği gibi dilimlere ayrılır. Dairesel yayın merkezine göre moment alınarak toplanır. Denge eşitliklerini kullanabilmek için kayma mukavemeti ve kayma kuvveti, şevin geometrisi ve zeminin özellikleri cinsinden ifade edilmelidir.



Şekil 39. Dilimlenmiş şev geometrisi

Şekil 40'da tipik bir dilim görülmektedir. Buna göre, İsveç dilim metodunun temeli, varsayılmış herhangi bir dilimdeki yön (kenar) kuvvetlerin bileşkesinin, taban dilimine paralel olması ve böylece dilim tabanında normal gerilme oluşmasıdır. Bu metodla bulunan güvenlik sayısı, diğer bazı metodlarla (Whitman ve Bailey[57], Duncan ve Wright[58]) hesaplanarlara göre daha düşüktür. Birçok durum için, bu varsayıma göre hata, %10'dan fazla değildir. Yüksek boşluk basıncı ve düz şevler içeren durumlarda bu hata %50 veya daha fazla olabilmektedir. İsveç dilim metoduna göre güvenlik sayısı formülü, (24) bağıntısında verildiği gibidir.



Şekil 40. İsveç dilim metodunda tipik bir dilime etkiyen kuvvetler

Şekil 40 'da N' : dilim tabanındaki normal kuvvet ($W\cos\alpha-ul$), T : dilim tabanındaki kesme mukavemeti ($c'+N'\tan\phi$), W : dilim ağırlığı, c' , ϕ' : Mohr-Coulomb mukavemet parametrelerini, u : dilim tabanındaki boşluk suyu basıncını, α : dilim tabanındaki eğim açısını, l : dilim tabanının yay uzunluğunu, $E_{L,R}$: kenar kuvvetlerini ifade etmektedir.

Güvenlik sayısı, dengeyi sağlamak için gerekli olan bir katsayıdır. Şev tasarımı için kullanılan güvenlik sayısı en az, zemine dair kuvvetlerin sınırında olmalıdır. Kayma kuvveti değerleri ve ona uygun G.S. değerleri seçimi, Duncan ve Buchignani[59] tarafından verilmiştir.

Değiştirilmiş Bishop metodu, İsveç dilim metodu ile aynı temel tanımı içermektedir. Tek fark, dilim tabanındaki normal kuvvet N' 'nin hesaplanmasında ortaya çıkmaktadır. Bu metodun temel varsayımı, dilim kenar kuvvetlerinin bileşkesinin yatay olarak etkimesidir. Bu kuvvetlerin yatay olarak etkimesi, bütün dilimlerdeki düşey kuvvetlerin toplanmasını gerektirir. Böylece düşey denge sağlanmış olur. Sonuçta da güvenlik sayısı, (121) bağıntısında olduğu gibi elde edilir.

Bu metodun kullanılması sırasında bazen sayısal zorluklar çıkmaktadır. Whitman ve Bailey[57] göçebilen derin yüzeylerin olması durumunda, topuk yanındaki dilimlerin α 'nın yüksek negatif değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu durum, dilimler için hesaplanan güvenlik sayısı üzerine sebepsiz bir etki yaratmaktadır. Bu da sadece, $\phi>0$ olduğu durumlarda gerçekleşmektedir.

Chirapuntu, yumuşak bir kil üzerindeki sert toprak dolguların, toplam gerilme analizi için, iki yönteme göre de güvenlik sayılarını daha küçük vermektedir. Bu da, toprak dolgu zeminindeki yüksek kohezyonun ve toprak dolgudaki dilimler için, α 'nin yüksek değerlerinin birleşiminin normal gerilmeyi dilimin ağırlığından küçük yapması içindir. Sonuç olarak bileşke kuvvetler ve buna bağlı olarak da güvenlik sayısı düşer. şayet bu durum söz konusu olursa, İşve  dilim metodunda bulunan güvenlik sayısı, değiştirilmiş Bishop metodunda bulunan güvenlik sayısından büyük olur. Çoğu durumlarda, İşve  dilim metodunun güvenlik sayısı diğerine göre daha kullanışlıdır.

Duncan ve Wright[58], kayma yüzeylerinin analizi için, (dengenin bütün durumları için kullanılan metodlara göre) değiştirilmiş Bishop metodunun daha uygun olduğunu özellikle göstermişlerdir. Öte yandan İşve  dilim metodunun efektif gerilme analizleri için, %50 gibi bir hata verilebileceği fakat toplam gerilme analizleri için diğer metodun daha uygun olduğunu da belirtmişlerdir.

2.5.1.1. Veri Girişleri

Bilgisayar programı çalıştırıldığında, veri dosyasının ismi sorulmaktadır. Bu nedenle, veri dosyasının aşağıdaki şekilde önceden hazırlanmış olması gerekmektedir. Veriler birbiri ardına, aralarına virg l koyularak düzenlenir. Herbir giriş veri grubu, bir satırda yazılmalıdır. Eğer gerekli ise birden fazla satır kullanılabilir. Ondalık sayılar yazılırken nokta kullanılmalı ve sıfır yerine boşluk kullanılmamalıdır. Yapılan stabilite analizlerinde istenilen birim sistemi kullanılabilir.

- Başlık satır

72 karaktenen fazla olmamak koşuluyla, herhangi bir giriş bilgisi yazılabilir.

- Kontrol verileri satırları

NSPEC : Görünen kayma dairesi merkezlerinin sayısı (Araştırma istenirse sıfır alınır. Bu durumda kritik kayma dairesi için daire merkezi verileri girilmelidir, maksimum 40 tane).

NLEVEL : Maksimum kayma derinliklerinin sayısı (şayet bütün daireler aynı noktaya teğet ise sıfır alınır, maksimum 8 tane).

NSECT : Problemin geometrisinde belirtilen düşey kesitlerin sayısı (Maksimum 20 tane).

NSTRAT : Zemin tabaka sınırlarının sayısı (Zemin tabaka sınırlarının sayısı, zemin tabakalarından bir fazladır, maksimum 12 tane).

LIGNE : Boşluk basıncı veri metodlarını gösterir.

LIGNE=0 ise, boşluk basıncı yoktur (Toplam gerilme analizi).

LIGNE=-1 ise, boşluk basıncı r_u basınç oranı olarak gösterilir (Bütün şev için sabit kabul edilecek).

LIGNE=1 ise, boşluk basıncı bir su yüzeyi olarak gösterilmiştir. Eş potansiyel eğrilerinin, doğrusal olarak alınması ile boşluk basınçları hesaplanır.

LIGNE>1 ise, boşluk basıncı eş yükselti eğrileri kullanılır (LIGNE, bu durumda eşyükselti eğrisi çizgisi sayısıdır, maksimum 12 tane).

NPTCU : Drenajsız kesme mukavemetinin, derinlikle birlikte değişme gösterdiği nokta sayısıdır (Bu seçenek kullanılmadığında sıfır alınır, maksimum 20 tane).

NRFL : Donatılı tabakaların sayısı (Maksimum 30 tane).

S1, S2 : Sismik (depresmel) katsayı. Eğer S1=S2 ise, dilim merkezine sismik kuvvet uygulanmıştır. Eğer S1=sismik katsayı, S2=0 ise, dilim tabanına sismik kuvvet uygulanmıştır.

DW : Suyun birim hacim ağırlığı.

- Daire merkezi verileri satırları

Bu veri grubu girilirken iki seçenek vardır. Birincisi NSPEC'in sıfır olduğu durumdur. Bu takdirde;

METHOD : Değiştirilmiş Bishop metodu kullanılacaksa 1, İsveç Dilim metodu kullanılacaksa 2 yazılmalıdır.

Şayet METHOD : 1 ise; değiştirilmiş Bishop metodu kullanılarak, verilen şev için minimum güvenlik sayısını araştıracaktır. Aynı zamanda analiz edilen her daire için, İsveç dilim metoduna göre güvenlik sayısını da gösterecektir.

Şayet METHOD : 2 ise; program daire için, İsveç dilim metoduna göre minimum güvenlik sayısını araştıracaktır. Değiştirilmiş Bishop metoduna göre hesap yapılmayacaktır.

XI : Analiz için birinci kayma dairesi merkezinin X koordinatı.

YI : Analiz için birinci kayma dairesi merkezinin Y koordinatı.

DC : Araştırma kullanılmak üzere istenen son ızgara genişliği.

İkinci seçenek; NSPEC'in sıfırdan büyük olmasıdır. Bu durumda bütün daire merkezleri belirlidir ve araştırma yapılmaz. İstenen veriler;

SPX : Birinci belirli merkezin X koordinatı.

SPY : Birinci belirli merkezin Y koordinatı.

Devam eden belirli merkezlerin her biri için, SPX ve SPY devam eder (Her bir satırda istenildiği kadar değer yazılabilir ve istenildiği kadar satır kullanılabilir). Herbir dairenin güvenlik sayısı, hem Bishop hem de İsveç dilim metoduna göre hesaplanır.

- Derinlik kontrol verileri satırları

Bu veri grubunda da iki seçenek vardır. Eğer daireler aynı noktadan geçiyorsa yani NLEVEL sıfıra eşitse;

XTOE : Bütün dairelerin geçtiği noktanın X koordinatı (topuk koordinatı).

YTOE : Bütün dairelerin geçtiği noktanın Y koordinatı verileri girilir.

Eğer bütün daireler belirli bir yatay çizgiye teğetse yani NLEVEL sıfırdan büyükse;
TANG(1) : Bütün dairelere teğet olan birinci yatay doğrunun derinliği girilir. Geri kalan diğer teğet doğrular için devam eder.

- Düşey kesit verileri satırları

Herbir düşey kesit için bir satır veri grubu girilir. Herbir satırdaki veriler,

X : Düşey kesitin X koordinatı,

YFI : Gerilme çatlaklarının alt kısmının Y koordinatı. Şayet kesitte gerilme çatlak yoksa YFI, zemin yüzeyinin koordinatıdır.

YSURF : Gerilme çatlakları içinde su yüzeyinin Y koordinatı. Şayet gerilme çatlakları içinde su yoksa YSURF, gerilme çatlaklarının alt ucunun Y koordinatı olarak alınır. Eğer kesitte gerilme çatlakları da yoksa YSURF, zemin yüzeyinin Y koordinatıdır.

Y(1) : 1. sınır tabakanın Y koordinatı (1. tabakanın en üstü, zemin yüzeyidir). Gerilme çatlak çizgisi sayılmaz.

Y(2) : 2. sınır tabakanın Y koordinatı (1. tabakanın altı).

Y(3) : 3. sınır tabakanın Y koordinatı (2. tabakanın altı).

Bu durum sınır tabakalarının herbiri için devam eder. Şayet zorunlu ise, sınır tabaka verileri veri dosyasında 2. bir satırda devam edebilir.

Herbir yeni düşey kesit veri takımı (X'in yeni değerleri ile birlikte başlayan), veri kütüğünün yeni bir satırı üzerinde başlamalıdır.

Her bir sınır tabakanın Y koordinatı, herbir kesitte belirli olmalıdır. Şayet bir kesitte, bir zemin tabakası tanıtılmazsa tabaka sınırının alt ve üst kısmının Y koordinatı aynı kabul edilerek, zemin tabakasına sıfır kalınlık verilir. Düşey kesitlerde X'in değer artışı sıra ile düzenlenmelidir.

- Zemin özellikleri veri satırları

Her bir tabaka için bir satır girilmelidir (Maksimum 11 tabaka). Her bir satırda şu bilgiler bulunmalıdır:

J : Tabaka sayısı (Tabakaların üst sınırlarının sayısı)

CU(J) : Bu tabakadaki zeminin kohezyonu. Derinlikle değişen drenajsız dayanım tanımlanırsa CU(J)=-1, olarak alınır.

FRICT(J) : Bu tabakadaki zeminin sürtünme açısı. Derinlikle değişen drenajsız dayanım tanımlanırsa FRICT(J) sıfır alınır.

WTOTAL(J) : Bu tabakadaki zeminin birim hacim ağırlığı. Analiz edilmiş bütün durumlara bağlı olarak, toplam birim ağırlık veya batık birim ağırlık alınır.

- Boşluk basıncı verileri satırları

Eğer LIGNE sıfır ise, bu veri grubuna ihtiyaç yoktur. Şayet sıfır dışında bir değere eşit ise, üç seçenek vardır.

1. LIGNE, -1'e eşit ise tek bir r_u değeri ile birlikte bir satıra ihtiyaç vardır (r_u : Boşluk basıncı).

2. LIGNE, 1'e eşitse düşey kesit veri grubunda, herbir düşey kesit için bir veri satırı tanımlanmalı ve her bir düşey kesitte su yüzeyinin düşey koordinatı belirtilmelidir. Verilen satırlarda, şu iki değeri içermelidir.

X: Düşey kesitin X koordinatı.

PW(1) : Bu kesitteki su yüzeyinin Y koordinatı.

3. LIGNE, 1'den büyük ise ;

a) Herbir düşey kesitteki boşluk basıncı eş yükselti eğrilerinin düşey koordinatı, NSECT sayısı kadar bir veri satırı girilir. Herbir satır şunlardan ibarettir.

X : Düşey kesitin X koordinatı.

PW(1) : 1. boşluk basıncı eş yükselti eğrisinin Y koordinatı.

PW(2) : 2. boşluk basıncı eş yükselti eğrisinin Y koordinatı.

PW(LIGNE) : Son boşluk basıncı eş yükselti eğrisinin Y koordinatı.

b) Herbir boşluk basıncı eş yükselti eğrisi için, su basıncının değeri bir data satırı içermektedir.

VAPW(1) : 1. eş yükselti eğrisi üzerindeki boşluk basıncının değeri.

VAPW(2) : 2. eş yükselti eğrisi üzerindeki boşluk basıncının değeri.

VAPW(LIGNE) : Son eş yükselti eğrisi üzerindeki boşluk basıncının değeri.

- Derinlikle birlikte değişen drenajsız mukavemet verileri satırları

Şayet NPTCU sıfır ise, bu veri grubuna ihtiyaç yoktur. Fakat NPTCU sıfırdan büyük ise, aşağıdaki verileri içeren bir veya daha fazla satır kullanılabilir.

ELV(1) : Drenajsız mukavemetteki birinci derinliği belirtir.

VAC(1) : ELV(1)'deki drenajsız mukavemet.

ELV(2) : Drenajsız mukavemetteki ikinci derinliği belirtir.

VAC(2) : ELV(2)'deki drenajsız mukavemet.

Geri kalan bütün derinlikler için, drenajsız kuvvetin söz konusu olduğu bütün durumlarda devam eder.

- Donatı kuvveti verileri satırları

Eğer NRFL sıfır ise, bu datalara gerek yoktur. Sıfırdan farklı ise veri grubu;

YRF(I) : Donatılı tabaka I'nın Y koordinatı.

NPF(I) : Donatılı tabaka I boyunca, kuvvetin değişimini gösteren nokta sayısıdır (Maksimum 9 tane).

XRF(1) : Kuvvetin olduğu yerdeki 1. X koordinatı.

RFF(1) : XRF(1)'deki donatı kuvveti.

XRF(2) : Kuvvetin olduğu yerdeki 2. X koordinatı.

RFF(2) : XRF(2)'deki donatı kuvveti şeklindedir.

Bu durum geri kalan herbir donatılı tabaka için devam eder.

XRF(I) ve RFF(I) değerleri sıra ile oluşturulmalıdır. XRF(I)'nın önce en büyük değeri yazılmalı, diğer X değerleri de küçülerek sıra ile yazılmalıdır. $X > XRF(I)$ için, donatı kuvveti XRF(I)'deki kuvvete eşit olarak düşünülür ve $X < X$ 'in son değeri için donatıdaki kuvvet, son X değerine eşit olarak kabul edilir.

2.5.2. STABL5 Programı

İki boyutlu şev stabilite problemlerini, limit denge metodu ile çözen, Fortran IV bilgisayar dili ile yazılmış bir programdır. Stabilitesiz bir şeve karşılık gelen güvenlik sayısının hesaplanması, dilim metodu ile olmaktadır. STABL5 'in bu versiyonunda kullanılan özel metot, değiştirilmiş Bishop metodunun bir adaptasyonudur. Bu metodun adaptasyonu deneme göçme yüzeyi analizi yapmaktadır.

STABL5, Haziran 1975'de Ronald A. Siegel tarafından Hindistan'da Purdue Üniversitesinde yazılmıştır. Daha sonra Mayıs 1986'da James R. Carpenter tarafından üzerinde bir takım değişiklikler yapılarak, STABL5 olarak düzenlenmiştir.

STABL5, en kritik yüzeylerin genel potansiyel kayma yüzeyleri ve bunlara karşılık gelen güvenlik sayıları için rasgele teknikler kullanır. Bu tekniklerden ilki, dairesel yüzeyler üretir, ikincisi kayma bloğu karakter yüzeyleri üretir. Sonuncusu da rastgele şekilli düzensiz yüzeyler üretir. STABL5 ile, özel deneme kayma yüzeylerinin tanımlanması ve analizi de mümkün olmaktadır.

STABL5'de, bazı özel durumlar için de veri grupları bulunmaktadır. Bu durumlar; heterojen zemin sistemleri, kaymaya bağlı boşluk suyu basıncı, statik zemin suyu ve yüzey suyu, suni statik deprem yükü ve ek sınır yüküdür.

Verilen şev stabilite problemi STABL5 ile çözülmeyen önce, şev geometrisi kartezyen koordinat düzlemine çizilir. Koordinat eksenleri, şekil pozitif bölgede kalacak şekilde seçilmelidir. Deneme kayma yüzeyleri de, yatay eksenin altına geçmeyecek şekilde yerleştirilmelidir. STABL5 uygulamasının grafiksel görünümü 12.7x20 cm²'lik bir ölçek içinde kalmalı, problem geometrisinin çizildiği koordinat sisteminin orijini, çizimin orijini olarak düşünölmeli ve ölçek maksimize edilmelidir. Böylece uç geometrik noktaların, bu 12.7x20 cm²'lik alan içinde kalması sağlanır. Sonuçta da çizilmiş profil bu alan içerisinde çok küçük kalmamalıdır.

Şev geometrisi çizildikten sonra, farklı özellik gösteren zeminlerin oluşturduğu yüzeyler ve alt yüzeyler birbirlerinden doğrularla ayrılır. Her bir yüzey ve alt yüzey sınırı, kendisine özgü zemin parametreleri olan farklı alanları göstermektedir. Her bir sınırın uç noktalarından geçen düşey çizgiler, alanı yanal uzatmayla sınırlandırır. Sınırın altındaki alan, farklı zemin parametreleri gösteren başka bir doğruyla sınırlandırılmış olabilir. Zemin yüzeyi dışındaki düşey sınırlar tercih edilmez. Çünkü, düşey çizgi bir alanı belirtmemektedir. Şayet düşey sınırlar kullanılırsa, hangi zemin cinsinin kullanıldığının bir önemi yoktur.

Bu programda, sınır verileri belli bir sıra ve seviyede hazırlanmalıdır. Bunun için önce zemin yüzeyi sınırları, soldan sağa, birden başlamak üzere numaralandırılmalıdır. Eğer düşey bir çizgi zemin yüzeyinde meydana gelmiş ise bu da katılmalıdır. Daha sonra, tüm alt yüzey sınırları keyfi bir şekilde numaralandırılabilir.

Koordinat noktalarının verileri soldan sağa doğru düzenlenir. Su düzeyini belirleyen bütün noktalar, X ve Y koordinatları ile sırayla belirtilmelidir. Su yüzeyini belirleyen doğru parçalarının birleşimi, zemin yüzeyinin üstünde yer alabilir. Ayrıca, zemin yüzeyinde veya herhangi bir profil sınırında yer alabilir.

2.5.2.1. Veri Girişleri

Veriler belli başlı komutların altında veri grubu olarak girilir. Bu komutlar veri ve analiz komutları olmak üzere iki çeşittir. Veri komutları;

- PROFİL : Zemin yüzeyini ve zemin altındaki maddelerin arayüzlerini tanımlayan sınır verilerini okur ve saklar.
- SOIL : İzotropik zemin parametrelerini okur, kontrol eder ve saklar.
- WATER : Su yüzeyini tanımlayan verileri kontrol eder ve saklar.
- SURFAC : Belirlenmiş tek bir deneme göçme yüzeyi verilerini okur, kontrol eder ve saklar.
- LOADS : Yüzey sınır ek yüklerini tanımlayan verileri okur, kontrol eder ve saklar.
- EARTHQUAKE : Yapay statik deprem katsayıları ve kavitasyon basınçlarını okur, kontrol eder ve saklar.
- LIMITS : Üretilmiş yüzey sınırları verilerini okur, kontrol eder ve saklar.

Analiz komutları;

- EXECUT : Tek belirli deneme göçme yüzeyi için güvenlik faktörünü hesaplar.
- CIRCLE : Dairesel yüzeyler üretir ve kritik yüzeyler belirler.
- RANDOM : Düzensiz yüzeyler üretir ve kritik yüzeyleri belirler.
- BLOCK : Dilimlenmiş blok yüzeyler üretir ve kritik yüzeyleri belirler.

Analiz komutlarının amacı, daha önceden veri komutları ile hafızaya alınan komutları kontrol etmektir. Bu analiz komutları ya data komutları yardımıyla söz konusu problemi analiz eder ya da potansiyel göçme yüzeyleri oluşturup, bir veya daha fazla yüzey üretme tekniğini kullanarak kritik yüzeyleri araştırır.

Her bir komut için veriler ve bunların organizesi aşağıda gösterilmektedir. Bu verilerden profil ve zemin çeşidi verileri her zaman girilmeli, diğer veri grupları da, belli ise girilmelidir. Aşağıdaki veriler, her bir veri grubu bir satır olacak şekilde yazılmalıdır.

Profil verileri:

- PROFİL
- Herhangi bir açıklama yapılabilir.
- Sınırların toplam sayısı (tamsayı)
Yüzey sınırlarının sayısı (tamsayı)
- Sınırın sol ucunun X koordinatı (feet, gerçel sayı)
Sınırın sol ucunun Y koordinatı (feet, gerçel sayı)
Sınırın sağ ucunun X koordinatı (feet, gerçel sayı)
Sınırın sağ ucunun Y koordinatı (feet, gerçel sayı)
Sınır altındaki zemin cinsi numarası (tamsayı)

Bu veri grubu her bir sınır için devam eder.

Zemin çeşitleri veri grubu (SOIL):

- SOIL
- Zemin çeşitlerinin sayısı (tamsayı)
- Zeminin doğal birim hacim ağırlığı (pcf, gerçel sayı)
Zeminin doymuş birim hacim ağırlığı (pcf, gerçel sayı)
Zeminin kohezyonu (psf, gerçel sayı)
Zeminin içsel sürtünme açısı (deg, gerçel sayı)

Zeminin boşluk basıncı parametresi (gerçel sayı)

Zeminin boşluk basıncı sabiti (psf, gerçel sayı)

Piyezometrik yüzey sayısı (şayet piyezometrik yüzey belli değilse, herhangi bir tamsayı yazılır)

Bu veri grubu her bir zemin cinsi için devam eder.

Su yüzeyi verileri:

- WATER
- Belirlenmiş piyezometrik yüzeylerin sayısı (tamsayı)
- Suyun birim ağırlığı (pcf, şayet sıfır olarak belirlenmişse 62.4 pcf alınır)

Her bir piyezometrik yüzey için veriler aşağıdaki gruplarla devam eder.

- Su yüzeyini belirleyen noktaların sayısı (tamsayı)
- Su yüzeyi üzerindeki noktanın X koordinati (feet, gerçel sayı)
- Su yüzeyi üzerindeki noktanın Y koordinati (feet, gerçel sayı)

Su yüzeyi üzerindeki her bir nokta için veri grubu ilerleyerek devam eder.

Kesin göçme yüzeyi verileri:

- SURFAC, SURBIS
- Göçme yüzeyini belirleyen noktaların sayısı (tamsayı)
- Göçme yüzeyi üzerindeki noktaların X koordinati (gerçel sayı)
- Göçme yüzeyi üzerindeki noktaların Y koordinati (gerçel sayı)

Göçme yüzeyi üzerindeki her bir nokta için devam eder.

Sınır yükleri girdisi:

- LOADS
- Sınır yüklerinin sayısı (tamsayı)
- Sınır yükünün sol ucunun X koordinati (feet, gerçel sayı)
- Sınır yükünün sağ ucunun X koordinati (feet, gerçel sayı)
- Sınır yükünün şiddeti (psf, gerçel sayı)
- Sınır yükünün eğim açısı (düşeyden saat ibresinin tersi yöne doğru pozitif alınır, deg, gerçel sayı)

Her bir sınır yükü için veri grupları devam eder.

Deprem yükü verileri:

- EQuAKE
- Yatay deprem katsayısı (gerçel sayı)
Düşey deprem katsayısı (gerçel sayı)
Boşluk basıncı (psf, gerçel sayı)

Şev açısı verileri:

- SPENCR
- Yataya göre şev açısı (deg, gerçel sayı)

Belirli deneme yüzeyi analiz verileri:

- EXECUT

Deneme yüzeyi üretim sınırı verileri:

- LIMITS
- Üretilen sınırların toplam sayısı (tamsayı)
Yukarı sapan üretim sınırlarının sayısı (tamsayı)
- Üretim sınırının sol ucunun X koordinatı (feet, gerçel sayı)
Üretim sınırının sol ucunun Y koordinatı (feet, gerçel sayı)
Üretim sınırının sağ ucunun X koordinatı (feet, gerçel sayı)
Üretim sınırının sağ ucunun Y koordinatı (feet, gerçel sayı)

Her bir üretim sınırı için veriler devam eder.

Araştırılan dairesel yüzey girdisi:

- CIRCLE
- Başlangıç noktalarının sayısı (tamsayı)
Her bir başlangıç noktasından üretilmiş yüzey sayısı (tamsayı)
Başlangıç noktasının en solunun X koordinatı (feet, gerçel sayı)
Başlangıç noktasının en sağının X koordinatı (feet, gerçel sayı)

- Sol bitiş sınırının X koordinatı (feet, gerçel sayı)
- Sağ bitiş sınırının X koordinatı (feet, gerçel sayı)
- Geliştirilen yüzeyin minimum yüksekliği (feet, gerçel sayı)
- Belirlenmiş yüzeyin dilimlerinin boyu (feet, gerçel sayı)
- Başlangıç yüzeyi için, saat ibresinin ters doğrultu sınırı (deg, gerçel sayı)
- Başlangıç yüzeyi için, saat ibresi doğrultu sınırı (deg, gerçel sayı)

Bishop metodu ile çözüm verileri:

- CIRCL2
- Başlangıç noktalarının sayısı (tamsayı)
Her bir başlangıç noktasından üretilmiş yüzey sayısı (tamsayı)
- Başlangıç noktasının en solunun X koordinatı (feet, gerçel sayı)
Başlangıç noktasının en sağının X koordinatı (feet, gerçel sayı)
Sol bitiş sınırının X koordinatı (feet, gerçel sayı)
Sağ bitiş sınırının X koordinatı (feet, gerçel sayı)
- Geliştirilen yüzeyin minimum yüksekliği (feet, gerçel sayı)
Belirlenmiş yüzeyin dilimlerinin boyu (feet, gerçel sayı)
Başlangıç yüzeyi için, saat ibresinin ters doğrultu sınırı (deg, gerçel sayı)
Başlangıç yüzeyi için, saat ibresi doğrultu sınırı (deg, gerçel sayı)

Araştırılan düzensiz yüzey verileri:

- RANDOM
- Başlangıç noktalarının sayısı (tamsayı)
Her bir başlangıç noktasından üretilmiş yüzey sayısı (tamsayı)
Başlangıç noktasının en solunun X koordinatı (feet, gerçel sayı)
Başlangıç noktasının en sağının X koordinatı (feet, gerçel sayı)
Sol bitiş sınırının X koordinatı (feet, gerçel sayı)
Sağ bitiş sınırının X koordinatı (feet, gerçel sayı)
Geliştirilen yüzeyin minimum yüksekliği (feet, gerçel sayı)
Belirlenmiş yüzeyin dilimlerinin boyu (feet, gerçel sayı)
Başlangıç yüzeyi için, saat ibresinin ters doğrultu sınırı (deg, gerçel sayı)

Başlangıç yüzeyi için, saat ibresi doğrultu sınırı (deg, gerçel sayı)

Araştırılan yüzey parçası verileri:

- BLOCK
- Üretilmiş toplam yüzey sayısı (tamsayı)
Ortakdaki bloğun tabanında üretilmiş kutuların sayısı (tamsayı)
Belirlenmiş yüzey dilimlerinin boyu (feet, gerçel sayı)
- Belirlenmiş kutu eksen çizgisinin sol ucunun X koordinatı (feet, gerçel sayı)
Belirlenmiş kutu eksen çizgisinin sol ucunun Y koordinatı (feet, gerçel sayı)
Belirlenmiş kutu eksen çizgisinin sağ ucunun X koordinatı (feet, gerçel sayı)
Belirlenmiş kutu eksen çizgisinin sağ ucunun Y koordinatı (feet, gerçel sayı)
Kutunun düşey kenarının boyu (feet, gerçel sayı)

Her bir kutu için veri programı devam eder.

3. BULGULAR

Şev stabilite analizlerinde güvenlik sayısının bilgisayar programları yardımıyla hesaplanması, Bölüm 2’de anlatıldığı gibi yapılmaktadır. Konunun daha iyi anlaşılması için, her iki programa ait ikişer sayısal örnek verilmiştir.

3.1. Şev Stabilite Analizlerine Ait Birinci Sayısal Örnek

Şekil 41’deki sonlu şevde, belirtilen kayma yüzeyi için güvenlik sayısı, STABGM ve STABL5 programına göre hesaplanacaktır.

3.1.1. STABGM İle Çözüm

Bu programda veri dosyası, Bölüm 2’de anlatıldığı şekilde, aşağıdaki gibi hazırlanır.

Şev Stabilite Analizi 1

0,1,6,2,0,0,0,0,1,

1,13,0,1,

7,

0,1,1,1,11,

6,1,1,1,11,

11,1,1,1,11,

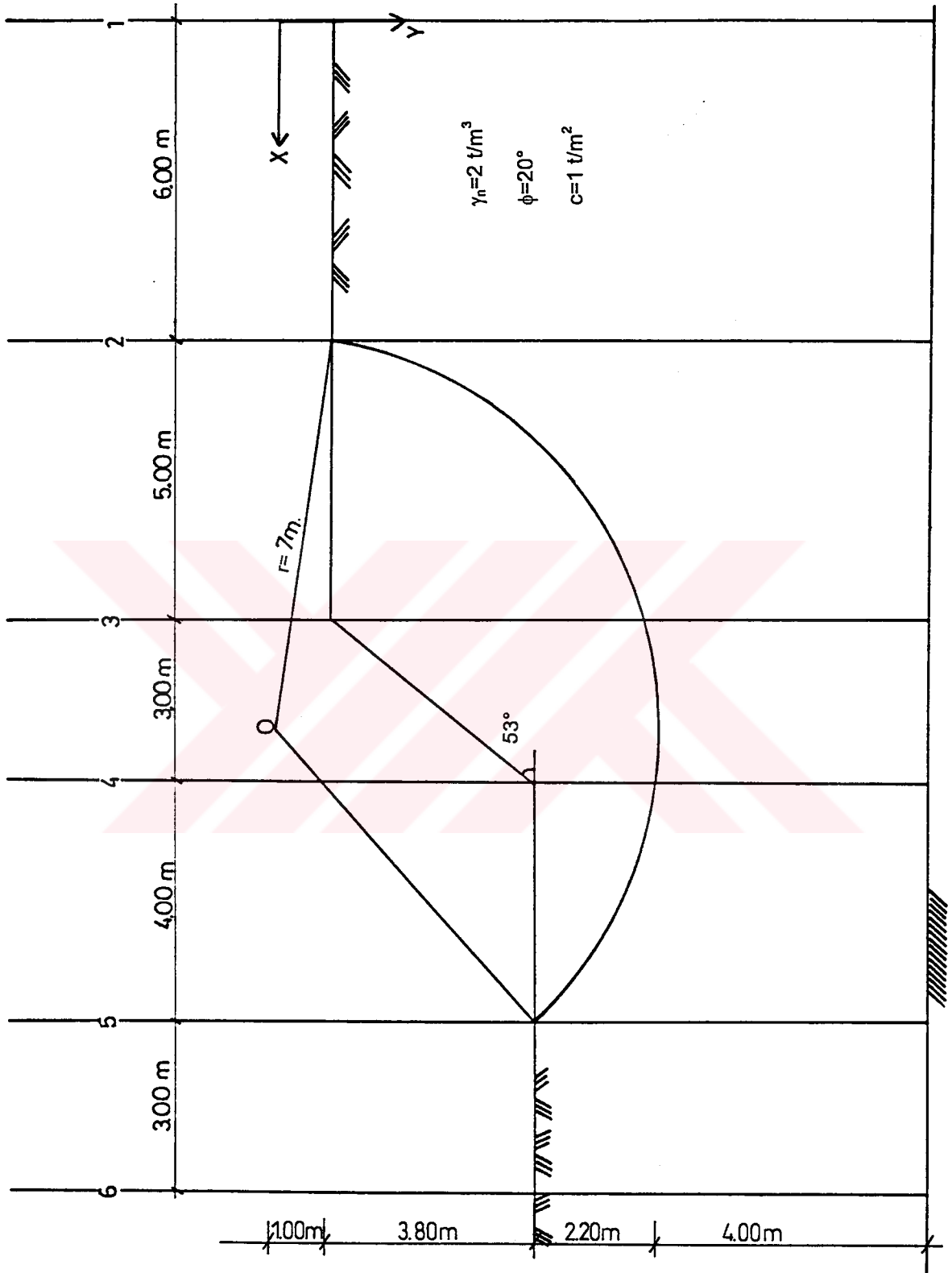
14,4.8,4.8,4.8,11,

18,4.8,4.8,4.8,11,

21,4.8,4.8,4.8,11,

1,1,20,2,

Bu verilere göre program çalıştırılırsa sonuçlar Ek 2’deki gibi elde edilir.



Şekil 41. Birinci sayısal örneğin STABGM ile çizgisel yaklaşımı

3.1.2. STABL5 İle Çözüm

Bishop, Janbu ve Spencer yöntemlerine göre güvenlik sayılarını elde etmek için, dört farklı veri grubu girmek gerekir. Bu veri gruplarında kullanılmak üzere, zemin özelliklerinde gerekli birim dönüşümleri(1m: 3.281ft, 1t/m³: 62.423 pcf, 1t/m²: 204.76 psf) yapılırsa; γ_n : 124.85 pcf ($\gamma_n=2$ t/m³), ϕ : 20°, c : 204.76 psf (c=1 t/m²) olarak elde edilir(Şekil 42).

İlk veri grubu;

PROFIL

Sonlu Şevlerin Stabilite Analizi 1

3 3

0. 26.9 23.79 26.9 1

23.79 26.9 33.63 39.37 1

33.63 39.37 76.28 39.37 1

SOIL

1

124.85 124.85 204.76 20. 0. 0. 0

LIMITS

1 1

0. 3.28 76.28 3.28

CIRCL2

3 25

10.66 23.79 33.63 50.04

0. 3.28 0. -25.

olarak yazılıp, program çalıştırılırsa sonuçlar Ek 3'deki gibi olur.

İkinci veri grubu;

PROFIL

Sonlu Şev Stabilite Analizi 1

3 3

0. 26.9 23.79 26.9 1

23.79 26.9 33.63 39.37 1

33.63 39.37 76.28 39.37 1

SOIL

1

124.85 124.85 204.76 20. 0. 0. 0

LIMITS

1 1

0. 3.28 76.28 3.28

CIRCLE

3 25 10.66 23.79 33.63 50.04 0. 3.28 0. -25.

olarak girilip, program çalıştırılırsa sonuçlar Ek 4'deki gibi elde edilir.

Üçüncü veri grubu;

PROFIL

Sonlu Şev Stabilite Analizi 1

3 3

0. 26.9 23.79 26.9 1

23.79 26.9 33.63 39.37 1

33.63 39.37 76.28 39.37 1

SOIL

1

124.85 124.85 204.76 20. 0. 0. 0

LIMITS

1 1

0. 3.28 76.28 3.28

SPENCR

53.

SURFAC

13

10.66 26.9

13.94 24.26

17.22 22.45

20.50 21.14

23.78 20.48

27.07 20.03

30.35 20.32

33.63 21.01

36.91 22.35

40.19 24.26

43.47 26.98

46.75 31.48

50.04 39.37

EXECUT

şeklinde girilirse, sonuçlar Ek 5'deki gibi elde edilir.

Son veri grubu da;

PROFIL

Sonlu Şev Stabilite Analizi 1

3 3

0. 26.9 23.79 26.9 1

23.79 26.9 33.63 39.37 1

33.63 39.37 76.28 39.37 1

SOIL

1

124.85 124.85 204.76 20. 0. 0. 0

LIMITS

1 1

0. 3.28 76.28 3.28

SURBIS

13

10.66 26.9

13.94 24.26

17.22 22.45

20.50 21.14

23.78 20.48

27.07 20.03

30.35 20.32

33.63 21.01

36.91 22.35

40.19 24.26

43.47 26.98

46.75 31.48

50.04 39.37

EXECUT

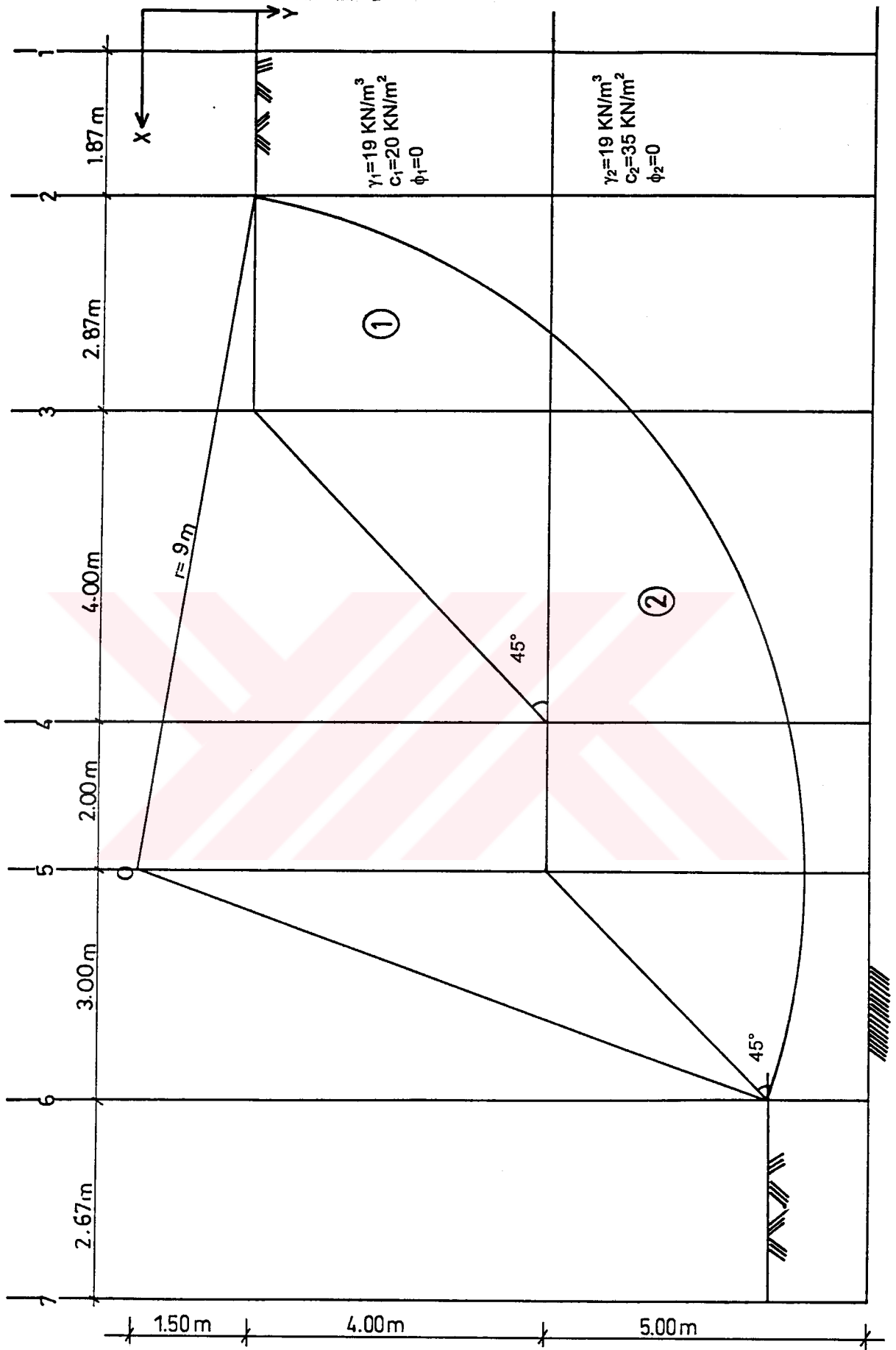
şeklinde girilirse sonuçlar Ek 6'daki gibi elde edilir.

3.2. Şev Stabilite Analizine Ait İkinci Sayısal Örnek

Şekil 43'de kayma yüzeyi verilen sonlu şevde, her iki zemin cinsi için birim hacim ağırlık 19 KN/m^3 'dür. 1 nolu zemin cinsi için $c_u : 20 \text{ KN/m}^2$ ve $\phi_u : 0$ 'dır. 2 nolu zemin cinsi için de $c_u : 35 \text{ KN/m}^2$ ve $\phi_u : 0$ 'dır. Burada, bu bilgilere göre güvenlik sayısı hesaplanacaktır.

3.2.1. STABGM İle Çözüm

STABGM programı ile, bu problemi çözmek için Şekil 43'deki gibi şev kesiti çizgiselleştirilir.



Şekil 43. İkinci sayısal örneğin STABGM ile çizgisel yaklaşımı

Veri grubu,
 Sonlu Şev Stabilite Analizi 2
 0,1,7,3,0,0,0,0,9.81,
 1,11.27,0,1,
 9,
 0.53,1.5,1.5,1.5,5.5,10.5,
 2.4,1.5,1.5,1.5,5.5,10.5,
 5.27,1.5,1.5,1.5,5.5,10.5,
 9.27,5.5,5.5,5.5,5.5,10.5,
 11.27,5.5,5.5,5.5,5.5,10.5,
 14.27,8.5,8.5,8.5,8.5,10.5,
 16.94,8.5,8.5,8.5,8.5,10.5,
 1,20,0,19,
 2,35,0,19,

şeklinde girilip program çalıştırılırsa Ek 7'deki sonuçlar elde edilir.

3.2.2. STABL5 İle Çözüm

Bishop, Janbu ve Spencer yöntemlerine göre güvenlik sayılarını bulmak için zemin özelliklerinde gerekli dönüşümler yapılarak, γ_n : 119.08 pcf ($\gamma_n=19 \text{ KN/m}^3$), c_1 : 411.15 psf ($c_1=20 \text{ KN/m}^2$), c_2 : 719.51 psf ($c_2=35 \text{ KN/m}^2$) olarak bulunur(Şekil 44).

İlk veri grubu,

PROFIL

Sonlu Şev Stabilite Analizi 2
 6 5
 0. 4.37 8.66 4.37 2
 8.66 4.37 18.48 14.22 2
 18.48 14.22 25.04 14.22 2
 25.04 14.22 38.28 27.34 1

38.28 27.34 60. 27.34 1

25.04 14.22 60. 14.22 2

SOIL

2

119.08 119.08 411.15 0. 0. 0. 0

119.08 119.08 719.51 0. 0. 0. 0

LIMITS

1 1

0. 0. 60. 0.

CIRCL2

3 25

5. 8.76 38.28 47.7

0. 6.12 0. -25.

olarak verilip, sonuçlar Ek 8'deki gibi elde edilir.

İkinci veri grubu,

PROFİL

Sonlu Şev Stabilite Analizi 2

6 5

0. 4.37 8.66 4.37 2

8.66 4.37 18.48 14.22 2

18.48 14.22 25.04 14.22 2

25.04 14.22 38.28 27.34 1

38.28 27.34 60. 27.34 1

25.04 14.22 60. 14.22 2

SOIL

2

119.08 119.08 411.15 0. 0. 0. 0

119.08 119.08 719.51 0. 0. 0. 0

LIMITS

1 1

0. 0. 60. 0.

CIRCLE

3 25 5. 8.76 38.28 47.7 0. 6.12 0. -25.

olarak yazılırsa, Ek 9'daki sonuçlar elde edilir.

Üçüncü veri grubu,

PROFIL

Sonlu Şev Stabilite Analizi 2

6 5

0. 4.37 8.66 4.37 2

8.66 4.37 18.48 14.22 2

18.48 14.22 25.04 14.22 2

25.04 14.22 38.28 27.34 1

38.28 27.34 60. 27.34 1

25.04 14.22 60. 14.22 2

SOIL

2

119.08 119.08 411.15 0. 0. 0. 0

119.08 119.08 719.51 0. 0. 0. 0

SPENCR

45.

SURFAC

8

8.66 4.37

14.76 2.88

20.86 2.7

26.96 3.8

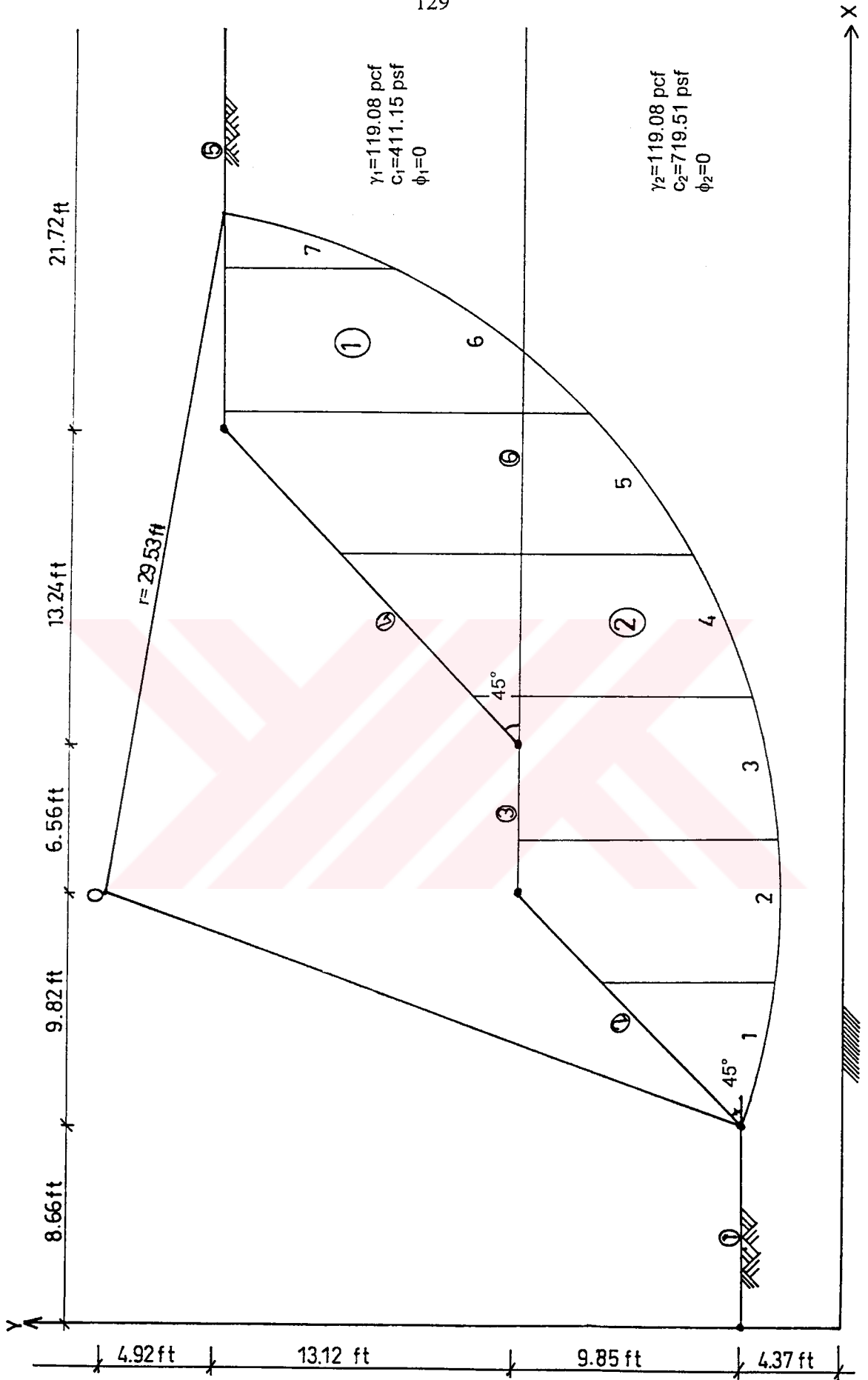
33.06 6.42

39.16 11.02

45.26 19.33

47.68 27.34

EXECUT



Şekil 44. İkinci sayısal örneğin STABL5 ile çözümü

olarak girilirse, sonuçlar Ek 10'daki gibi elde edilir.

Son veri grubu;

PROFIL

Sonlu Şev Stabilite Analizi 2

6 5

0. 4.37 8.66 4.37 2

8.66 4.37 18.48 14.22 2

18.48 14.22 25.04 14.22 2

25.04 14.22 38.28 27.34 1

38.28 27.34 60. 27.34 1

25.04 14.22 60. 14.22 2

SOIL

2

119.08 119.08 411.15 0. 0. 0. 0

119.08 119.08 719.51 0. 0. 0. 0

SURBIS

8

8.66 4.37

14.76 2.88

20.86 2.7

26.96 3.8

33.06 6.42

39.16 11.02

45.26 19.33

47.68 27.34

EXECUT

şeklinde girilirse, sonuçlar Ek 11'deki gibi elde edilir.

4. İRDELEME

Bu çalışmada; doğal ve yapay şevlerin analizi hakkında literatür taraması yapılmış ve stabilite analiz metodlarından; İsveç dilim, Bishop, Janbu ve Spencer metodlarına göre güvenlik sayısı hesabı yapan bilgisayar programları incelenmiştir. Şevlerin sağlanması gereken koşul, kaymaya karşı güvenlik sayılarının en az bir veya daha fazla olmasıdır. Yamaç veya şevlerde kaymanın hangi parametrelere bağlı olduğunun önceden saptanamaması, meydana gelecek kayma ve göçmelere karşı yeterli önlemin alınamamasında en önemli etken olmaktadır. Bundan dolayı yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar ve tecrübe kullanılarak değerlendirilmeleri yapılmalıdır. Elde edilen sayısal değerler, kesin sonucu değil sadece bir eğilimi göstermektedir. Bu konu, uygulamada çoğu kez ihmal edilse de, stabilite hesaplarında alınacak karar mühendisin deneyim ve bilgisine bağlı olmaktadır. Ayrıntılı bir matematiksel çözüm ve değerlendirme ancak stabiliteyi etkileyecek tüm değişkenlerin ayrı ayrı incelenmesi ile mümkün olacaktır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, stabilite probleminin geniş ölçüde incelendiğini göstermiştir. Geliştirilen hesap metodlarının bir çoğunda karmaşık ve uzun işlemlerin bulunması, bilgisayar programlarının bu konunun uygulamasında kullanılmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, pratikte kullanılan bilgisayar programlarından ikisi incelenerek, Türkçe kullanım kılavuzu hazırlanmıştır.

Şev stabilite analizlerinde güvenlik sayısı hesabı yapılırken zeminlerin mekanik özelliklerinin çeşitli nedenlerle değişmesi, tabakalaşmadaki süreksizlikler, vb., kesin sonuçların alınmasını güçleştirmektedir. Kritik kayma yüzeylerinin de varsayılandan farklı olması bu kanıyı kuvvetlendirmektedir. Böylece, bu özelliklerin ölçülmesi ve hesaplanması yanında, olasılık faktörünün de gözönünde bulundurulması gerekmektedir. Bu çalışmada, belli bir şev geometrisi için birden fazla kayma yüzeyi üretilecek suretiyle bütün olasılıklar dikkate alınmakta ve hatalar en aza indirilmeye çalışılmaktadır.

Konunun daha iyi anlaşılması için, her iki bilgisayar programına ait ikişer sayısal örnek de verilmektedir.

5. SONUÇLAR

Şev, mevcut arazi yüzeyi ile ya da yatayla, belirli bir açı yapan zemin kütlesi olarak tanımlanmıştır. Bir şevin dengede olup olmadığı veya ne kadar dengede olduğunu belirlemek için stabilite analizinin yapılmasına ihtiyaç vardır. Analiz sonucu genellikle bir güvenlik sayısı ile ifade edilir. Ancak analizler en dik yamaç eğimi, en fazla yamaç yüksekliği, en yüksek yeraltı su seviyesi veya en fazla yükleme durumunun belirlenmesine yöneliktir. Genel olarak güvenlik sayısının belirlenmesinde, seçilen birçok deneme kayma yüzeyi içinden en düşük değer, yamaç ya da şevin güvenlik sayısı olarak alınır.

Bu çalışmada, seçilen tipik örnekler üzerinde, pratikte geniş ölçüde kullanılan İsveç dilim, Bishop, Janbu ve Spencer metodları ile stabilite analizi yapılarak elde edilen güvenlik sayıları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

a. STABGM programında İsveç dilim yöntemine göre güvenlik sayısı, birinci sayısal örnekte 1.89, ikinci sayısal örnekte 1.602 olarak bulunmuştur. Birinci sayısal örneğin el ile yapılan çözümde ise güvenlik sayısı 1.87 çıkmaktadır[39]. İkinci sayısal örnekte ise güvenlik sayısı 1.58'dir. Bilgisayar programı ile bulunan güvenlik sayısı ile el ile hesaplanan güvenlik sayısı yaklaşık olarak eşit kabul edilmektedir.

b. STABL5 programında en düşük güvenlik sayısı değerini Janbu metodu vermektedir. En yüksek güvenlik sayısını ise birinci sayısal örnekte 2.125, ikinci sayısal örnekte de 1.627 olarak değiştirilmiş Bishop metodu vermektedir. Spencer yöntemine göre bulunan güvenlik sayısı birinci sayısal örnekte 2.117, ikinci sayısal örnekte 1.627'dir. Bu yöntemler arasında karşılaştırma yapıldığında, güvenlik sayıları farkının %2 ile %5 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

c. Değiştirilmiş Bishop metodu her iki programda da ortak olarak kullanılmaktadır. STABGM programında birinci sayısal örnekte 2.15, ikinci sayısal örnekte ise 1.602 olarak bulunan değerler, STABL5 programında 2.125 ve 1.627 olmaktadır. Programlarda ortak olarak kullanılan bu yöntemin sonuçları arasında %1 ile %3 arasında değişen farklar olduğu belirlenmiştir.

STABL5 programında üretilen kritik kayma dairelerinin topuktan geçme olasılığının çok yüksek olduğu ve her bir yöntem için yaklaşık aynı yerde olduğu gözlenmiştir. Şev stabilite problemlerinde, çok sayıda parametre olayı etkilediğinden yaklaşımların genelleştirilmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle her problem kendi bölgesel içeriğinde

incelenip, zemin mühendisliğinin kanıtlanmış deney ve temel prensiplerinden yararlanarak çözümlenmelidir. Sonuç olarak, Şevlerin stabilite hesabında son söz mühendisin deneyim ve bilgisine bağlıdır. Ayrıntılı bir matematiksel çözüm de stabiliteyi etkileyecek değişkenlerin ayrı ayrı incelenmesinden geçmektedir.



6. ÖNERİLER

Geoteknik mühendisleri, yol güzergahlarında karşılaşılan heyelan problemlerinde ilk önce kayma olasılığı olan bölgeleri tespit etmeli ve sınıflandırmalıdır. Böylece, yapılan heyelan haritaları ve potansiyel heyelan alanları saptanarak belirlenen arazi kullanım haritaları sayesinde heyelanlar oluşmadan önce önlemler alınma yoluna gidilmelidir.

Şevlerde, stabilite bozulduktan sonra araştırma ve iyileştirme yollarının istenmesi ise büyük ekonomik zararlar doğurmaktadır. Bu nedenle önemli yapı alanlarında inşaata başlamadan önce o bölgeyle ilgili araştırmaların yapılması hususu anlaşmalara ve kazı-temel yönetmeliklerine koyulması gerekmektedir.

Şev stabilite analizlerinde, teorik analize destek olarak, laboratuvarında yapılan model çalışmaları kullanılabilir. Böylece bilgisayar programlarında tam belirgin olmayan kritik kayma dairelerinin yeri kesinleştirilmiş olur.

7. KAYNAKLAR

1. Önalp, A., Heyelan Sözlüğü, 2. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Ekim 1995, Adapazarı, Bildiriler Kitabı, Cilt I, 22-34.
2. Shuster, R.L. ve Krizek, R.J., Landslides Analysis and Control, Transportation Research Board, Special Report 178, NAS-NRC Publ., 1978.
3. Skempton, A.W. ve Hutchinson, J.N., Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations, 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Eng., 1969, Mexico City, vol. 3, 291-340.
4. Varnes, D.J., Slope Movement Types and Processes, Transportation Research Board, Special Report 176, NAS-NRC Publ., 1978, 11-33.
5. Walker, B.F., Soil Slope Instability and Stabilization, Bruce, F., Robin, F., Sydney, 1987.
6. Önalp, A., İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, Cilt 2, 1. Baskı, K.T.Ü. Yayın No. 3, Trabzon, 1983.
7. TS 8853, Yamaç ve Şevlerin Dengesi ve Hesap Metodları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1991.
8. Sharpe, C.F.S., Landslides and Related Phenomena, Columbia Un. Press, New York, 1938.
9. Skempton, A.W., Soil Mechanic in Relation to Geology, Proc. Yorkshire Geological Society, 29, 1 (1953) 33-62.
10. Varnes, D.J., Landslides Types and Processes, Landslides and Engineering Practise, Highway Research Board, Special Report 29, NAS-NRC Publ., 1958.
11. Blong, R.J., A Numerical Classification of Selected Landslides of the Debris Slide, Engineering Geology, 7 (1973) 99-114.
12. Blyth, F.G.H. ve De Freitas, M.H., A Geology for Engineers, 6th Edition, Edwin Arnold, London, 1974.
13. Hutchinson, J.N., A Geotechnical Classification of Landslides, Croom Helm, 1978.
14. Whitlow, R., Basic Soil Mechanics, First Edition, Longman Inc., New York, 1983.
15. Terzaghi, K., Stability of Slopes of Natural Clay, Proc. 1st Int. Conf. On Soil Mech. and Foundation Engineering, 1936, Harvard, vol. 1, 161-165.
16. Aitchison, G.D. ve Donald, I.B., Effective Stresses in Unsaturated Soils, Proc. 2nd Conf. On Soil Mechanics and Found. Eng., 1956, 192-199.

17. Aitchison, G.D., Relationships of Moisture Stress and Effective Stress Functions in Unsaturated Soils, Conf. Pore Pressures, 1960, Butterworths, London.
18. Kezdi, A., Safety Factors for Different Types of Failure, Proc. of Design Parameters in Geotechnical Engineering, 1979, vol. 1, 195-198.
19. Morgenstern, N.R. ve Sangrey, D.A., Methods of Stability Analysis, Transportation Research Board, Special Report 176, NSA-NRC Publ., 1978.
20. Chugh, A.K., Variable Factor of Safety in Slope Stability Analysis, Geotechnique, 36, 1 (1986) 57-64.
21. De Mello, V.B.F., Reflection on Design Decisions of Practical Significance to Embankment Dams, Geotechnique, 27, 3 (1977) 279-355.
22. Grivas, D.A., Probabilistic Evaluation of Safety of Soil Structures, Journal of the Geotechnical Engineering Div., ASCE, GT9 (1979) 1091-1095.
23. Harr, M.E., Mechanics of Particulate Media, McGraw Hill Book Co., New York, 1977.
24. Peck, R.B., The Pitfalls of Overconservatism in Civil Engineering Practise, Civil Engineering, ASCE, (1977) 62-65.
25. Baikie, L.D., Total and Partial Factors of Safety in Geotechnical Engineering, Can. Geot. J., 22 (1985) 477-482.
26. Collin, A., Landslides in Clay, University of Toronto Press, 1846.
27. Sowers, G.B. ve Sowers, G.F., Introductory Soil Mechanics and Foundation, 3rd Edition, Mc Millan, New York, 1970.
28. Atalay, F.İ. ve Bekaroğlu, N., Heyelanlar ve Mühendislik Uygulaması, Karayolları Genel Müdürlüğü Yayın No. 200, Ankara, 1973.
29. Kip, F. ve Kumbasar, V., İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, 4. Baskı, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1984.
30. Utku, T., Teori ve Tatbikatta Heyelanlar, T.C. Karayolları G.M., Ankara, 1975.
31. Güner, R., Heyelanların Önlemesi ve Düzeltilmesi, Türkiye Mühendislik Haberleri, 379 (1995) 59-65.
32. Önalp, A., Yamaç Dengesinde Etkenlerin İncelenmesi, Doçentlik Tezi, K.T.Ü., Trabzon, 1975.
33. Anderson, M.G. ve Richards, K.S., Slope Stability, John Wiley and Sons Ltd., New York, 1982.

34. Bishop, A.W. ve Bjerrum, I., The Relevance of The Triaxial Test to the Solution of Stability Problems, Proc. ASCE Res. Conf. On Shear Strength of Cohensive Soil ASCE, 1960, 437-401.
35. Lambe, T.W. ve Whitman, R.Y., Soil Mechanics, John Wiley and Sons Ltd., New York, 1969.
36. Ulusay, R., Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, 2. Baskı, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No. 39, Ankara, 1994.
37. Fellenius, W., Erdstatische Berechnungen Mit Reibung und Kohasion, Ernst, W., Berlin, 1927.
38. Fellenius, W., Calculation of the Stability of Earth Dams, 2nd Congres Large Dams, 1936, vol. 4, 445-450.
39. Uzuner, B.A., Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, 2. Baskı, Teknik Yayınevi, Ankara, 1992.
40. Craig, R.F., Soil Mechanics, Fourt Edition, London, 1987.
41. Fredlund, D.G. ve Krahn, J., Comparision of Slope Stability Methods of Analysis, Geotechnical Journal, 14, 3 (1977) 429-439.
42. Bishop, A.W., The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Earth Slopes, Geotechnique, 5, 1 (1955) 7-17.
43. Spencer, E., A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Interslice Forces, Geotechnique, 17, 1 (1967) 11-26.
44. Morgenstern, N.R. ve Price, V.E., The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces, Geotechnique, 15, 1 (1965) 79-93.
45. Janbu, N., Stability Analysis of Slopes With Dimensionless Parameters, Harward Soil Mechanics Series No: 46, 1954.
46. Janbu, N., Earth Pressure and Bearing Capacity Calculations by Generalized Procedure of Slices, Proc. 4th Int. Conf. Soil Mech. and Foundation Eng., 1957, London, vol 2, 207-212.
47. Soydemir, Ç., A Case Study of Slope Stability in Ankara Clay, Proc. Eur. Conferance on SMFE, 1975, London, vol 1, 230-240.
48. Janbu, N., Bjerrum, L. ve Kjaernsli, B., Veiledning Ved Losning av Fundamenterings Oppgaver, Norwegian Geotechnical Institute Publ. No. 16, 1956.
49. Taylor, D.W., Fundamentals of Soil Mechanics, John Wiley and Sons, New York, 1948.

50. Bishop, A.W. ve Morgenstern, N., Stability Coefficient for Earth Slopes, Geotechnique, 10, 4 (1960) 129-150.
51. Spencer, E., The Thrust Line Criterion in Embankment Stability Analysis, Geotechnique, 23, 1 (1973) 85-101.
52. Bishop, A.W., The Influence of Progressive Failure on the Method of Stability Analysis, Geotechnique, 21, 2 (1971) 168-172.
53. Morgenstern, N.R. ve Price, V.E., A Numerical Method for Solving the Equations of Stability of General Slip Surfaces, Computer Journal, 9 (1967) 388-393.
54. Bromhead, E.N., The Stability of Slopes, Surrey University Press, Chapman and Hall, New York, 1986.
55. Özüdođru, K., Yamaç ve Şevlerde Stabilité Analiz Yöntemleri, Dayanma Yapıları Semineri, Mayıs 1987, Samsun, Bildiriler Kitabı Cilt I, 1-30.
56. Chowdhury, R.N., Slope Analysis, First Edition, Elsevier Scientific P.C., Amsterdam, 1978.
57. Whitman, R.V. ve Bailey, W.A., The Use of Computers for Slope Stability Analysis, Journal of Soil Mechanics and Foundation Eng. Div., ACSE, 93, SM4 (1967) 475-498.
58. Duncan, J.M. ve Wright, S.G., The Accuracy of Equilibrium Methods of Slope Stability Analysis, Engineering Geology, 16, 5 (1980) 5-17.
59. Duncan, J.M. ve Buchignani, A.L., An Engineering Manual for Slope Stability Studies, Geotechnical Engineering, Univ. Cal., 1975.

8. EKLER

8.1. Ek 1

Şev Stabilite Analizlerinin İsveç Dilim Yöntemi ve Değiştirilmiş Bishop Yöntemi ile Bulunmasına Ait, STABGM Bilgisayar Programının Listesi.

C PROGRAM STABGM

```
C*****
C DONATILI ZEMİN DOLGULARININ VE ŞEVLERİN STABİLİTE ANALİZİ İÇİN
C PROGRAM. PROGRAMDA İSVEÇ DİLİM YÖNTEMİ VE DEĞİŞTİRİLMİŞ BISHOP
C YÖNTEMİ STABİLİTE ANALİZİNDE KULLANILMAKTADIR.
C PROGRAM OCAK-1971'DE GUY LEFEBVRE (UNIVERSITY OF CALIFORNIA,
C BERKELEY, U.S.A.) TARAFINDAN STABR ADI İLE YAZILMIŞ; ŞUBAT-1973
C VE NİSAN-1974'DE S.CHIRAPUNTU, MART-1981'DE J.TAYLOR TARAFINDAN
C MODİFİYE EDİLMİŞ, ŞUBAT-1984'DE KAI WONG TARAFINDAN MS-DOS
C SİSTEMİNDE KULLANILABİLMEK İÇİN KODLANMIŞ, ARALIK-1984'DE
C BAK KONG LOW TARAFINDAN DONATILI ZEMİNLER İÇİN İLAVELER
C YAPILMIŞTIR.
C 1996'DA BANU HALİLOĞLU TARAFINDAN TÜRKÇELEŞTİRİLMİŞ VE TÜRKÇE
C BİR KULLANIM KILAVUZU HAZIRLANMIŞTIR.
C*****
C
```

```
CHARACTER FIN*14,FOUT*14,TITLE*72
DIMENSION SPX(40),SPY(40)
```

```
COMMON/GEN/NLEVEL,NSECT,NSTRAT,LIGNE,NPTCU,NSLICE,NO,RU,S1,S2,DW
COMMON/DEPTH/TANG(20),XTOE,YTOE,K,NSPEC,METHOD
COMMON/GEOM/X(20),Y(20,12),YFI(20),YT(12),PW(20,12),PWT(12),S(19)
COMMON/PROP/VAPW(12),CU(12),FRICT(12),WTOTAL(12),VAC(20),ELV(20)
COMMON/CRACK/YSURF(20)
COMMON/SLICE/XX(100),YY(100),BTOTAL
```

C new

```
COMMON/RINF/YRF(30),NFP(30),XRF(30,9),RFF(30,9),NRFL,IORHT
COMMON/MINFS/FSOMIN(30),XCTMIN(30),YCTMIN(30)
```

C

```
150 WRITE(*,8001)
```

```
8001 FORMAT(//////////
```

```
+ 5X,' *****'/
+ 5X,' *      STABGM  Version 9.85 (MS-DOS)          */
+ 5x,' *                                           */
+ 5x,' *      Donatılı Zeminlerde Stabilite Analizi */
+ 5x,' *                                           */
+ 5X,' *      Değiştirilmiş Bishop Metodu          */
+ 5x,' *      ve/veya İsveç Dilim Metodu           */
+ 5X,' *****')
```

(Ek-1'in devamı)

C

```

WRITE(*,8010)
8010 FORMAT(///20X,' VERİ DOSYASININ İSMİ ' /
+          20X,' (e.g. B:XYZ.DAT) --> '/')
      READ(*,8800) FIN
8800 FORMAT(A14)

```

C CCC

```

8301 WRITE(*,8300)
8300 FORMAT(///20X,' DONATININ DURUMU: '//
+          20X,' 1 =YATAY ' /
+          20X,' 2 = TEĞETSEL '//
+          20X,' BİRİNİ SEÇİNİZ ----> '/')
      READ(*,8810) IORHT
      IF(IORHT .LT. 0 .OR. IORHT .GT. 2) GO TO 8301
8002 WRITE(*,8020)
8020 FORMAT(//20X,' SONUÇ ÇIKTISI : '//
+          20X,' 0 = EKCRAN ' /
+          20X,' 1 = PRINTER' /
+          20X,' 2 = DISK' //
+          20X,' BİRİNİ SEÇİNİZ----> '/')
      READ(*,8810) IO
8810 FORMAT(I5)
      IF(IO.LT.0.OR.IO.GT.2) GO TO 8002
      IF(IO.LT.2) WRITE(*,8040)
8040 FORMAT(//,20X,' GERİ DÖNMEK İÇİN "RETURN" TUŞUNA BASINIZ. '//)
      IF(IO.EQ.2) WRITE(*,8030)
8030 FORMAT(//20X,' ÇIKTI DOSYASININ İSMİ ' /
+          20X,' (e.g. B:XYZ.OUT) --> '/')
      READ(*,8800) FOUT

```

C

```

IF(IO.EQ.1) OPEN(1,FILE=PRN,status='new')
OPEN(5,FILE=FIN,STATUS='OLD',ACCESS='SEQUENTIAL')
IF(IO.EQ.2) OPEN(2,FILE=FOUT,STATUS='NEW',ACCESS='SEQUENTIAL')
REWIND 5

```

C

```

WRITE(IO,6001)
6001 FORMAT(1H1,/,
+ 5X,' *****'/
+ 5X,' *          STABGM  Version 9.85 (MS-DOS)          *'/
+ 5X,' *          *          *          *          *          *'/
+ 5X,' *          Donatılı Zeminlerde Stabilite Analizi          *'/
+ 5X,' *          *          *          *          *          *'/
+ 5X,' *          Değiştirilmiş Bishop Metodu          *'/
+ 5X,' *          ve/veya İsveç Dilim Metodu          *'/
+ 5X,' *****'/)

```

C

C GİRİŞ VERİLERİNİ OKUTMA VE YAZDIRMA

(Ek-1'in devamı)

C

```

READ(5,109) TITLE
WRITE(IO,108) TITLE
READ(5,*) NSPEC,NLEVEL,NSECT,NSTRAT,LIGNE,NPTCU,NRFL,S1,S2,DW
WRITE(IO,121)NSPEC,NLEVEL,NSECT,STRAT,LIGNE,NPTCU,NRFL,S1,S2,DW
NTA=NLEVEL
IF(NLEVEL.EQ.0) NTA=2
NTRAT=NSTRAT+3
N1=NSTRAT-1
NLIG=LIGNE+1
NCUP=2*NPTCU
NSPE=2*NSPEC
IF(NSPEC.NE.0) GO TO 155
READ(5,*) METHOD,XI,YI,DC
IF(METHOD.EQ.1) WRITE(IO,114)
IF(METHOD.EQ.2) WRITE(IO,115)
WRITE(IO,118) XI,YI,DC
155 IF(NSPEC.GT.0) READ(5,*) (SPX(N),SPY(N),N=1,NSPEC)
IF(NSPEC.GT.0) WRITE(IO,119) (SPX(N),SPY(N),N=1,NSPEC)
IF(NLEVEL.EQ.0) READ(5,*) XTOE,YTOE
IF(NLEVEL.EQ.0) WRITE(IO,123) XTOE,YTOE
IF(NLEVEL.GT.0) READ(5,*) (TANG(I),I=1,NLEVEL)
IF(NLEVEL.GT.0) WRITE(IO,124) (TANG(I),I=1,NLEVEL)
DO 157 L=1,NSECT
READ(5,*) X(L),YFI(L),YSURF(L),(Y(L,J),J=1,NSTRAT)
157 CONTINUE
WRITE(IO,125) (X(L),L=1,NSECT)
WRITE(IO,126) (YFI(L),L=1,NSECT)
WRITE(IO,133) (YSURF(L),L=1,NSECT)
DO 158 J=1,NSTRAT
WRITE(IO,127) J,(Y(L,J),L=1,NSECT)
158 CONTINUE
C
C ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN OKUNMASI
C
WRITE(IO,105)
DO 159 JJ=1,N1
READ(5,*) J, CU(J),FRICT(J),WTOTAL(J)
WRITE(IO,130) J,CU(J),FRICT(J),WTOTAL(J)
159 CONTINUE
C
C BOŞLUK BASINCI VERİLERİNİN OKUNMASI
C
IF(LIGNE.EQ.0) GO TO 178
IF(LIGNE.EQ.-1) GO TO 177
DO 175 L=1,NSECT
READ(5,*) X(L),(PW(L,N),N=1,LIGNE)

```

(Ek-1'in devamı)

```

175 CONTINUE
    WRITE(IO,128) (X(L),L=1,NSECT)
    DO 176 N=1,LIGNE
176 WRITE(IO,129) N,(PW(L,N),L=1,NSECT)
    IF(LIGNE.EQ.1) GO TO 178
    READ(5,*) (VAPW(N),N=1,LIGNE)
    WRITE(IO,132) (N,VAPW(N),N=1,LIGNE)
    GO TO 178
177 READ(5,*) RU
    WRITE(IO,131) RU
178 CONTINUE
    DO 165 J=1,N1
    FRICT(J)=FRICT(J)*0.01745
165 CONTINUE
    IF(NPTCU.EQ.0) GO TO 200
    READ(5,*) (ELV(N),VAC(N),N=1,NPTCU)
    WRITE(IO,164) (ELV(N),VAC(N),N=1,NPTCU)
200 CONTINUE
    DO 205 L=1,NSECT
    LM1 = L-1
    IF(LM1.NE.0) S(LM1)=(Y(L,1)-Y(LM1,1))/(X(L)-X(LM1))
205 CONTINUE
C
C DONATI VERİLERİNİN OKUNMASI
C
    IF (NRFL.GT.0) THEN
        IF (IORHT.EQ.1) THEN
            WRITE(IO,6010) NRFL
6010    FORMAT(1H0,I2,'SEVİYEDEKİ DONATI KUVVETLERİ',3X,
+          '(YATAY DURUM) '/')
            ELSE
                WRITE(IO,6020) NRFL
6020    FORMAT(1H0,I2,'SEVİYEDEKİ DONATI KUVVETLERİ',3X,
+          '(TEĞETSEL DURUM) '/')
            END IF
        DO 1000 II=1,NRFL
            READ(5,*) YRF(II),NFP(II),(XRF(II,INFP),RFF(II,INFP),
+          INFP=1,NFP(II))
            WRITE(IO,6030) YRF(II),NFP(II),(XRF(II,INFP),RFF(II,INFP),
+          INFP=1,NFP(II))
6030    FORMAT(1H0,4X,'Y = ',F8.2,5x,'KUVVET NO. =',I3/
+          14x,'X    KUVVET/' 9(8X,F7.1,5X,F7.1)/)
1000 CONTINUE
        END IF

```

(Ek-1'in devamı)

C

C ARAŞTIRILAN KRİTİK DAİRENİN VEYA
 C BELİRLENMİŞ DAİRENİN GÜVENLİK
 C SAYISININ HESAPLANMASI

C

R45=0.0

X0=XI

Y0=YI

XCT=XI

YCT=YI

IF (NLEVEL.EQ.0) NLEV=1

IF (NLEVEL.NE.0) NLEV=NLEVEL

DO 510 K=1,NLEV

NO=0

WRITE(IO,108) TITLE

WRITE(IO,140)

IF(NSPEC.GT.0) GO TO 240

GR=2.*DC

CALL BISHOP(X0,Y0,FSC,IO)

IF(FSC.LT.0.0) WRITE(IO,152)

IF(FSC.LT.0.0) GO TO 510

210 CONTINUE

IF(GR.EQ.R45) GR=DC

XP=XCT

YP=YCT

XCT=X0

YCT=Y0

FSO=FSC

215 CONTINUE

NPT=0

CC=1000.0

DO 220 M=1,4

ROT=(M-1)*0.5*3.141592653

IF(GR.EQ.R45) ROT=ROT+0.25*3.141592653

X0=XCT-GR*COS(ROT)

Y0=YCT-GR*SIN(ROT)

IF(X0.EQ.0) GO TO 217

X0=(AINT(10.*X0+0.5*X0/ABS(X0)))/10.0

217 IF(Y0.EQ.0) GO TO 225

Y0=(AINT(10.*Y0+0.5*Y0/ABS(Y0)))/10.0

225 CONTINUE

IF(XCT.NE.XP.AND.X0.EQ.XP.AND.YCT.EQ.Y0) GO TO 220

IF(YCT.NE.YP.AND.Y0.EQ.YP.AND.XCT.EQ.X0) GO TO 220

CALL BISHOP(X0,Y0,FSC,IO)

IF(FSC.LT.0.0.AND.NO.LT.51) WRITE(IO,152)

IF(FSC.LT.0.0) GO TO 510

IF(FSC.GT.FSO) GO TO 220

(Ek-1'in devamı)

```

C  IF((FSO-FSC).LE.0.05*FSC) GR=DC
C  GO TO 210
   IF(FSC.LE.FSO) FSO=FSC
   NPT=NPT+1
   X01=X0
   Y01=Y0
   XCT1=XCT
   YCT1=YCT
   IF((FSO-FSC).GT.0.05*FSC) CC=0.0
220 CONTINUE
   IF(NPT.EQ.0) GO TO 498
   IF(CC.NE.0.0) GR=DC
   X0=X01
   Y0=Y01
   XCT=XCT1
   YCT=YCT1
   FSC=FSO
   GO TO 210
498 CONTINUE
   IF(GR.EQ.R45) GO TO 499
   IF(GR-2.*DC) 495,490,495
490 GR=DC
   DC=ABS(DC)
   GO TO 215
495 R45=SQRT(DC*DC*2.)
   GR=R45
   GO TO 215
499 CONTINUE
   WRITE(IO,142) FSO,XCT,YCT
   FSOMIN(K)=FSO
   XCTMIN(K)=XCT
   YCTMIN(K)=YCT
   GO TO 500
240 CONTINUE
   DO 245 NCC=1,NSPEC
   X0=SPX(NCC)
   Y0=SPY(NCC)
   CALL BISHOP(X0,Y0,FSC,IO)
245 CONTINUE
500 CONTINUE
510 CONTINUE
C
C  B Ü T Ü N  S O N U Ç L A R I N  Y A Z D I R I L M A S I
C
   IF (NLEV .GT. 1) THEN
     WRITE (IO,6050)
6050  FORMAT(///22X,'STABGM PROGRAMININ ÖZETİ'//)

```

(Ek-1'in devamı)

```

WRITE(IO,108) TITLE
WRITE (IO,6055)
6055 FORMAT(//15X,'KAY.DER (X) MERKEZ (Y) MERKEZ GSMIN(BMM)')
FSMMM = 1000.
DO 2000 K = 1,NLEV
    IF (FSOMIN(K) .LT. FSMMM) FSMMM=FSOMIN(K)
    WRITE (IO,6060) TANG(K),XCTMIN(K),YCTMIN(K),FSOMIN(K)
6060    FORMAT(8X,3F13.2,F11.3)
2000 CONTINUE
WRITE (IO,6070) FSMMM
6070 FORMAT(/,22X,' MİNİMUM GS = ',F9.3)
IF (IORHT.EQ.1) THEN
    WRITE(IO,6080)
6080    FORMAT(1H0,20X,'(YATAY DURUM) '/')
ELSE
    WRITE(IO,6090)
6090    FORMAT(1H0,20X,'(EĞİK DURUM) '/')
END IF
END IF
C
WRITE(IO,8065)
8065 FORMAT(1H )
CLOSE (5)
IF(IO.EQ.2) CLOSE (2)
WRITE(*,8070)
8070 FORMAT( 20X,' 1. YENİ BİR PROBLEM'/
+          20X,' 2. ÇIKIŞ '/'
+          20X,' 1 veya 2 yi Seçiniz ----> '/')
READ(*,8810) IOPT
IF(IOPT.EQ.1) GO TO 150
C
STOP
C
105 FORMAT(1H0,'ZEMİN ÖZELLİKLERİ'/
1 1H0,6X,'TABAKA',10X,'KOHEZYON SÜRTÜNME AÇISI B.AĞIRLIK')
108 FORMAT(1H0,A72)
109 FORMAT(A72)
114 FORMAT(1H0,'DEĞİŞTİRİLMİŞ BISHOP METODU İLE İNCELEME ')
115 FORMAT(1H0,'İSVEÇ DİLİM METODU İLE İNCELEME ')
118 FORMAT(/1H ,'ARAŞTIRILAN MERKEZLER (',F6.1,',',F6.1,
1 ') SON IZGARA GENİŞLİĞİ ',F4.1)
119 FORMAT(1H0,'BELİRLİ MERKEZLER (X,Y)'/1H0,(5X,4('(',2F6.1,')',3X)))
121 FORMAT(1H0,18X,'KONTROL VERİLERİ'//,
1 5X,'MAX. KAYMA DERİNLİĞİ SAYISI. ....',I5,/,
2 5X,'SINIR TEĞET DERİNLİKLERİNİN SAYISI .....',I5,/,
3 5X,'DÜŞEY KESİTLERİN SAYISI .....',I5,/,
4 5X,'ZEMİN TABAKA SINIRLARININ SAYISI .....',I5,/,

```

(Ek-1'in devamı)

```

5 5X,'BOŞLUK BASINCI ÇİZGİLERİNİN SAYISI .....',I5,/,
6 5X,'KOHEZYON PROFİLİNİ TANIMLAYAN NOKTA SAYISI. ....',I5,/,
7 5X,'DONATILI TABAKA SAYISI .....',I5,/,
8 5X,'SİSMİK KATSAYILAR, S1, S2 .....',F5.2,2X,
9 F5.2,/,
1 5X,'SUYUN BİRİM AĞIRLIĞI .....',F5.2)
123 FORMAT(1H0,'BÜTÜN DAİRELERİN GEÇTİĞİ NOKTA ('F6.1,',',F6.1,
1  ')')
124 FORMAT(1H0,'MAX. KAYMA DERİNLİKLERİ',8(',',F6.1))
125 FORMAT(1H0,'GEOMETRİ'/1H0,4X,'KESİTLER ',20F6.1)
126 FORMAT(4X,15H G. ÇATLAKLARI ,20F6.1)
133 FORMAT(4X,15H ÇATLAKTAKİ SU ,20F6.1)
127 FORMAT(4X,9H SINIR ,I2,20F6.1)
131 FORMAT(1H0,'RU FAKTÖRÜNE BAĞLI BOŞLUK BASINCI'/
1 1H0,4X,'RU = ',F5.3)
128 FORMAT(1H0,'BOŞLUK BASINCI VERİLERİ'/
1 1H ,5X,'EŞ BASINÇ ÇİZGİLERİNİN KOORDİNATLARI'/
2 1H0,5X,'KESİTLER ',(20F6.1)/)
129 FORMAT(5X, 6H ÇİZGİ,I3,2X,20F6.1)
130 FORMAT(I9,3X,3F15.1)
132 FORMAT(1H0,5X,'EŞ BASINÇ ÇİZGİLERİ ÜZERİNDEKİ BASINÇ DEĞERLERİ'/
1 1H0,5X,'ÇİZGİLER',5X,'BASINÇ'/12(5X,I3,F12.1/))
140 FORMAT(1H0,'SAYI KAY.DER YARIÇAP (X) MERKEZ (Y) MERKEZ',
1 ' GS(BISHOP) GS(OMS) dGS(BS)'/)
142 FORMAT(1H0,'G.S. MINIMUM= ',F6.3,15H DAİRE MERKEZİ
1F6.1,1H,,F6.1,1H /)
152 FORMAT(/,33H NEGATİF GS, ARAŞTIRMA BİTİRİLDİ )
164 FORMAT(1H0,'DERİNLİĞE KARŞI GELEN BELİRLİ KOHEZYONLAR'/
1 1H0,5X,'DERİNLİK KOHEZYON'/
2 20(2F10.1/))
505 FORMAT(6I5,3F10.0)
520 FORMAT(3F10.0)
530 FORMAT(10F8.0)
540 FORMAT(I5,3F10.0)
550 FORMAT(/// ÇIKIŞ SEÇİM NO. '/
1 ( 2=PRINTER, 3=EKRAN ) ')
C
END
c*****
c SUBROUTINE BISHOP
C*****
SUBROUTINE BISHOP(X0,Y0,FSC,IO)
C
DIMENSION TT(100),RFACT(100)

COMMON/GEN/NLEVEL,NSECT,NSTRAT,LIGNE,NPTCU,NSLICE,NO,RU,S1,S2,DW
COMMON/DEPTH/TANG(20),XTOE,YTOE,K,NSPEC,METHOD

```

(Ek-1'in devamı)

```

COMMON/GEOM/X(20),Y(20,12),YFI(20),YT(12),PW(20,12),PWT(12),S(19)
COMMON/PROP/VAPW(12),CU(12),FRICT(12),WTOTAL(12),VAC(20),ELV(20)
COMMON/SLICE/XX(100),YY(100),BTOTAL
C NEW
COMMON/RINF/YRF(30),NFP(30),XRF(30,9),RFF(30,9),NRFL,IORHT
C
FUNCY(A,X1,Y1,X2,Y2)=((A-X1)/(X2-X1))*(Y2-Y1)+Y1
FUNYC(A) = Y0+SQRT(R*R-X0*X0-A*A+2.*X0*A)
TAN(A)=SIN(A)/COS(A)
NUM=0
ITT=1
NO=NO+1
CALL SOLN(XNEG,XPOS,YNeg,YPOS,YFOND,YWATER,NUM,X0,Y0,R)
IF(NUM.EQ.1) WRITE(IO,700) NO,TANG(K),R,X0,Y0
IF(NUM.EQ.1) GO TO 610
IF(Y0.GT.YPOS) WRITE(IO,710) NO,TANG(K),R,X0,Y0
IF(Y0.GT.YPOS) GO TO 600
IF(Y0.GT.YFOND) WRITE(IO,720) NO,TANG(K),R,X0,Y0
IF(Y0.GT.YFOND) GO TO 600
IF(BTOTAL.EQ.0.0) WRITE(IO,730) NO,TANG(K),R,X0,Y0
IF(BTOTAL.EQ.0.0) GO TO 610
C
C   DONATI KUVVETİNİN HESABI
C
ADDRM = 0.0
IF (NRFL.GT.0) THEN
  DO 1020 II = 1,NRFL
    XLEVEL = R**2-(YRF(II)-Y0)**2
    IF (XLEVEL.LE.0.0) GO TO 1020
    XRIN = X0 - SQRT(XLEVEL)
    YRIN = YRF(II)
    DO 1000 II1 = 1,NFP(II)
      IRINF = II1
      IF (XRIN .GT. XRF(II,II1)) GO TO 1010
      II2 = II1
1000   CONTINUE
1010   XRFM = XRF(II,IRINF)
      IF (IRINF.EQ.NFP(II) .AND. II2.EQ.NFP(II) ) THEN
        FRF = RFF(II,IRINF)
      ELSE
        IRINM1 = IRINF-1
        IF (IRINM1.EQ.0) THEN
          FRF = RFF(II,1)
        ELSE
          XRFZ = XRF(II,IRINM1)
          DRDF = (RFF(II,IRINF)-RFF(II,IRINM1))
          FRF = RFF(II,IRINM1)+DRDF*(XRIN-XRFZ)/(XRFM-XRFZ)

```

(Ek-1'in devamı)

```

      END IF
      END IF
      IF (IORHT.EQ.1) THEN
        ADDRМ = ADDRМ + FRF * (YRIN-Y0)
      ELSE
        ADDRМ = ADDRМ + FRF * R
      END IF
1020 CONTINUE
      END IF
C
C
C   DİLİM HESABININ BAŞLANGICI
      ROVER = 0.0
      RRESIS = 0.0
      XT = XNEG
      DO 500 I=1,NSLICE
        BSLICE = XX(I+1)-XX(I)
        XT = XT+BSLICE/2.
        YTC=FUNYC(XT)
        ANGLE=ATAN((X0-XT)/(YTC-Y0))
        DO 100 L=1,NSECT
          IF(X(L)-XT) 100,100,110
100 CONTINUE
110 YT1=FUNCY(XT,X(L),Y(L,1),X(L-1),Y(L-1,1))
          COUCHE=0.0
          COUCH=0.0
C
C   DİLİMLERİN AĞIRLIKLARININ TAYİNİ
C
      DO 220 J=1,NSTRAT
        WTT=WTOTAL(J-1)
        DIFF=ABS(WTT-DW)
        IF(DIFF.LT.0.0001)WTT=0.0
        YT(J)=FUNCY(XT,X(L),Y(L,J),X(L-1),Y(L-1,J))
        IF(J-1) 220,220,200
200 IF(YT(J)-YTC) 210,210,230
210 COUCHE=COUCHE+BSLICE*WTOTAL(J-1)*(YT(J)-YT(J-1))
          COUCH=COUCH+BSLICE*WTT*(YT(J)-YT(J-1))
220 CONTINUE
230 POIDS=COUCHE+BSLICE*WTOTAL(J-1)*(YTC-YT(J-1))
          POIDD=COUCH+BSLICE*WTT*(YTC-YT(J-1))
          ROVER=ROVER+POIDS*R*SIN(ANGLE)+S1*POIDD*R*COS(ANGLE)-
S2*POIDD*
          1(YTC-YT1)/2.
          IF(LIGNE.EQ.0) GO TO 320
C
C   BOŞLUK BASINCININ DEĞERLENDİRİLMESİ

```


(Ek-1'in devamı)

C

```

IF(LIGNE.EQ.-1) POREF=RU*POIDS
IF(LIGNE.EQ.-1) GO TO 350
DO 300 N=1,LIGNE
PWT(N)=FUNCY(XT,X(L),PW(L,N),X(L-1),PW(L-1,N))
IF(LIGNE.EQ.1.AND.PWT(N).GE.YTC) GO TO 320
IF(LIGNE.EQ.1) GO TO 340
IF(PWT(N).GT.YTC) GO TO 310
300 CONTINUE
310 IF(N.GT.1) GO TO 330
320 POREF=0.0
GO TO 350
330 PINTER=FUNCY(YTC,PWT(N-1),VAPW(N-1),PWT(N),VAPW(N))
POREF=PINTER*BSLICE
GO TO 350
340 SLOPE=ATAN((PW(L-1,N)-PW(L,N))/(X(L-1)-X(L)))
POREF=(YTC-PWT(N))*DW*(1.-(SIN(SLOPE))**2)*BSLICE
350 CONTINUE

```

C

C EŞİTLİKLERİN FORMÜLASYONU

C

```

R1=BSLICE*CU(J-1)
IF(CU(J-1).GE.0.0) GO TO 420
DO 400 N=1,NPTCU
IF(ELV(N).GT.YTC) GO TO 410
400 CONTINUE
410 CUN = FUNCY(YTC,ELV(N-1),VAC(N-1),ELV(N),VAC(N))
R1=BSLICE*CUN
420 CONTINUE
R2=(POIDS-POREF)*TAN(FRICT(J-1))
R2OR =(POIDS*COS(ANGLE)-POREF/COS(ANGLE))*TAN(FRICT(J-1))
IF(R2OR.LT.0.) R2OR=0.
TT(I)=TAN(FRICT(J-1))*TAN(ANGLE)
SEC=1./COS(ANGLE)
RFACT(I)=R*(R1+R2)*SEC
IF(RFACT(I).LT.0.0) RFACT(I)=0.0
RRESIS=RRESIS+(R1/COS(ANGLE)+R2OR)*R
XT = XT+BSLICE/2.
500 CONTINUE
HFISSU=YFOND-YWATER
IF(HFISSU.LT.0.0) HFISSU=0.0
RFISSU=(HFISSU**2*DW/2.)*((HFISSU*2./3.)+(YWATER-Y0))
C NEW
510 FSC=RRESIS/(ROVER+RFISSU)
ADDFSC=ADDRM/(ROVER+RFISSU)
IF(NSPEC.EQ.0.AND.METHOD.EQ.2) FSC=FSC+ADDFSC
IF(NSPEC.EQ.0.AND.METHOD.EQ.2) WRITE(IO,770) NO,TANG(K),R,

```

(Ek-1'in devamı)

```

1 X0,Y0,FSC
  IF(NSPEC.EQ.0.AND.METHOD.EQ.2) RETURN
  IF(ITT.EQ. 1) FOR=FSC
  IF(ITT.EQ. 1) GS =FSC
  IF(ITT.EQ. 1) GO TO 520
  IF(ITT.GT.20) GO TO 610
  DIF=ABS(FSC-GS)
C
C İTERASYONUN KONTROLU
C
  IF(DIF .LE. 0.005) GO TO 540
520 RRESIS=0.
  GS=0.5*(GS+FSC)
  ITT=ITT+1
  INDEX=0
  DO 530 I=1,NSLICE
  DEN=1.+TT(I)/GS
  IF(DEN.LE.0.0) INDEX=I
  IF(DEN.GT.0.0) RRESIS=RRESIS+RFACT(I)/DEN
530 CONTINUE
  GO TO 510
540 CONTINUE
C NEW
  FSC=FSC+ADDFSC
  FOR=FOR+ADDFSC
  IF(INDEX.EQ.0) WRITE(IO,740) NO,TANG(K),R,X0,Y0,FSC,FOR,ADDFSC
  IF(INDEX.GT.0) WRITE(IO,780) NO,TANG(K),R,X0,Y0,FSC,FOR
600 CONTINUE
  IF(Y0.GT.YPOS.OR.Y0.GT.YFOND) FSC=100.0
610 IF(NUM.EQ.1.OR.BTOTAL.EQ.0.0) FSC=100.0
  IF(ITT.GT.20) WRITE(IO,750) NO,TANG(K),R,X0,Y0,FOR,ITT
  IF(NO.GT.100) FSC=-1.0
  IF(NO.GT.100)WRITE(IO,760) NO
C
C FORMAT İFADELERİ
C
700 FORMAT(I5,2F9.1,2F12.1,6X,35HUYGUN OLMAYAN KAYMA DAİRESİ MERKEZİ)
710 FORMAT(I5,2F9.1,2F12.1,6X,35HUYGUN OLMAYAN KAYMA DAİRESİ MERKEZİ)
720 FORMAT(I5,2F9.1,2F12.1,6X,35HUYGUN OLMAYAN KAYMA DAİRESİ MERKEZİ)
730 FORMAT(I5,2F9.1,2F12.1,6X,35HUYGUN OLMAYAN KAYMA DAİRESİ MERKEZİ)
740 FORMAT(I5,2F9.1,2F12.1,F12.3,2F11.3)
750 FORMAT(I5,2F9.1,2F12.1,12X,F11.3,/,54X,35HBISHOP YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜM
  1SAĞLAMADI. ,I4,18HİTERASYON YAPILDI )
760 FORMAT(/,1X,21HARAŞTIRMA DURDURULDU ,I3,14HDAİRE DENENDİ )
770 FORMAT(I5,2F9.1,2F12.1,12X,F11.3)
780 FORMAT(I5,2F9.1,2F12.1,F12.3,F11.3,'TOPUK YANINDA NEGATİF MOMENT')
  RETURN

```

(Ek-1'in devamı)

END

C*****
*

C SUBROUTINE ROOT

C*****

SUBROUTINE ROOT(X2,Y2,X1,Y1,X0,Y0,R,X,NS)

P=(Y1-Y2)/(X1-X2)

A=1.+P*P

B=2.*P*P*X1+2.*X0+2.*Y0*P-2.*P*Y1

C=P*P*X1*X1-2.*P*X1*Y1+Y1*Y1+2.*Y0*P*X1-2.*Y0*Y1+X0*X0+Y0*Y0-R*R

Z=ABS(B*B-4.*A*C+0.0001)

D=SQRT(Z)

IF(NS.GT.0) X=(B+D)/(2.*A)

IF(NS.LT.0) X=(B-D)/(2.*A)

RETURN

END

C*****

C SUBROUTINE SOLN

C*****

SUBROUTINE SOLN(XNEG,XPOS,YNEG,YPOS,YFOND,YWATER,NUM,X0,Y0,R)

C

C KAYMA DAİRESİ GEOMETRİSİNİN HESABI

C

C DIMENSION THETA(100),YTEST(12)

COMMON/GEN/NLEVEL,NSECT,NSTRAT,LIGNE,NPTCU,NSLICE,NO,RU,S1,S2,DW

COMMON/DEPTH/TANG(20),XTOE,YTOE,K,NSPEC,METHOD

COMMON/GEOM/X(20),Y(20,12),YFI(20),YT(12),PW(20,12),PWT(12),S(19)

COMMON/CRACK/YSURF(20)

COMMON/SLICE/XX(100),YY(100),BTOTAL

C

FUNCY(A,X1,Y1,X2,Y2)=((A-X1)/(X2-X1))*(Y2-Y1)+Y1

FUNYC(A) = Y0+SQRT(R*R-X0*X0-A*A+2.*X0*A)

IF(NLEVEL.GT.0) R=TANG(K)-Y0

IF(NLEVEL.EQ.0) R=SQRT((XTOE-X0)**2+(YTOE-Y0)**2)

IF(NLEVEL.EQ.0) TANG(K)=Y0+R

C

C KAYMA DAİRESİNİN ŞEVİ DİLİMLER ARASINDA KESMESİ

C

DO 100 L=1,NSECT

DIST=SQRT((X(L)-X0)**2+(YFI(L)-Y0)**2)

IF(R-DIST) 100,100,300

100 CONTINUE

DO 120 L=1,NSECT

DISTTC = SQRT((X(L)-X0)**2+(Y(L,1)-Y0)**2)

IF(R-DISTTC) 120,120,140

120 CONTINUE

(Ek-1'in devamı)

```

GO TO 200
140 XNEG = X(L)
    YD = SQRT(R**2-(X0-XNEG)**2)
    YNEG = Y(L,1)
    YFOND = Y0+YD
    YWATER = YSURF(L)
GO TO 310
C
C  KAYMA DAİRESİNİN ŞEVİ DİLİM SINIRINDA KESMESİ
C
200 NSECM1 = NSECT-1
    DO 250 L=1,NSECM1
        SS1 = S(L)
        SS1ABS = ABS(SS1)
        IF(SS1ABS.LT..0001) GO TO 210
        SS2 = 1./SS1
        XN = (Y0-Y(L,1)+SS2*X0+SS1*X(L))/(SS1+SS2)
        YN = Y(L,1)+SS1*(XN-X(L))
        P = SQRT((YN-Y0)**2+(XN-X0)**2)
        GO TO 220
210 P=ABS(Y(L,1)-Y0)
    XN = X0
220 IF(P.GE.R) GO TO 250
    IF(XN.GE.X(L).AND.XN.LT.X(L+1)) GO TO 260
250 CONTINUE
    NUM = 1
    RETURN
260 CALL ROOT(X(L+1),YFI(L+1),X(L),YFI(L),X0,Y0,R,XNEG,-1)
    CALL ROOT(X(L+1),Y(L+1,1),X(L),Y(L,1),X0,Y0,R,XPOS,1)
    YFOND= FUNCY(XNEG,X(L+1),YFI(L+1),X(L),YFI(L))
    YNEG = FUNCY(XNEG,X(L+1),Y(L+1,1),X(L),Y(L,1))
    YPOS = FUNCY(XPOS,X(L+1),Y(L+1,1),X(L),Y(L,1))
    YWATER = FUNCY(XNEG,X(L+1),YSURF(L+1),X(L),YSURF(L))
GO TO 400
300 CALL ROOT(X(L),YFI(L),X(L-1),YFI(L-1),X0,Y0,R,XNEG,-1)
    YNEG=FUNCY(XNEG,X(L),Y(L,1),X(L-1),Y(L-1,1))
    YFOND=FUNCY(XNEG,X(L),YFI(L),X(L-1),YFI(L-1))
    YWATER = FUNCY(XNEG,X(L),YSURF(L),X(L-1),YSURF(L-1))
310 DO 320 I=1,20
    L=L+1
    DIST=SQRT((X(L)-X0)**2+(Y(L,1)-Y0)**2)
    IF(DIST-R) 320,340,330
320 CONTINUE
330 CALL ROOT(X(L),Y(L,1),X(L-1),Y(L-1,1),X0,Y0,R,XPOS,1)
    GO TO 350
340 XPOS=X(L)
350 YPOS=FUNCY(XPOS,X(L),Y(L,1),X(L-1),Y(L-1,1))

```

(Ek-1'in devamı)

400 IF(Y0.GT.YPOS.OR.Y0.GT.YFOND) RETURN

BTOTAL = XPOS-XNEG

IF(BTOTAL.EQ.0.0) RETURN

C

C DİLİM SINIR KOORDİNATLARININ HESABI

C

DO 500 L=1,NSECT

IF(XNEG.LE.X(L)) GO TO 502

500 CONTINUE

502 IF(XNEG.EQ.X(L)) LIL=L

IF(XNEG.LT.X(L)) LIL=L-1

DO 505 J=1,NSTRAT

YTEST(J) = FUNCY(XNEG,X(L),Y(L,J),X(L-1),Y(L-1,J))

IF(YFOND.LE.YTEST(J)) GO TO 508

505 CONTINUE

508 IF(YFOND.EQ.YTEST(J)) JIL=J+1

IF(YFOND.LT.YTEST(J)) JIL=J

XX(1) = XNEG

YY(1) = YFOND

THETA(1) = 1.5707963

IF((YY(1)-Y0).GT.0.0000001) THETA(1)=ATAN((X0-XX(1))/(YY(1)-Y0))

ALFA = 1.5707963

CENANG = (THETA(1)+ALFA)/30.

IF((YPOS-Y0).GT.0.0000001) ALFA=ATAN((XPOS-X0)/(YPOS-Y0))

CENANG = (THETA(1)+ALFA)/30.

510 CONTINUE

N = 1

L = LIL

JP = JIL

515 N=N+1

IF(N.GE.100) GO TO 535

NM1=N-1

THETA(N) = THETA(NM1)-CENANG

IF(THETA(N).LT.0.0.AND.THETA(NM1).GT.0.0) THETA(N)=0.0

XX(N) = X0-R*SIN(THETA(N))

IF(XX(N).GT.X(L+1).AND.XX(NM1).LT.X(L+1)) XX(N)=X(L+1)

IF(XX(N).GT.XPOS) XX(N)=XPOS

YY(N) = FUNYC(XX(N))

THETA(N) = -1.5707963

IF((YY(N)-Y0).NE.0.0) THETA(N)=ATAN((X0-XX(N))/(YY(N)-Y0))

IF(XX(N).EQ.XPOS) GO TO 534

C

C KAYMA DAİRESİNİN İLK TABAKA İLE SINIRLANDIRILMASI

C

İÇİN KOORDİNAT DÜZENLEMESİ

C

DO 520 J=1,NSTRAT

YTEST(J) = FUNCY(XX(N),X(L+1),Y(L+1,J),X(L),Y(L,J))

(Ek-1'in devamı)

```
IF(YY(N).LE.YTEST(J)) GO TO 522
520 CONTINUE
522 IF(J-JP) 526,534,524
524 CALL ROOT(X(L+1),Y(L+1,JP),X(L),Y(L,JP),X0,Y0,R,XXN,-1)
    JP = JP+1
    GO TO 528
526 JP = JP-1
    CALL ROOT(X(L+1),Y(L+1,JP),X(L),Y(L,JP),X0,Y0,R,XXN,1)
528 XX(N) = XXN
    YY(N) = FUNYC(XX(N))
    THETA(N) = -1.5707963
    IF((YY(N)-Y0).NE.0.0) THETA(N)=ATAN((X0-XX(N))/(YY(N)-Y0))
534 IF(XX(N).EQ.XX(NM1)) N=N-1
    ABSTA = ABS(THETA(N))
    IF(ABSTA.LT.0.00001) THETA(N)=0.0
    IF(XX(N).EQ.X(L+1)) L=L+1
    IF(XX(N).NE.XPOS) GO TO 515
    GO TO 540
535 CENANG = 2.*CENANG
    GO TO 510
540 NSLICE = N-1
    RETURN
    END
```

8.2. Ek 2

Birinci Sayısal Örneğin, STABGM Bilgisayar Programı ile Güvenlik Sayısı Hesabı.

```
*****
*
*          STABGM Version 9.85 (MS-DOS)
*
*          Donatılı Zeminlerde Stabilite Analizi
*
*          Değiştirilmiş Bishop Metodu
*          ve/veya İsveç Dilim Metodu
*
*****
```

Şevin Stabilite Analizi 1

KONTROL VERİLERİ

MAX. KAYMA DERİNLİĞİ SAYISI.....	0
SINIR TEĞET DERİNLİKLERİNİN SAYISI.....	1
DÜŞEY KESİTLERİN SAYISI.....	6
ZEMİN TABAKA SINIRLARININ SAYISI.....	2
BOŞLUK BASINCI ÇİZGİLERİNİN SAYISI.....	0
KOHEZYON PROFİLİNİ TANIMLAYAN NOKTA SAYISI.....	0
DONATILI TABAKA SAYISI.....	0
SİSMİK KATSAYILAR, S1, S2.....	0.00 0.00
SUYUN BİRİM AĞIRLIĞI.....	1.00

DEĞİŞTİRİLMİŞ BİSHOP METODU İLE İNCELEME

ARAŞTIRILAN MERKEZLER (13.0, 0.0) SON IZGARA GENİŞLİĞİ 1.0

MAX. KAYMA DERİNLİKLERİ, 7.0,

GEOMETRİ

KESİTLER	0.0	6.0	11.0	14.0	18.0	21.0
G. ÇATLAKLARI	1.0	1.0	1.0	4.8	4.8	4.8
ÇATLAKTAKİ SU	1.0	1.0	1.0	4.8	4.8	4.8
SINIR 1	1.0	1.0	1.0	4.8	4.8	4.8
SINIR 2	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0

ZEMİN ÖZELLİKLERİ

TABAKA	KOHEZYON	SÜRTÜNME AÇISI	B. AĞIRLIK
1	1.0	20.0	2.0

(Ek-2'nin devamı)

Şevin Stabilite Analizi 1

SAYI	KAY.DER	Y.ÇAP	MERKEZ _x	MERKEZ _y	GS(BISHOP)	GS(OMS)	dGS(BS)
1	7.0	7.0	13.0	0.0	2.150	1.891	0.000
2	7.0	7.0	11.0	0.0	2.578	2.271	0.000
3	7.0	9.0	13.0	-2.0	2.218	1.999	0.000
4	7.0	7.0	15.0	0.0	2.239	1.937	0.000
5	7.0	5.0	13.0	2.0UYGUN OLMAYAN KAYMA MERKEZİ			
6	7.0	7.0	12.0	0.0	2.292	2.022	0.000
7	7.0	8.0	13.0	-1.0	2.177	1.940	0.000
8	7.0	7.0	14.0	0.0	2.127	1.857	0.000
9	7.0	6.0	13.0	1.0	2.141	1.856	0.000
10	7.0	8.0	14.0	-1.0	2.143	1.898	0.000
11	7.0	7.0	15.0	0.0	2.239	1.937	0.000
12	7.0	6.0	14.0	1.0	2.138	1.837	0.000
13	7.0	8.0	13.0	-1.0	2.177	1.940	0.000
14	7.0	8.0	15.0	-1.0	2.215	1.947	0.000
15	7.0	6.0	15.0	1.0	2.320	1.973	0.000
16	7.0	6.0	13.0	1.0	2.141	1.856	0.000

G.S. MINIMUM= 2.127

DAİRE MERKEZİ 14.0, 0.0

8.3. Ek 3

Birinci Sayısal Örneğin, STABL5 Bilgisayar Programı ile Değiştirilmiş Bishop Metoduna Göre Güvenlik Sayısı Hesabı.

**** PCSTABL5 ****

by
Purdue University
1

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer's Method of Slices

Run Date: 10.12.1996
Time of Run: 10.00
Run By: BANU
Input Data Filename: banu1.dat
Output Filename: banu1.out

PROBLEM DESCRIPTION Sonlu Şevlerin Stabilite Analizi 2

BOUNDARY COORDINATES

3 Top Boundaries
3 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	0.00	26.90	23.79	26.90	1
2	23.79	26.90	33.63	39.37	1
3	33.63	39.37	76.28	39.37	1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

(Ek-3'ün devamı)

1 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	124.9	124.9	204.8	20.0	0.00	0.0	0

Searching Routine Will Be Limited To An Area Defined By 1 Boundaries Of Which The First 1 Boundaries Will Deflect Surfaces Upward

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)
1	0.00	3.28	76.28	3.28

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

75 Trial Surfaces Have Been Generated.

25 Surfaces Initiate From Each Of 3 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between $X = 10.66$ ft. and $X = 23.79$ ft.

Each Surface Terminates Between $X = 33.63$ ft. and $X = 50.04$ ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is $Y = .00$ ft.

3.28 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Restrictions Have Been Imposed Upon The Angle Of Initiation. The Angle Has Been Restricted Between The Angles Of -25.0

(Ek-3'ün devamı)

And .0 deg.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical First.

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 8 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	23.79	26.90
2	27.07	26.84
3	30.28	27.51
4	33.27	28.87
5	35.88	30.85
6	37.98	33.37
7	39.48	36.29
8	40.28	39.37

Circle Center At X = 25.7 ; Y = 41.5 and Radius, 14.8

*** 1.431 ***

Failure Surface Specified By 8 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	23.79	26.90
2	27.05	26.54
3	30.29	27.07
4	33.26	28.45
5	35.76	30.58
6	37.59	33.31
7	38.62	36.42
8	38.76	39.37

(Ek-3'ün devamı)Circle Center At $X = 26.7$; $Y = 38.6$ and Radius, 12.1

*** 1.461 ***

Failure Surface Specified By 9 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	23.79	26.90
2	27.01	26.29
3	30.29	26.45
4	33.44	27.38
5	36.28	29.02
6	38.65	31.28
7	40.43	34.03
8	41.52	37.13
9	41.74	39.37

Circle Center At $X = 28.0$; $Y = 40.1$ and Radius, 13.9

*** 1.586 ***

Failure Surface Specified By 11 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	17.23	26.90
2	20.36	25.94
3	23.62	25.58
4	26.89	25.83
5	30.06	26.69
6	33.01	28.12
7	35.65	30.07
8	37.87	32.48
9	39.61	35.26
10	40.81	38.32
11	41.00	39.37

(Ek-3'ün devamı)

Circle Center At $X = 23.9$; $Y = 43.2$ and Radius, 17.6

*** 1.588 ***

Failure Surface Specified By 11 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	17.23	26.90
2	20.33	25.85
3	23.58	25.41
4	26.86	25.61
5	30.03	26.43
6	32.99	27.86
7	35.61	29.82
8	37.81	32.25
9	39.50	35.07
10	40.61	38.15
11	40.80	39.37

Circle Center At $X = 24.2$; $Y = 42.3$ and Radius, 16.9

*** 1.591 ***

Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	17.23	26.90
2	20.45	26.28
3	23.73	26.23
4	26.97	26.75
5	30.07	27.82
6	32.93	29.42
7	35.48	31.48
8	37.63	33.95
9	39.33	36.77
10	40.33	39.37

(Ek-3'ün devamı)

Circle Center At $X = 22.4$; $Y = 45.1$ and Radius, 18.9

*** 1.598 ***

Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	17.23	26.90
2	20.42	26.14
3	23.69	26.04
4	26.92	26.61
5	29.97	27.83
6	32.71	29.64
7	35.02	31.96
8	36.81	34.71
9	38.01	37.76
10	38.28	39.37

Circle Center At $X = 22.5$; $Y = 42.1$ and Radius, 16.1

*** 1.614 ***

Failure Surface Specified By 11 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	17.23	26.90
2	20.38	26.00
3	23.64	25.63
4	26.91	25.79
5	30.12	26.49
6	33.17	27.70
7	35.98	29.39
8	38.47	31.52
9	40.58	34.03
10	42.26	36.85
11	43.24	39.37

(Ek-3'ün devamı)

Circle Center At X = 24.3 ; Y = 45.6 and Radius, 20.0

*** 1.614 ***

Failure Surface Specified By 12 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	17.23	26.90
2	20.33	25.84
3	23.56	25.28
4	26.84	25.26
5	30.08	25.76
6	33.20	26.78
7	36.12	28.28
8	38.75	30.23
9	41.04	32.58
10	42.92	35.27
11	44.34	38.23
12	44.68	39.37

Circle Center At X = 25.4 ; Y = 45.5 and Radius, 20.3

*** 1.656 ***

Failure Surface Specified By 9 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	23.79	26.90
2	26.95	26.04
3	30.23	26.01
4	33.41	26.82
5	36.28	28.42
6	38.64	30.70
7	40.34	33.50
8	41.26	36.65
9	41.33	39.37

Circle Center At X = 28.7 ; Y = 38.6 and Radius, 12.7

*** 1.657 ***

8.4. Ek 4

Birinci Sayısal Örneğin, STABL5 Bilgisayar Programı ile Basitleştirilmiş Janbu Metoduna Göre Güvenlik Sayısı Hesabı.

**** PCSTABL5 ****

by
Purdue University
1

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer's Method of Slices

Run Date: 10.12.1996
Time of Run: 10.00
Run By: BANU
Input Data Filename: banu2.dat
Output Filename: banu2.out

PROBLEM DESCRIPTION Sonlu Şevlerin Stabilite Analizi 2

BOUNDARY COORDINATES

3 Top Boundaries
3 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	0.00	26.90	23.79	26.90	1
2	23.79	26.90	33.63	39.37	1
3	33.63	39.37	76.28	39.37	1

(Ek-4'ün devamı)

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

1 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	124.9	124.9	204.8	20.0	0.00	0.0	0

Searching Routine Will Be Limited To An Area Defined By 1 Boundaries Of Which The First 1 Boundaries Will Deflect Surfaces Upward

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)
1	0.00	3.28	76.28	3.28

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

75 Trial Surfaces Have Been Generated.

25 Surfaces Initiate From Each Of 3 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between $X = 10.66$ ft. and $X = 23.79$ ft.

Each Surface Terminates Between $X = 33.63$ ft. and $X = 50.04$ ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is $Y = .00$ ft.

3.28 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

(Ek-4'ün devamı)

Restrictions Have Been Imposed Upon The Angle Of Initiation.
The Angle Has Been Restricted Between The Angles Of -25.0
And .0 deg.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial
Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical
First.

*** * Safety Factors Are Calculated By The Modified Janbu Method * ***

Failure Surface Specified By 8 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	23.79	26.90
2	27.07	26.84
3	30.28	27.51
4	33.27	28.87
5	35.88	30.85
6	37.98	33.37
7	39.48	36.29
8	40.28	39.37
***	1.405	***

Failure Surface Specified By 11 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	17.23	26.90
2	20.36	25.94
3	23.62	25.58
4	26.89	25.83
5	30.06	26.69
6	33.01	28.12
7	35.65	30.07
8	37.87	32.48
9	39.61	35.26
10	40.81	38.32
11	41.00	39.37
***	1.502	***

(Ek-4'ün devamı)**Failure Surface Specified By 11 Coordinate Points**

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	17.23	26.90
2	20.33	25.85
3	23.58	25.41
4	26.86	25.61
5	30.03	26.43
6	32.99	27.86
7	35.61	29.82
8	37.81	32.25
9	39.50	35.07
10	40.61	38.15
11	40.80	39.37

*** 1.509 ***

Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	17.23	26.90
2	20.45	26.28
3	23.73	26.23
4	26.97	26.75
5	30.07	27.82
6	32.93	29.42
7	35.48	31.48
8	37.63	33.95
9	39.33	36.77
10	40.33	39.37

*** 1.510 ***

(Ek-4'ün devamı)**Failure Surface Specified By 11 Coordinate Points**

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	17.23	26.90
2	20.38	26.00
3	23.64	25.63
4	26.91	25.79
5	30.12	26.49
6	33.17	27.70
7	35.98	29.39
8	38.47	31.52
9	40.58	34.03
10	42.26	36.85
11	43.24	39.37

*** 1.521 ***

Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	17.23	26.90
2	20.42	26.14
3	23.69	26.04
4	26.92	26.61
5	29.97	27.83
6	32.71	29.64
7	35.02	31.96
8	36.81	34.71
9	38.01	37.76
10	38.28	39.37

*** 1.541 ***

(Ek-4'ün devamı)**Failure Surface Specified By 12 Coordinate Points**

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	17.23	26.90
2	20.33	25.84
3	23.56	25.28
4	26.84	25.26
5	30.08	25.76
6	33.20	26.78
7	36.12	28.28
8	38.75	30.23
9	41.04	32.58
10	42.92	35.27
11	44.34	38.23
12	44.68	39.37

*** 1.555 ***

Failure Surface Specified By 9 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	23.79	26.90
2	27.01	26.29
3	30.29	26.45
4	33.44	27.38
5	36.28	29.02
6	38.65	31.28
7	40.43	34.03
8	41.52	37.13
9	41.74	39.37

*** 1.564 ***

(Ek-4'ün devamı)**Failure Surface Specified By 12 Coordinate Points**

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	17.23	26.90
2	20.21	25.55
3	23.40	24.76
4	26.67	24.55
5	29.93	24.94
6	33.06	25.90
7	35.97	27.41
8	38.57	29.42
9	40.75	31.87
10	42.47	34.66
11	43.65	37.72
12	43.96	39.37

*** 1.571 ***

Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	17.23	26.90
2	20.45	26.32
3	23.73	26.40
4	26.93	27.13
5	29.92	28.49
6	32.57	30.41
7	34.78	32.84
8	36.47	35.65
9	37.55	38.75
10	37.64	39.37

*** 1.580 ***

8.5. Ek 5

Birinci Sayısal Örneğin STABL5 Bilgisayar Programı ile Spencer Metoduna Göre Güvenlik Sayısı Hesabı.

**** PCSTABL5 ****

by
Purdue University
1

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer's Method of Slices

Run Date: 10.12.1996
Time of Run: 10.00
Run By: BANU
Input Data Filename: Banu3.dat
Output Filename: Banu3.out

PROBLEM DESCRIPTION Sonlu Şev Stabilite Analizi

BOUNDARY COORDINATES

3 Top Boundaries
3 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	0.00	26.90	23.79	26.90	1
2	23.79	26.90	33.63	39.37	1
3	33.63	39.37	76.28	39.37	1

(Ek-5'in devamı)
ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

1 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	124.9	124.9	204.8	20.0	0.00	0.0	0

Searching Routine Will Be Limited To An Area Defined By 1 Boundaries Of Which The First 1 Boundaries Will Deflect Surfaces Upward

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)
1	0.00	3.28	76.28	3.28

Trial Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	10.66	26.90
2	13.94	24.26
3	17.22	22.45
4	20.50	21.14
5	23.78	20.48
6	27.07	20.03
7	30.35	20.32
8	33.63	21.01
9	36.91	22.35
10	40.19	24.26
11	43.47	26.98
12	46.75	31.48
13	50.04	39.37

(Ek-5'in devamı)

Spencer's Theta (deg)	FOS (Moment) (Equil.)	FOS (Force) (Equil.)
25.85	1.367	2.717
38.78	0.000	4.443
18.33	1.836	2.339
8.03	2.227	2.013
8.69	2.210	2.030
13.35	2.064	2.163
11.13	2.140	2.097
11.28	2.135	2.101
11.84	2.117	2.117

Factor Of Safety For The Preceding Specified Surface = 2.117
Spencer's Theta = 11.84

Factor Of Safety Is Calculated By Spencer's Method of Slices

*** Line of Thrust ***

Slice No.	X Coord.	Y Coord.	Side L/H	Force (lbs)
1	13.94	25.92	.630	1634.
2	17.22	25.01	.576	3620.
3	20.50	24.45	.574	5587.
4	23.78	24.31	.597	7039.
5	23.79	24.31	.597	7043.
6	27.07	24.19	.377	8640.
7	30.35	24.51	.282	9422.
8	33.63	25.17	.227	9489.
9	36.91	26.43	.240	8263.
10	40.19	28.19	.260	6303.
11	43.47	30.63	.295	3839.
12	46.75	35.61	.523	1016.
13	50.04	38.41	.000	107.

8.6. Ek 6

Birinci Sayısal Örneğin STABL5 Bilgisayar Programı ile Değiştirilmiş Bishop Metoduna Göre Güvenlik Sayısı Hesabı.

**** PCSTABL5 ****

by
Purdue University
1

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer's Method of Slices

Run Date: 10.12.1996
Time of Run: 10.00
Run By: BANU
Input Data Filename: banu4.dat
Output Filename: banu4.out

PROBLEM DESCRIPTION Sonlu Şev Stabilite Analizi

BOUNDARY COORDINATES

3 Top Boundaries
3 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	0.00	26.90	23.79	26.90	1
2	23.79	26.90	33.63	39.37	1
3	33.63	39.37	76.28	39.37	1

(Ek-6'nin devamı)
ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

1 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	124.9	124.9	204.8	20.0	0.00	0.0	0

Searching Routine Will Be Limited To An Area Defined By 1 Boundaries
 Of Which The First 1 Boundaries Will Deflect Surfaces Upward

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)
1	0.00	3.28	76.28	3.28

Trial Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	10.66	26.90
2	13.94	24.26
3	17.22	22.45
4	20.50	21.14
5	23.78	20.48
6	27.07	20.03
7	30.35	20.32
8	33.63	21.01
9	36.91	22.35
10	40.19	24.26
11	43.47	26.98
12	46.75	31.48
13	50.04	39.37

Circle Center At X = 26.6 ; Y = 43.4 and Radius, 23.0

(Ek-6'nin devamı)

Factor Of Safety For The Preceding Specified Surface = 2.125

WARNING - Factor Of Safety Is Calculated By The Modified Bishop Method. This Method Is Valid Only If The Failure Surface Approximates A Circle.



(Ek-7'nin devamı)

ZEMİN ÖZELLİKLERİ

TABAKA	KOHEZYON	SÜRTÜNME AÇISI	B.AĞIRLIK
1	20.0	0.0	19.0
2	35.0	0.0	19.0

Sonlu Şevin Stabilitesi 2

SAYI	KAY.DER	Y.ÇAP	MERKEZ _x	MERKEZ _y	GS(BISHOP)	GS(OMS)	dGS(BS)
1	9.0	9.0	11.3	0.0	1.602	1.602	0.000
2	9.0	9.0	9.3	0.0	1.670	1.670	0.000
3	9.0	11.0	11.3	-2.0	1.537	1.537	0.000
4	9.0	9.0	13.3	0.0	2.174	2.174	0.000
5	9.0	7.0	11.3	2.0	UYGUN OLMAYAN KAYMA MERKEZİ		
6	9.0	11.0	10.3	-2.0	1.887	1.887	0.000
7	9.0	12.0	11.3	-3.0	1.861	1.861	0.000
8	9.0	11.0	12.3	-2.0	1.664	1.664	0.000
9	9.0	10.0	11.3	-1.0	1.558	1.558	0.000
10	9.0	12.0	10.3	-3.0	UYGUN OLMAYAN KAYMA MERKEZİ		
11	9.0	12.0	12.3	-3.0	1.638	1.638	0.000
12	9.0	10.0	12.3	-1.0	1.711	1.711	0.000
13	9.0	10.0	10.3	-1.0	1.552	1.552	0.000

G.S. MINIMUM= 1.537

DAİRE MERKEZİ 11.3, -2.0

8.8. Ek 8

İkinci Sayısal Örneğin STABL5 Bilgisayar Programı ile Değiştirilmiş Bishop Metoduna Göre Güvenlik Sayısı Hesabı.

**** PCSTABL5 ****

by
Purdue University
1

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer's Method of Slices

Run Date: 10.12.1996
Time of Run: 10.00
Run By: BANU
Input Data Filename: soil1.dat
Output Filename: soil1.out

PROBLEM DESCRIPTION Şev Stabilite Analizi 2

BOUNDARY COORDINATES

5 Top Boundaries
6 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	0.00	4.37	8.66	4.37	2
2	8.66	4.37	18.48	14.22	2
3	18.48	14.22	25.04	14.22	2
4	25.04	14.22	38.28	27.34	1
5	38.28	27.34	60.00	27.34	1
6	25.04	14.22	60.00	14.22	2

(Ek-8'in devamı)

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	119.1	119.1	411.1	0.0	0.00	0.0	0
2	119.1	119.1	719.5	0.0	0.00	0.0	0

Searching Routine Will Be Limited To An Area Defined By 1 Boundaries Of Which The First 1 Boundaries Will Deflect Surfaces Upward

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)
1	0.00	0.00	60.00	0.00

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

75 Trial Surfaces Have Been Generated.

25 Surfaces Initiate From Each Of 3 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between $X = 5.00$ ft.
and $X = 8.76$ ft.

Each Surface Terminates Between $X = 38.28$ ft.
and $X = 47.70$ ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is $Y = .00$ ft.

(Ek-8'in devamı)

6.12 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Restrictions Have Been Imposed Upon The Angle Of Initiation.
The Angle Has Been Restricted Between The Angles Of -25.0
And .0 deg.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial
Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical
First.

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.76	4.47
2	14.60	2.63
3	20.69	2.11
4	26.76	2.93
5	32.50	5.06
6	37.63	8.40
7	41.90	12.78
8	45.12	17.98
9	47.12	23.77
10	47.52	27.34

Circle Center At X = 20.0 ; Y = 29.9 and Radius, 27.8

*** 1.629 ***

(Ek-8'in devamı)**Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points**

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	6.88	4.37
2	12.75	2.65
3	18.85	2.16
4	24.93	2.93
5	30.72	4.91
6	35.98	8.04
7	40.49	12.17
8	44.08	17.13
9	46.57	22.72
10	47.58	27.34

Circle Center At X = 18.2 ; Y = 32.0 and Radius, 29.9

*** 1.641 ***

Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.76	4.47
2	14.71	3.02
3	20.82	2.86
4	26.84	3.98
5	32.49	6.33
6	37.52	9.82
7	41.70	14.29
8	44.86	19.53
9	46.85	25.32
10	47.09	27.34

Circle Center At X = 18.6 ; Y = 31.8 and Radius, 29.0

*** 1.642 ***

(Ek-8'in devamı)

Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.76	4.47
2	14.70	2.99
3	20.82	2.80
4	26.84	3.90
5	32.49	6.25
6	37.52	9.73
7	41.71	14.20
8	44.86	19.44
9	46.83	25.24
10	47.07	27.34

Circle Center At X = 18.7 ; Y = 31.6 and Radius, 28.9

*** 1.642 ***

Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.76	4.47
2	14.59	2.62
3	20.69	2.11
4	26.75	2.98
5	32.46	5.18
6	37.54	8.60
7	41.72	13.06
8	44.80	18.35
9	46.63	24.19
10	46.87	27.34

Circle Center At X = 19.9 ; Y = 29.3 and Radius, 27.2

*** 1.647 ***

(Ek-8'in devamı)**Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points**

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.76	4.47
2	14.67	2.88
3	20.78	2.60
4	26.81	3.65
5	32.48	5.97
6	37.50	9.47
7	41.66	13.96
8	44.74	19.24
9	46.62	25.07
10	46.83	27.34

Circle Center At X = 19.0 ; Y = 30.7 and Radius, 28.2

*** 1.647 ***

Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	6.88	4.37
2	12.59	2.17
3	18.65	1.28
4	24.75	1.75
5	30.60	3.55
6	35.91	6.59
7	40.42	10.73
8	43.90	15.76
9	46.20	21.43
10	47.16	27.34

Circle Center At X = 19.6 ; Y = 28.9 and Radius, 27.6

*** 1.649 ***

(Ek-8'in devamı)**Failure Surface Specified By 11 Coordinate Points**

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	5.00	4.37
2	10.70	2.15
3	16.74	1.17
4	22.86	1.45
5	28.78	3.01
6	34.25	5.75
7	39.03	9.57
8	42.92	14.30
9	45.73	19.73
10	47.37	25.63
11	47.47	27.34

Circle Center At X = 18.4 ; Y = 30.5 and Radius, 29.3

*** 1.651 ***

Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.76	4.47
2	14.79	3.42
3	20.91	3.58
4	26.88	4.93
5	32.46	7.43
6	37.45	10.97
7	41.65	15.43
8	44.88	20.62
9	47.04	26.35
10	47.20	27.34

Circle Center At X = 17.1 ; Y = 34.4 and Radius, 31.0

*** 1.651 ***

(Ek-8'in devamı)

Failure Surface Specified By 11 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	5.00	4.37
2	10.70	2.14
3	16.74	1.15
4	22.85	1.44
5	28.77	3.01
6	34.23	5.78
7	38.98	9.62
8	42.83	14.38
9	45.60	19.84
10	47.17	25.76
11	47.24	27.34

Circle Center At X = 18.4 ; Y = 30.2 and Radius, 29.1

*** 1.657 ***

8.9. Ek 9

İkinci Sayısal Örneğin STABL5 Bilgisayar Programı ile Basitleştirilmiş Janbu Metoduna Göre Güvenlik Sayısı Hesabı.

**** PCSTABL5 ****

by
Purdue University
1

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer's Method of Slices

Run Date: 10.12.1996
Time of Run: 10.00
Run By: BANU
Input Data Filename: soil2.dat
Output Filename: soil2.out

PROBLEM DESCRIPTION Şev Stabilite Analizi 2

BOUNDARY COORDINATES

5 Top Boundaries
6 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	0.00	4.37	8.66	4.37	2
2	8.66	4.37	18.48	14.22	2
3	18.48	14.22	25.04	14.22	2
4	25.04	14.22	38.28	27.34	1
5	38.28	27.34	60.00	27.34	1
6	25.04	14.22	60.00	14.22	2

(Ek-9'un devamı)

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	119.1	119.1	411.1	0.0	0.00	0.0	0
2	119.1	119.1	719.5	0.0	0.00	0.0	0

Searching Routine Will Be Limited To An Area Defined By 1 Boundaries
Of Which The First 1 Boundaries Will Deflect Surfaces Upward

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)
1	0.00	0.00	60.00	0.00

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random
Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

75 Trial Surfaces Have Been Generated.

25 Surfaces Initiate From Each Of 3 Points Equally Spaced
Along The Ground Surface Between $X = 5.00$ ft.
and $X = 8.76$ ft.

Each Surface Terminates Between $X = 38.28$ ft.
and $X = 47.70$ ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation
At Which A Surface Extends Is $Y = .00$ ft.

(Ek-9'un devamı)

6.12 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Restrictions Have Been Imposed Upon The Angle Of Initiation.
The Angle Has Been Restricted Between The Angles Of -25.0
And .0 deg.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial
Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical
First.

**** Safety Factors Are Calculated By The Modified Janbu Method ****

Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.76	4.47
2	14.86	3.93
3	20.95	4.46
4	26.86	6.06
5	32.39	8.68
6	37.38	12.22
7	41.67	16.59
8	45.12	21.64
9	47.63	27.22
10	47.66	27.34

***** 1.576 *****

Failure Surface Specified By 9 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.76	4.47
2	14.86	3.94
3	20.95	4.49
4	26.85	6.11
5	32.38	8.75
6	37.34	12.33
7	41.60	16.72
8	45.02	21.80
9	47.46	27.34

***** 1.581 *****

(Ek-9'un devamı)

Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.76	4.47
2	14.83	3.65
3	20.94	3.99
4	26.87	5.47
5	32.43	8.04
6	37.40	11.61
7	41.62	16.05
8	44.92	21.20
9	47.20	26.88
10	47.29	27.34

*** 1.581 ***

Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.76	4.47
2	14.79	3.42
3	20.91	3.58
4	26.88	4.93
5	32.46	7.43
6	37.45	10.97
7	41.65	15.43
8	44.88	20.62
9	47.04	26.35
10	47.20	27.34

*** 1.601 ***

(Ek-9'un devamı)**Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points**

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.76	4.47
2	14.80	3.48
3	20.92	3.69
4	26.87	5.10
5	32.44	7.65
6	37.39	11.24
7	41.54	15.74
8	44.74	20.96
9	46.84	26.70
10	46.94	27.34

*** 1.602 ***

Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	6.88	4.37
2	12.75	2.65
3	18.85	2.16
4	24.93	2.93
5	30.72	4.91
6	35.98	8.04
7	40.49	12.17
8	44.08	17.13
9	46.57	22.72
10	47.58	27.34

*** 1.617 ***

(Ek-9'un devamı)

Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	6.88	4.37
2	12.92	3.37
3	19.04	3.50
4	25.03	4.75
5	30.69	7.07
6	35.83	10.40
7	40.27	14.61
8	43.87	19.56
9	46.49	25.09
10	47.09	27.34

*** 1.619 ***

Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	6.88	4.37
2	12.92	3.38
3	19.04	3.51
4	25.03	4.76
5	30.69	7.10
6	35.82	10.43
7	40.25	14.65
8	43.83	19.61
9	46.44	25.15
10	47.01	27.34

*** 1.622 ***

(Ek-9'un devamı)**Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points**

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	5.00	4.37
2	10.94	2.89
3	17.05	2.56
4	23.11	3.39
5	28.91	5.36
6	34.23	8.38
7	38.88	12.36
8	42.69	17.15
9	45.53	22.57
10	46.96	27.34

*** 1.622 ***

Failure Surface Specified By 10 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	5.00	4.37
2	10.88	2.69
3	16.98	2.19
4	23.06	2.90
5	28.88	4.80
6	34.22	7.80
7	38.86	11.79
8	42.62	16.61
9	45.36	22.09
10	46.80	27.34

*** 1.625 ***

8.10. Ek 10

İkinci Sayısal Örneğin, STABL5 Bilgisayar Programı ile Spencer Metoduna Göre Güvenlik Sayısı Hesabı.

**** PCSTABL5 ****

by
Purdue University
1

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer's Method of Slices

Run Date: 10.12.1996
Time of Run: 10.00
Run By: BANU
Input Data Filename: soil3.dat
Output Filename: soil3.out

PROBLEM DESCRIPTION Şev Stabilite Analizi 2

BOUNDARY COORDINATES

5 Top Boundaries
6 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	0.00	4.37	8.66	4.37	2
2	8.66	4.37	18.48	14.22	2
3	18.48	14.22	25.04	14.22	2
4	25.04	14.22	38.28	27.34	1
5	38.28	27.34	60.00	27.34	1
6	25.04	14.22	60.00	14.22	2

(Ek-10'un devamı)

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	119.1	119.1	411.1	0.0	0.00	0.0	0
2	119.1	119.1	719.5	0.0	0.00	0.0	0

Trial Failure Surface Specified By 8 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.66	4.37
2	14.76	2.88
3	20.86	2.70
4	26.96	3.80
5	33.06	6.42
6	39.16	11.02
7	45.26	19.33
8	47.68	27.34

Spencer's Theta (deg)	FOS (Moment) (Equil.)	FOS (Force) (Equil.)
22.50	1.508	1.697
33.75	1.146	1.820
16.65	1.598	1.648
9.13	1.662	1.594
12.40	1.640	1.616
14.72	1.619	1.633
13.57	1.630	1.625
13.89	1.627	1.627

(Ek-10'un devamı)

Factor Of Safety For The Preceding Specified Surface = 1.627
 Spencer's Theta = 13.89

Factor Of Safety Is Calculated By Spencer's Method of Slices

*** Line of Thrust ***

Slice No.	X Coord.	Y Coord.	Side L/H	Force (lbs)
1	14.76	4.38	.197	3874.
2	18.48	4.65	.14	5712.
3	20.86	4.86	.18	6905.
4	25.04	5.63	.202	7801.
5	26.96	5.99	.178	8196.
6	33.06	7.76	.085	7094.
7	38.28	9.06	-.076	3578.
8	39.16	8.96	-.126	2966.
9	41.51	2.39	-.902	947.
10	45.26	22.90	.446	-2195.
11	47.68	24.64	.000	500.

8.11. Ek 11

İkinci Sayısal Örneğin, STABL5 Bilgisayar Programı ile Değiştirilmiş Bishop Metoduna Göre Güvenlik Sayısı Hesabı.

**** PCSTABL5 ****

by
Purdue University
1

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer's Method of Slices

Run Date: 10.12.1996
Time of Run: 10.00
Run By: BANU
Input Data Filename: soil4.dat
Output Filename: soil4.out

PROBLEM DESCRIPTION Şev Stabilite Analizi 2

BOUNDARY COORDINATES

5 Top Boundaries
6 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	0.00	4.37	8.66	4.37	2
2	8.66	4.37	18.48	14.22	2
3	18.48	14.22	25.04	14.22	2
4	25.04	14.22	38.28	27.34	1
5	38.28	27.34	60.00	27.34	1
6	25.04	14.22	60.00	14.22	2

(Ek-11'in devamı)

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	119.1	119.1	411.1	0.0	0.00	0.0	0
2	119.1	119.1	719.5	0.0	0.00	0.0	0

Trial Failure Surface Specified By 8 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.66	4.37
2	14.76	2.88
3	20.86	2.70
4	26.96	3.80
5	33.06	6.42
6	39.16	11.02
7	45.26	19.33
8	47.68	27.34

Circle Center At X = 18.7 ; Y = 32.1 and Radius, 29.5

Factor Of Safety For The Preceding Specified Surface = 1.627

WARNING - Factor Of Safety Is Calculated By The Modified Bishop Method. This Method Is Valid Only If The Failure Surface Approximates A Circle.

9. ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Trabzon'da doğdu. İlkokulu Trabzon Fatih İlkokulu, ortaokulu Trabzon Cumhuriyet Ortaokulu'nda okuduktan sonra, 1990'da Trabzon Lisesi'ni bitirdi. Aynı yıl girdiği K.T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 1994 yılında mezun olduktan sonra, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen yüksek lisans öğrenimine devam etmekte olup, Fen Bilimleri Enstitüsü kadrosunda Arş. Gör. olarak görev yapmaktadır. Yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.



ÖNSÖZ

Bu tezde, heyelan analizinde kullanılan ve değişik araştırmacılar tarafından önerilen yöntemler, tarihi gelişim içerisinde incelenerek sunulmuştur. Ayrıca, heyelan analizinde kullanılan mevcut bilgisayar programlarından bazıları, sayısal örnekler üzerinde denenerek, kullanıcılar tarafından anlaşılır hale getirilmiştir.

Araştırmada danışmanlığımı üstlenip, konu seçiminde ve çalışmalarımın yürütülmesi sırasında desteğini gördüğüm hocam Doç. Dr. Mustafa AYTEKİN'e teşekkür ederim.

Çalışma süresince destek gördüğüm değerli hocalarıma, tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşlarıma ve son olarak da tez dönemim boyunca maddi ve manevi desteklerini gördüğüm sevgili aileme sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Trabzon , OCAK 1997

S. Banu HALİLOĞLU