

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞEV STABİLİTESİ VE MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI

**Tezi Hazırlayan
Erçin ÖZ**

**Tezi Yöneten
Yrd. Doç. Dr. Hacı Bekir KARA**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Ağustos 2007
KAYSERİ**

Yrd. Doç. Dr. Hacı Bekir KARA danışmanlığında **Ercin ÖZ** tarafından hazırlanan “**Şev Stabilitesi ve Mühendislik Uygulamaları**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

27/ 08/ 2007

JÜRİ:

Başkan : Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR



Üye : Yrd. Doç. Dr. Hacı Bekir KARA



Üye : Yrd. Doç. Dr. Kamil AYDIN



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun ~~31/08/2007~~ tarih ve ~~2007/28-04~~ sayılı kararı ile onaylanmıştır.

~~31. / 08. / 2007~~



Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen başta tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Hacı Bekir KARA'ya, lisans ve yüksek lisans boyunca bana emeği geçen bütün hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması ve hazırlanması süresince her zaman yanımda olan, mesleki bilgisini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, biricik eşim H.Öznur ÖZ'e,

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca, beni yalnız bırakmayan çok sevdiğim saygı değer aileme,

En içten teşekkürlerimi bir borç bilirim.

ŞEV STABİLİTESİ VE MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI

Erçin ÖZ

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2007
Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hacı Bekir KARA**

ÖZET

Bu tez çalışmasında ilk olarak şev stabilitesi ile ilgili tanımlar yapılmış, şev hareket tipleri ve heyelan tipleri ayrıntılı olarak incelenerek anlatılmış, şev kaymasının nedenleri incelenmiştir. Bu tezde şev stabilitesinin analiz yöntemlerinden bahsedilmiş, şev stabilitesinin incelenmesi için arazi ve laboratuvar çalışmaları açıklanmış, kitle hareketleri ve heyelan önleme yöntemleri tanımlanmıştır.

Tez çalışmasının uygulama kısmında Gaziantep Büyükşehir Belediyesi tarafından Gaziantep ili Şahinbey İlçesi Sarısalkım Köyü'nde etüt ve proje çalışmalarına yeni başlanan Sarısalkım toprak dolgu barajının stabilitesinin araştırılması amaçlanmıştır. Çevrede çeşitli arazi ve sondaj çalışmaları yapılarak uygun nakliye mesafeleri ve kullanılacak dolgunun geoteknik özelliklerine göre üç tip zemin çeşidi belirlenmiştir. Tez çalışmasında baraj dolgusundaki stabilitesinin araştırılması amacıyla Stable Vs4 bilgisayar programı kullanılmıştır. Uygulamanın birinci kısmında baraj dolgusu için belirlenen üç tip zemin çeşidi kullanılarak baraj dolgusunda oluşabilecek kayma yüzeyleri ve koordinatları Stable Vs4 programı ile bulunmuş ve bunlara bağlı olarak güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre bulunan kayma yüzeylerinde şevin stabilitesi deprem ve deprem+boşluk suyu basıncı etkisi de göz önünde alınarak araştırılmıştır.

Uygulamanın ikinci kısmında ise baraj dolgusundaki üç tip zemin çeşidinden sadece barajın mansap kısmındaki zeminin karakteristik özellikleri değiştirilerek baraj dolgusunun stabilitesinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla seçilen zeminin dane birim hacim ağırlığı sabit tutulmuş kohezyon, içsel sürtünme açısı, boşluk suyu basıncı değişimlerinin kayma yüzeyleri ve güvenlik sayısına etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şev stabilitesi, Stable Vs4, Heyelan, Sarısalkım barajı

SLOPE STABILITY AND ENGINEERING APPLICATIONS

Erçin ÖZ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Science

M. Sc. Thesis, August 2007

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Hacı Bekir KARA

ABSTRACT

In this dissertation, the descriptions regarding the slope stability has been made first, types of slope movement and types of landslides are next examined in detail and explained, and finally causes of slope failures are investigated. This thesis describes the analysis methods of slope stability, illustrates the field and laboratory studies for analyzing the slope stability, and defines prevention methods for mass movements and landslide.

In the application part of thesis study, it is aimed at investigating the stability of Sarisalkim landfill dam, which is located at the village of Sarisaklim, borough of Sahinbey, Gaziantep. The dam is projected by Gaziantep Büyükşehir Municipality. Three types of soil have been determined according to appropriate transport distances and geotechnical properties of the filling to be used by doing different field tests and test bores at the near of this location. In this thesis, for the purpose of examining the stability at the filling of dam, the Stable Vs4 computer program has been used. In the first part of this study, by using three types of soil determined for dam filling, the possible sliding surfaces and their coordinates have been determined through the Stable Vs4 program and, based on this, safety coefficients have been calculated. The stability of slope determined according to these results has been investigated taking into account the effects of earthquake and earthquake + pore pressure.

In the second part of this study, it has been aimed at the investigation of the stability of dam filling by changing the characteristics of ground at the downstream part of dam. For this purpose, while keeping constant the unit weight of the selected soil, the influences of the variations of cohesion, internal friction angle, and pore pressure on the sliding surfaces and safety coefficients have been inspected.

Keywords: Slope stability, Stable Vs4, Landslide, Sarısalkım dam

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
TEŞEKKÜR	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
KISALTMA VE SİMGELER	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
 1. BÖLÜM	
GİRİŞ	1
 2. BÖLÜM	
ŞEV STABİLİTESİ VE HEYELANLAR	4
2.1. Giriş.....	4
2.2. Şev Stabilitesi İle İlgili Tanımlamalar	5
2.3. Şev Hareket Tipleri Ve Heyelanlar.....	7
2.3.1. Şev Hareket Tipleri	7
2.3.2. Heyelanlar	12
2.3.2.1. Heyelan Tanımı ve Sınıflandırılması.....	13
2.3.2.1.1. Düşme	15
2.3.2.1.2. Kaymalar.....	15
2.3.2.1.3. Akmalar.....	19
2.3.2.1.4. Sünme (Krip) Olayı	20
2.3.2.2. Heyelanların Tanınması ve Tiplerinin Belirlenmesi	20
2.4. Şev Kaymasının Nedenleri	22
2.4.1. Kayma Gerilmelerinin Artmasına Neden Olan Faktörler.....	22
2.4.1.1. Yanal Dayanağın Azalması.....	22
2.4.1.2. Alt Dayanağın Kaldırılması	24

2.4.1.3. Şev Üstü Ağırlık Etkisi	24
2.4.1.4. Yanal Basınçlar	24
2.4.1.5. Geçici Zemin Gerilmeleri	24
2.4.2. Kayma Mukavemetinin Azalmasına Neden Olan Faktörler.....	25
2.4.2.1. Zemin Yapısı	25
2.4.2.2. İklim Koşullarından ve Fiziksel ve Kimyasal Reaksiyonlardan İleri Gelen Değişmeler.....	25
2.4.2.3. Taneler Arası Kuvvetlerin Boşluk Suyu Yüzünden Değişmesi.....	25
2.4.2.4. Zemin Yapısındaki Değişmeler.....	26
2.5. Şev Stabilite Analiz Yöntemleri	26
2.5.1. Limit Denge Yöntemleri.....	26
2.5.1.1. Düzlemsel Kaymalar	27
2.5.1.2. Kama Biçimine Kaymalar.....	28
2.5.1.3. Dairesel Kayma Yüzeyleri.....	28
2.5.1.3.1. İsveç Dilim Yöntemi.....	28
2.5.1.3.2. Basitleştirilmiş Dilim Yöntemi	30
2.5.1.3.3. $\phi = 0$ Kabulü	31
2.5.1.3.4. ϕ Dairesi Yöntemi	33
2.5.1.3.5. Spencer Yöntemi	35
2.5.1.3.6. Janbu Basitleştirilmiş Yöntemi	36
2.5.1.3.7. Janbu Genelleştirilmiş Yöntemi	37
2.5.1.3.8. Lowe ve Karafiath Yöntemi.....	38
2.5.1.3.9. Corps of Engineers Yöntemi.....	38
2.5.1.3.10. Morgenstern – Price Yöntemi	38
2.5.2. Gerilme Dağılışı İle Stabilite Araştırmaları.....	40

2.6. Şevlerin Stabilitelerinin İncelenmesinde Arazi ve Laboratuar Çalışmaları	41
2.6.1. Arazi Çalışmaları.....	42
2.6.1.1. Saha Üzerinde Ön İnceleme.....	43
2.6.1.2. Topoğrafik Çalışmalar	43
2.6.1.3. Jeolojik Araştırmalar	44
2.6.1.4. Jeofizik Çalışmalar	45
2.6.1.5. Zemin Araştırmaları	45
2.6.1.5.1. Çukur Açma	46
2.6.1.5.2. Kaplamalı Kuyu Açmak	46
2.6.1.5.3. Sondaj Yapmak	47
2.6.1.5.4. Zemine Hortum Yerleştirmek	47
2.6.1.6. Yeraltı Suyu	48
2.6.1.7. Arazi Deneyleri ile Gerilme ve Deplasmanların Ölçülmesi	48
2.6.1.7.1. Penetrasyon Deneyi	49
2.6.1.7.2. Kanatlı Kesici Deneyleri (Vane Tests)	49
2.6.1.7.3. Permeabilite Deneyleri	49
2.6.1.7.4. Plaka Yükleme Deneyleri	49
2.6.1.7.5. Yerinde Kesme Deneyi	50
2.6.1.7.6. Presiometre Deneyleri.....	50
2.6.1.7.7. Birim Hacim Ağırlığı Tayini.....	50
2.6.1.7.8. Deneme ve Dolgu Kazıları.....	50
2.6.2. Laboratuar Çalışmaları	51
2.6.2.1. Boşluk Basıncı Katsayıları.....	52
2.6.2.2. Kayma Mukavemeti Parametreleri.....	53
2.7. Heyelan Kontrol ve Önleme Yöntemleri	55
2.7.1. Heyelanlı Bölgeden Uzaklaşma	57

2.7.1.1. Heyelanlı Bölgeden Yeterli Bir Ripaj Yaparak Yolu Uzaklaştırmak.....	57
2.7.1.2. Kırmızı Çizgi Düzenlemesi.....	58
2.7.1.3. Heyelanlı Bölgenin Üstünden Geçme	58
2.7.2. Heyelan Hareket Nedenini Ortadan Kaldırmak	58
2.7.2.1. Drenaj.....	59
2.7.2.1.1. Yüzeysel Drenaj	59
2.7.2.1.2. Yeraltı Drenajı	60
2.7.2.1.2.1. Yatay Drenaj.....	60
2.7.2.1.2.2. Galeriler.....	61
2.7.2.1.2.3. Düşey Drenler.....	61
2.7.2.2. Kazı Yöntemleri	62
2.7.2.2.1. Şev Yükünü Azaltmak	62
2.7.2.2.2. Şevin Yatırılması	62
2.7.2.2.3. Şevde Kademe Oluşturma.....	63
2.7.2.2.4. Kayan Zeminin Kütlesinin Kaldırılması	63
2.7.2.3. Topuğa Yük Koyma (Ağırlık Yapıları)	63
2.7.3. Dayanma Yapıları.....	64
2.7.3.1. Etekte Taş Dolgu	64
2.7.3.2. İstinat ve Kafes Duvarları	64
2.7.3.3. Kazık ve Palplanşlar	65
2.7.4. Diğer Yöntemler.....	65
2.7.4.1. Zemin Kimyasal Stabilizasyonu.....	66
2.7.4.2. Patlayıcı Madde Kullanmak	66
2.7.4.3. Şevlerin Ağaçlandırılması.....	66
2.8. Sonuçlar	67

3. BÖLÜM

STABLE VS 4 ŞEV STABİLİTESİ BİLGİSAYAR PROGRAMI TANITIMI.....	68
---	----

3.1. Giriş.....	68
-----------------	----

3.2. Stable Vs 4 Şev Stabilitesi Bilgisayar Programı Tanıtımı	70
---	----

3.2.1. Grafik Çizimi:	72
-----------------------------	----

3.2.2. Analiz Komutları	73
-------------------------------	----

3.2.3. Problem Limitleri	74
--------------------------------	----

4. BÖLÜM

G.B.B. SARISALKIM BARAJI ŞEV STABİLİTESİNİN STABLE VS 4 BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE ARAŞTIRILMASI	75
--	----

4.1. Giriş.....	75
-----------------	----

4.2. G.B.B. Sarısalkım Barajı Tanıtımı	76
--	----

4.3 G.B.B. Sarısalkım Barajı İle Analiz Bilgileri.....	78
--	----

4.3.1. Baraj Dolgusu Geometrik Özellikler.....	78
--	----

4.3.2. Baraj Ana Kaya Yeri ve Özellikleri	78
---	----

4.3.3. Dolguda Kullanılacak Malzeme ve Geoteknik Özellikleri.....	80
---	----

4.4. G.B.B. Sarısalkım Barajı Stabilite Analizleri.....	81
---	----

4.4.1. Baraj Dolgusunun Stable Vs4 Programı ile Analizi.....	81
--	----

4.5. G.B.B. Sarısalkım Barajı Stabilite Analizleri Genel Değerlendirmesi	85
--	----

4.5.1. İçsel Sürtünme Açısının Artırılması İle Güvenlik Sayısı Değişiminin İncelenmesi.....	86
--	----

4.5.2. Kohezyonun Artırılması İle Güvenlik Sayısı Değişiminin İncelenmesi	87
---	----

4.5.3. Boşluk Suyu Basıncının Artırılması İle Güvenlik Sayısı Değişiminin İncelenmesi.....	89
---	----

4.5.4. Deprem ve Boşluk Suyu Basıncı Etkisi Altında Güvenlik Sayısı Değişiminin İncelenmesi	90
--	----

4.6. Sonuçlar.....	91
--------------------	----

5. BÖLÜM

GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR	94
KAYNAKLAR.....	98
EKLER.....	102
ÖZGEÇMİŞ.....	154

KISALTMA VE SİMGELER

$A, B, \bar{A}$	: Boşluk basınç katsayıları
C_h	: Kumlarda kayma mukavemeti
C	: Kohezyon
c_m	: Birim kohezyon
c'	: Efektif gerilmelere göre kohezyon
C_i	: İç genişleme oranı
C_o	: Dış genişleme oranı
C_a	: Alan oranı
D_e	: Çarık iç çapı
D_s	: Gövde iç çapı
D_w	: Çarık dış çapı
D_t	: Gövde dış çapı
E	: Her bir dilimin kenarındaki normal kuvvet
E_n	: Dilimler arası reaksiyon kuvveti
E_L, E_r	: Her bir dilimin kenarlarındaki yatay normal kuvveti
F	: Stable Vs4 programı için güvenlik sayısı
f_0	: Ampirik düzeltme katsayısı
$f(x)$	: Kayma kütlesi üzerindeki X/E değişiminin fonksiyonu
G_f	: Kuvvet dengesine göre güvenlik sayısı
G_s	: Güvenlik sayısı
G_m	: Moment dengesine göre güvenlik sayısı
G	: Kayma Modülü
G.B.B.	: Gaziantep Büyükşehir Belediyesi
H	: Şev yüksekliği
N	: Her bir dilimin tabanına etkiyen normal kuvvet değeri
P	: Bileşke kuvvet
P_{ho}	: Yanal toplam gerilme

R	: Kayma dairesi yarıçapı
q	: Baraj altında beklenen statik gerilme
q_{em}	: Baraj için emniyetli taşıma gücü
r_u	: Boşluk suyu basıncı
S_r	: Doygunluk derecesi
S_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
T	: Kaydıran kuvvet
T_f	: Kaymaya karşı koyan kuvvet
T_m	: Her bir dilimin tabanında oluşmuş kesme kuvveti değeri
t_r	: Bir dilimin sağ tarafındaki tepkinin doğrultusu ile dilimin tabanı arasındaki düşey uzaklık
u_w	: Suya doymun olmayan zeminlerde boşluklardaki su basıncı
u_a	: Suya doymun olmayan zeminlerde boşluklardaki hava basıncı
ω	: Zemin ağırlığı
ω_d	: Kaydırıcı moment
X_L, X_r	: Her bir dilimin kenarlarındaki düşey kesme kuvveti
X	: Her bir dilimin kenarındaki kesme kuvveti
β	: Şev Açısı, eğim açısı
θ	: Merkez açısı
τ	: Kayma gerilmesi
τ_f	: Kayma mukavemeti
σ	: Normal gerilme değeri
σ'	: Efektif gerilme
$\Delta\sigma_1$ ve $\Delta\sigma_3$	: Asal gerilmelerdeki değişimi
Δ_u	: Boşluk suyu basıncı değişimi
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
ϕ'	: Efektif gerilmelere göre kayma mukavemeti
γ_n	: Zeminin dane birim hacim ağırlığı
γ_d	: Zeminin doymun birim hacim ağırlığı

- α_i : Bir dilimin sağ tarafındaki doğrultusunun yatay ile yaptığı açđ
- λ : Güvenlik sayısının çözümünde kullanılan fonksiyonun şekline bağlı sabit bir sayđ

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Şeve Ait Parametreler	5
Şekil 2.2. Blong'a Göre Şev Hareket Tipleri	7
Şekil 2.3. Derinlik/Uzunluk Oranına Göre Sınıflandırma	8
Şekil 2.4. Killi Zeminlerde Karşılaşılan Kitle Hareketleri	9
Şekil 2.5. Doğada Gözlemlenen Çeşitli Devrilme Türleri	12
Şekil 2.6. Heyelanın Genel Karakteri, Geometri ve Jeolojisi	13
Şekil 2.7. Homojen Zeminde Dairesel Hareket	17
Şekil 2.8. Homojen Olmayan Zeminlerde Şev Kayması	17
Şekil 2.9. Homojen Zeminde Sağlam Zemine Kadar Olan Kayma	17
Şekil 2.10. Homojen Olmayan Zeminde Sağlam Zemine Dayanan Kayma	18
Şekil 2.11. Dolgu Kayması	18
Şekil 2.12. Yamaçtaki Bir Zeminde Sağlam Zemin Üzerindeki Dönel Çökme	18
Şekil 2.13. Culmann Metodu ile Şev Stabilitesinin İncelenmesi	27
Şekil 2.14. Dilim Yöntemi	29
Şekil 2.15. Dairesel Kayma	32
Şekil 2.16. ϕ Dairesi Yöntemi	34
Şekil 2.17. Janbu Basitleştirilmiş Yöntemi İçin Kullanılan Düzeltme Katsayısı	37
Şekil 2.18. Morgnestern-Price Yönteminde Dilimler Arası Kuvvetlerin Yönlerinin Göz Önüne Alındığı Tipik Fonksiyonlar	39
Şekil 2.19. İki Tip Fonksiyon İçin λ Değerinin Değişimine Karşılık G_f ve G_m Değerleri	40
Şekil 2.20. Kaplamalı Kuyu	46
Şekil 4.1. G.B.B. Sarısalkım Barajı Malzeme ve Çubuk Numaraları	81
Şekil 4.2. G.B.B. Sarısalkım Barajı En Kritik 10 Adet Kayma Yüzeyi Koordinatları ..	82
Şekil 4.3. G.B.B. Sarısalkım Barajı Kohezyon Değerlerinin Değiştirilmesi ile Hesaplanan En Kritik 10 Adet Kayma Yüzeyleri Koordinatları	83
Şekil 4.4. G.B.B. Sarısalkım Barajı İçsel Sürtünme Açısı Değiştirilmesi ile Hesaplanan En Kritik 10 Adet Kayma Yüzeyleri Koordinatları	84
Şekil 4.5. G.B.B. Sarısalkım Barajı Dolgu Malzemesinin Boşluk Suyu Basıncının Değiştirilmesi ile Hesaplanan En Kritik 10 Adet Kayma Yüzeyi Koordinatları	84

Şekil 4.6. İçsel Sürtünme Açısının Güvenlik Sayısı ile Değişimi.....	87
Şekil 4.7. Kohezyon Değerinin Güvenlik Sayısı ile Değişimi.....	88
Şekil 4.8. Boşluk Suyu Basıncının Güvenlik Sayısı ile Değişimi.....	90
Şekil 4.9. G.B.B. Sarısalkım Barajı Stabilite Analizinin Sonuçları ($r_u=0.00$).....	92
Şekil 4.10. G.B.B. Sarısalkım Barajı Stabilite Analizinin Sonuçları ($r_u=0.30$)	92

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Doğal afetler olarak adlandırılan deprem, volkan etkileri, su baskını, fırtına, büyük dalgalar ve heyelanlar insan yaşamını yakından ilgilendiren ve dünyanın nüfusu arttıkça önemi artan olaylardır. Bu olayların bir veya birkaçı her gün haberlerde yer almakta, can ve mal güvenliğinin ne denli etkilendiği, bunun sonucu milli servetlerin kaybolduğu açıktır.

Bir tahmine göre doğal afetler yılda Japonya'da 1.5 milyar dolar, A.B.D.'de 2.0 milyar dolara yakın mal kaybına neden olmaktadır. Türkiye'de yer kabuğunun özel bir noktasında olmakla volkanik faaliyetler ve dalgalar dışında, doğal afetlerin tümünden payını almaktadır. Bunlardan heyelanlar, özelliklede insanların neden oldukları, yaşamı doğrudan ve dolaylı olarak ciddi bir biçimde etkilemektedir. Unutulmaması gereken gerçek, deprem ve sel gibi afetler beş hatta on yıl ve fazla aralıklarla etkin olurken heyelanların çok daha sık olarak toplumu etkilemesidir.

Kitle hareketlerinin Türkiye açısından bir başka önemi, ülkede gerçekleştirilen ve gerçekleştirilmesi olası bayındırlık çalışmalarının önemli toprak ve kaya hacimlerinin kazılması ve doldurulmasını gündeme getireceği, bunun sonucu oluşacak olası yamaç hareketleridir. Ülkenin topografyası ve mühendislerin bu konuda genelde göze aldığı risklerin yüksekliği dikkate alındığında bu çalışmalarda kitle hareketlerinin anlaşılması ve kontrolün önemini daha da arttırmaktadır [1].

Şevlerde stabilite incelenirken gerçekçi bir değerlendirme, kapsamlı arazi ve laboratuvar araştırmalarını içeren detaylı bir mühendislik çalışması gerektirir. Böyle bir çalışmanın amacı, en ekonomik ama aynı zamanda en güvenli çözümü bulabilmektir. Bu amaçla

geliştirilmiş tüm analiz yöntemlerinde yapılan bazı varsayımlar ve hesapta kullanılacak zemin parametrelerinin elde edilmesindeki potansiyel belirsizlikler olayı karmaşık hale getirmektedir.

Tüm mühendislik tasarımlarında olduğu gibi şev stabilitesinde de değerleri geçmiş tecrübelerle dayanarak farklı farklı seçilen güvenlik sayıları kullanılmaktadır. Bu güvenlik sayısının değerleri, şevlerde kaymaya yol açan dış kuvvetlere ve bunların zaman içerisinde değişimlerine, şevi oluşturan zemin tabakalarının özelliklerine ve kullanılan hesap yöntemlerine bağlı olmaktadır [2].

Şev stabilitesi konusunda, mühendislere düşen görev doğal şevlerin stabilitelerinin incelenmesi, stabiliteyi artırıcı önlemlerin alınmasının yanı sıra dolgu ve yarma şevlerinin ekonomik ve güvenli projelendirilmesidir.

Heyelanların, tanınması, iyileştirilmesi ve önlenmesi gibi çalışmalar sel ve deprem gibi diğer doğal olası tehlikelere oranla daha iyi bilinmektedir. Buna rağmen, heyelanlardan kaynaklanan hasar ve kayıplar gelişmiş ülkeler de dahil olmak üzere dünya genelinde giderek artmaktadır. Heyelanların doğrudan yol açtığı veya önlenmesi ve iyileştirilmesi ile ilgili yapılan dolaylı çalışmaların dünya ekonomisine getirdiği yükün yılda yaklaşık olarak 50 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir [1].

Konuya ilk eğilen Collin; Fransa'da XVIII. yüzyılda ulaşım amacıyla yapımına hız verilen nehir kanalları yarmalarında oluşan kaymalara sayısal çözüm getirmeye çalışmıştır. Yine hızlı bir endüstrileşme gösteren İsveç'te rıhtım ve demir yollarında aniden beliren stabilite sorunları nedeniyle XX. yüzyıl başında Petterson ve Fellenius tarafından zeminde kayma analizi için yöntem geliştirilmiştir. Günümüzde doğal ve yapay şevlerde şev stabilitesinin sağlanması ve çözüme kavuşturulması için hala çalışmalar yapılmaktadır [2].

Bu tez çalışmasında ilk olarak şev stabilitesi ile ilgili tanımlar yapılmış, şev hareket tipleri ve heyelan tipleri ayrıntılı olarak incelenerek anlatılmış, şev kaymasının nedenleri incelenmiş, şev stabilitesinin analiz yöntemlerinden bahsedilmiş, şev stabilitesinin incelenmesi için arazi ve laboratuvar çalışmaları açıklanmış, kitle hareketleri ve heyelan önleme yöntemleri tanımlanmıştır.

Tez çalışmasının uygulama kısmında; Gaziantep Büyükşehir Belediyesi tarafından Gaziantep ili Şahinbey ilçesi Sarısalkım Köyünde etüt ve proje çalışmalarına yeni başlanan Sarısalkım toprak dolgu barajının stabilitesinin araştırılması amaçlanmıştır. Baraj kesitinin geometrik şekli, kret kotu ve gövde yüksekliği bölgedeki su gereksinimine göre belirlenmiş bulunmaktadır. Memba, mansap ve çekirdek kısmında kullanılacak üç tip dolgu malzemesi için ekonomik taşıma mesafeleri içerisinde araştırmalar sürmektedir. Tez çalışmasında baraj dolgusundaki şev stabilitesinin araştırılması amacıyla Stable Vs4 bilgisayar programı kullanılmıştır.

Uygulamanın birinci kısmında arazi ve sondaj çalışmaları ile baraj dolgusu için belirlenen üç tip zemin çeşidi kullanılarak baraj dolgusunda oluşabilecek potansiyel kayma yüzeyleri ve koordinatları Stable Vs4 programı ile bulunmuş ve bunlara bağlı olarak güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre bulunan kayma yüzeylerinde şev stabilitesine; deprem etkisi ve deprem + boşluk suyu basıncı etkisi araştırılmıştır.

Uygulamanın ikinci kısmında ise baraj dolgusundaki üç tip zemin çeşidinden sadece barajın mansap kısmındaki zeminin karakteristik özellikleri değiştirilerek baraj dolgusunun stabilitesinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla; kohezyon, içsel sürtünme açısı, boşluk suyu basıncı değişimlerinin kayma yüzeyleri ve güvenlik sayısına etkisi incelenmiştir.

Sonuç olarak; bu çalışma kapsamında inşaat mühendislerinin karşısına çıkan her türlü doğal dengenin bozulması ve yeni denge durumlarının oluşturulmasını içeren stabilite problemleri ile ilgili konular incelenmiş, analiz yöntemleri için geliştirilmiş olan Stable Vs4 bilgisayar programı tanıtılmış ve güncel bir projede kullanımı tez kapsamında sunulmuştur.

2. BÖLÜM

ŞEV STABİLİTESİ VE HEYELANLAR

2.1. Giriş

Mühendislik yönünden şev stabilitesi ile ilgili problemlerle; doğal şevlerin kayma mekanizmalarının incelenmesi, çeşitli mühendislik yapılarındaki yapay dolgu ve yarma şevlerinin projelendirilmesi, stabilitesi bozulmuş şevlerde hasarın giderilmesi, gerekli önlemlerin alınması gibi konularda karşılaşılır.

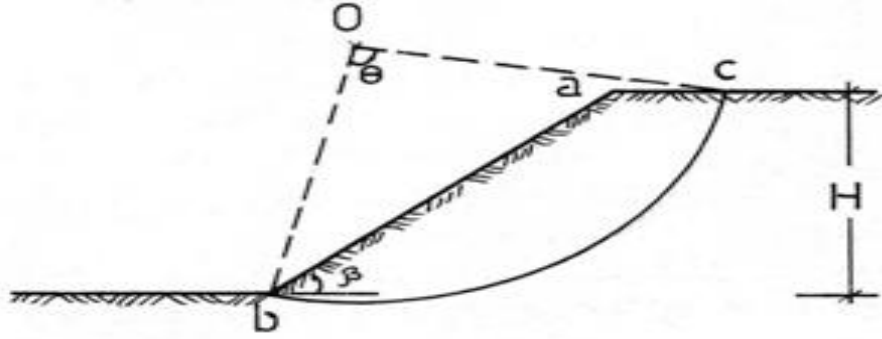
Zemin mekaniği literatüründe, şev kaymaları ile heyelan terimlerini aynı anlamda kullananlar olduğu gibi ayrı isimlendirenlerde vardır. Skempton (1969) ve Hutchinson, zemin ve kaya kütlelerinde kesme mukavemetinin bir veya birkaç yüzey boyunca azalmasından doğan tüm şev hareketlerini heyelanlar olarak nitelendirmişlerdir [6]. Varnes ise heyelanları kaymalarla sınırlayarak, şev hareketleri ile aynı anlamda kullanmıştır [9]. Bazı Japon araştırmacılar ise ayrımı, yatık şevlerdeki yavaş hareketleri heyelan, nispeten dik şevlerdeki hızlı hareketleri şev kaymaları diye adlandırarak yapmışlardır [8]. Türkiye’de yaygın olan doğal şevler için genellikle “heyelan”, yapay şevler için ise hareketin cinsine bağlı olarak “kayma, göçme, akma” terimlerinin kullanılmasıdır.

Bu bölümde ilk olarak konu ile ilgili tanımlar yapılmış, şev ve heyelan hareket tipleri açıklanmış, şev hareketlerinin nedenleri incelenmiş, şev stabilitesinin analiz yöntemlerinden bahsedilmiştir. Şev stabilitesinin incelenmesi için yapılan arazi ve laboratuvar çalışmalarına yer verilmiş son kısımda kitle hareketleri ve heyelan önleme yöntemleri anlatılmıştır.

2.2. Şev Stabilitesi İle İlgili Tanımlamalar

Şev stabilitesi problemi uzun yıllar boyunca zemin ile uğraşan mühendisleri çok yakından ilgilendirmiştir. Bu ilginin nedeni şev stabilite bozukluklarının; depremler, volkan etkileri, su baskını, fırtına vb. doğal afetlere benzer olarak ciddi can ve mal kaybına yol açabilmesidir.

Şev için genel anlamda bir tanım yapmak gerekirse bu tanım “doğal veya yapay oluşturulmuş bir zemin kitlesini sınırlayan eğik yüzey “ olarak verilebilir. Eğik yüzey bir düzlem olabileceği gibi birbirlerini takip eden düzlemlerden de oluşabilir. Bir şevin analiz edilmesi sırasında şeve ait bilinmesi parametreler Şekil 2.1.’de gösterilmiştir [3].



Şekil 2.1. Şeve Ait Parametreler [3].

Burada;

H.....Şev yüksekliği

β Şev Açısı, Eğim Açısı

θ Merkez Açısı

ab.....Şev Yüzeyi

bc.....Kayma Yüzeyi

ac.....Şev Tepesi

b.....Şev Topuğu

göstermektedir. Bunlarla ilgili tanımlamalar aşağıda verilmiştir.

Şev Açısı : Bir şevin yatayla yaptığı açıya ‘Şev Açısı’ veya ‘Eğim Açısı’ denilir.

Kritik Şev Açısı : Belirli bir yükseklikteki şevde stabilite bozulmadan verilebilecek maksimum yüksekliktir.

Kritik Şev Yüksekliği : Bir şeve, çekme gerilmeleri etkisi altında bulunan kısmında çatlaklar oluşmadan verilebilecek maksimum yüksekliktir.

Şev Yüksekliği : Şev tabanı ile üst yüzeyi arasındaki düşey uzaklıktır.

Şev Topuğu : Şevin yüzeyi ile şev tabanının kesim noktasına ‘Şev Topuğu’ denilir.

Şev Stabilitesi : Şev düzlemi altında ve arkasında bulunan toprak kütesinin, kayma, yıkılma veya göçme tehlikelerinin varlığının araştırılmasına ‘Şev Stabilitesi’ incelemesi denilir.

Şev Kayması : Kritik şev açısı veya kritik şev yüksekliği değerlerinin aşılması ile şev stabilitesi bozulur. Bunun sonucu şev altındaki ve arkasındaki toprak kütlesi aşağı ve dışa doğru yer değiştirir. Bu hareket ‘Şev Kayması’ olarak adlandırılır.

Şevler ile sınırlanmış zemin kitleleri içindeki düzlemler esas olarak, kendi ağırlıkları ve diğer ilave kuvvetlerden doğan kayma gerilmeleri sebebiyle aşağıya doğru harekete zorlanırlar. Bu kuvvetler zemin kütesinde kayma gerilmeleri (τ) doğurur. Herhangi bir noktadan geçen herhangi bir düzlemdeki kayma gerilmesi, aynı düzlemde doğan kayma mukavemetinden (τ_f) küçükse şevin o düzlem üzerinde stabilitesi vardır. Aksi durumda şev kayar. Bu durumun araştırılması şev stabilite analizi olarak tanımlanır ve amaçları aşağıda özetlenmiştir.

- Doğal veya yapay oluşturulmuş şevlerde kayma olasılığını bulmak
- Farklı tipteki şevlerin, farklı şartlar altındaki stabilitelerini araştırmak
- Hali hazırda oluşmuş bulunan kayma ve heyelanları analiz etmek, çevre faktörlerinin etkisi ve göçme mekanizmasını anlamada yardımcı olmak
- Göçmüş şevlerin yeniden tasarımı ve gerekli olduğunda önleyici çözümlerin planlamasını ve tasarımını yapmak
- Barajların hızlı dolma ve boşalma ve deprem gibi dış yüklemelerin şev dolgularına etkisini bulmak

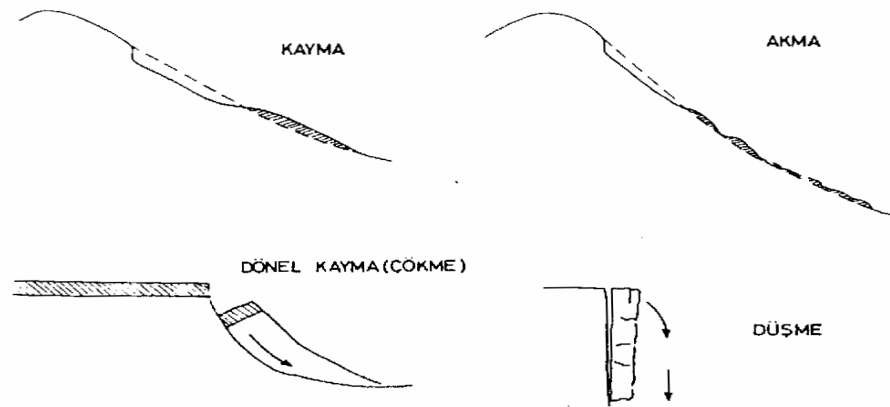
2.3. Şev Hareket Tipleri ve Heyelanlar

2.3.1. Şev Hareket Tipleri

Bugüne kadar şev hareketleri değişik ölçütler kullanılarak değişik şekillerde sınıflandırılmıştır. Bu konudaki çalışmalar bakıldığında Sharpe (1938), Terzaghi (1950), Skempton (1969), Baker (1958), Zaruba-Mencel (1969), Eckel (1958) ve Varnes (1978) tarafından yapılan sınıflandırmalar en çok kullanılanlardır. Bu sınıflandırmalarda kullanılan parametrelerin en önemlileri aşağıda verilmiş olup bu bölümde literatürden alınan sınıflandırma sistemleri anlatılmıştır.

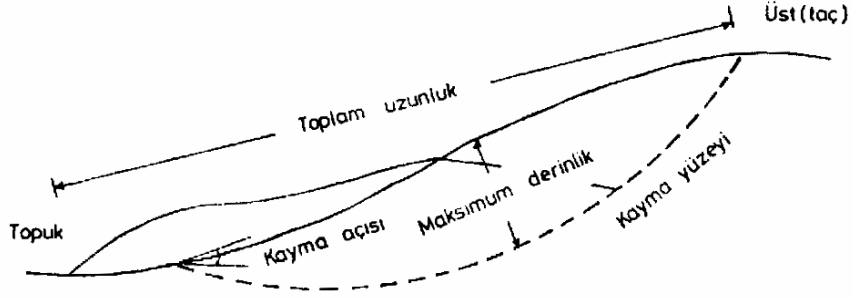
- Hareketin tipi, boyutu, nedenleri ve hızı
- Hareket eden kütledeki malzemelerin türü, dizisi ve yaşı
- Hareket eden kütle ile alttaki kütleler arasındaki bağlantı
- Zeminlerdeki su muhtevası
- Kayma mukavemeti parametreleri (Kohezyon ve İçsel Sürtünme Açısı)

Oldukça basit ve kullanışlı sınıflandırma Blong tarafından önerilmiştir [4]. Buna göre şev hareketleri Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi kaymalar, dönel kaymalar ve çökmeler, akmalar, düşmeler olmak üzere dört gruba ayrılabilir. Bu dört kategorili ayrımın basit olmasının yanı sıra birçok mühendislik uygulamaları için yeterli olduğu söylenebilir [5].



Şekil 2.2. Blong'a Göre Şev Hareket Tipleri [4].

Skempton tarafından tanımlanan D/L (derinlik/uzunluk) oranına göre sınıflandırma yapılabilir [6].



Şekil 2.3. Derinlik/Uzunluk Oranına Göre Sınıflandırma [6].

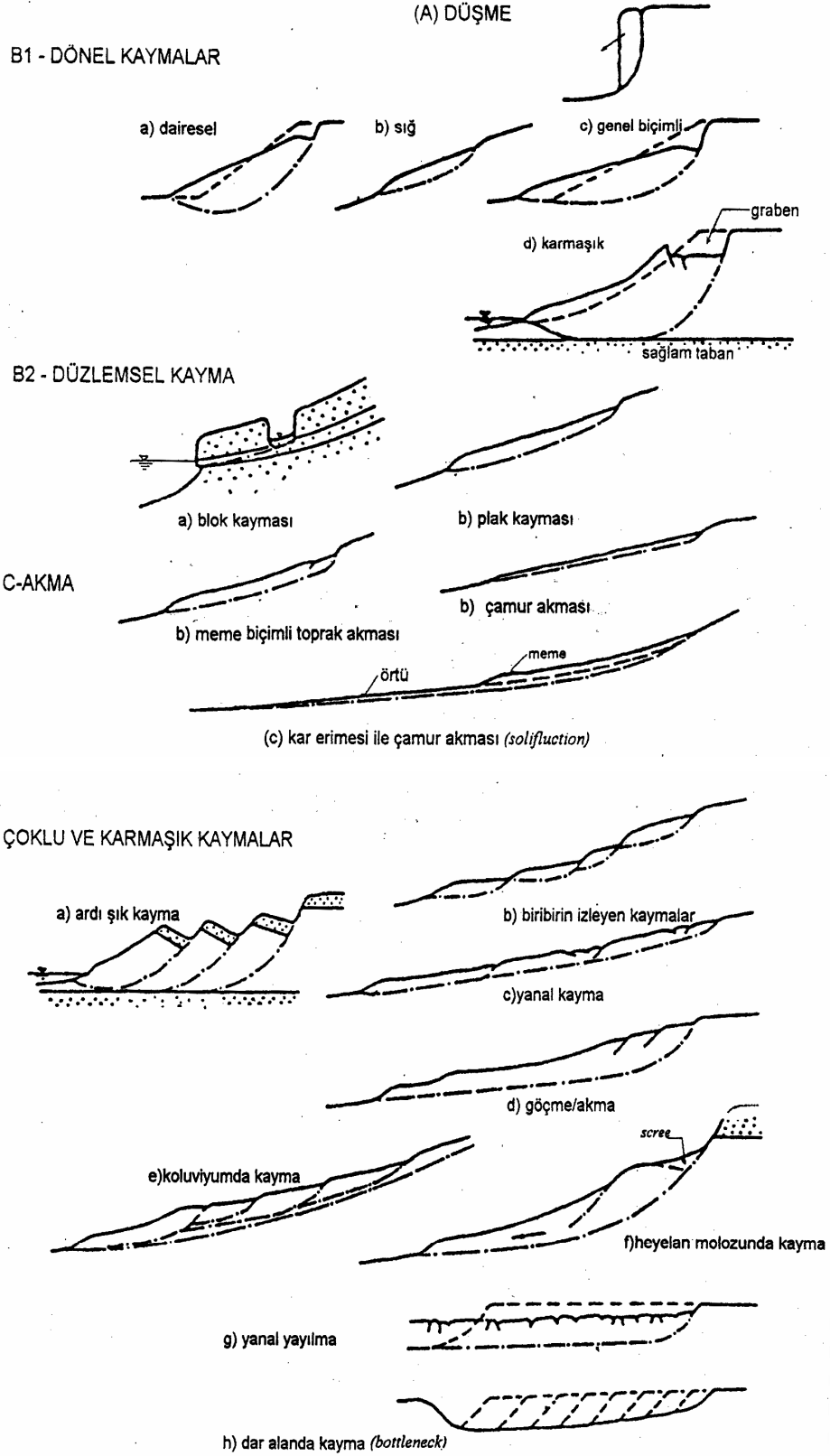
Şekil 2.3.' de görüldüğü gibi D kaymanın maksimum derinliği ve L maksimum uzunluğu temsil etmektedir. D/L oranına göre sınıflandırma tablodaki gibidir.

Tablo 2.1. Farklı Hareket Tiplerine Göre D/L Oranları [6]

Hareket Tipi	D/L (%)
Kaymalar	5.0-10
Akmalar	0.5-3.0
Çökmeler	15-30

Hutchinson daha sonra vadi yükselmesinden çamur akmasına değişen sekiz gruplu çok daha geniş bir ayırıma gitmişse de fazla rağbet bulamamıştır [6]. Bu ilginç yaklaşım genel bir fikir verme açısından Şekil 2.4.'de killi zeminlerde karşılaşılan kitle hareketleri gösterilmektedir.

Sınıflandırmanın bir diğer yolu da kayma hızlarını incelemektir [9]. Varnes (1978) yavaş sayılabilecek (6mm/yıl) hareketten, çok hızlı sayılabilecek (3m/sn) harekete kadar bir aralıkta şevleri inceleyerek hareket tiplerini sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırmanın üst limitini kaya düşmesi ve hareket ve hareket mesafesi büyük akma-kaymalar, alt limitini ise ana kayada sünme oluşturur.



Şekil 2.4. Killi Zeminlerde Karşılaşılan Kitle Hareketleri [6].

Varnes tarafından geliştirilerek yapılan sınıflandırma Tablo 2.2. de verilmiştir. Burada, yalnız yamaçlarda ve şevlerde görülen hareketler değil, yeryüzünde görülen çok yavaş kitle hareketleri ile beraber düşey kitle hareketleri de gösterilmiştir [9].

Tablo 2.2. Şev Hareketlerinin Genel Sınıflandırması ve Türleri [10]

Hareket Türü		Hareketin Olduğu Malzeme Türü	
		Kaya, blok, iri Çakıl	Kum, silt, kil
Düşme		Kaya, blok düşmesi	Toprak dökülmesi
Akma	Hızlı	Kaya-blok akması	Kum-kil akması
	Yavaş	Yamaç molozu akması	Çamur-kum akması
Heyelan		Rotasyonel	Eğrisel kayma yüzeyli zemin hareketi
		Translasyonel	
Kayma		Blok kayması	Yanal genişliyerek kayma
		Kama kayması	
Devrilme		Kaya devrilmesi	Gevşek çimentolu moloz devrilmesi
Karmaşık		Hareket ve malzeme türü karışık	
Çökme		Belirli kayma yüzeyi olmayan kitle hareketi	

Düşme, dik bir yamaçta kitlenin kopması sonucunda, yüzey bölgelerindeki formasyonun ve çatlakların neden olduğu küçük bir kesme hareketinden dolayı yerçekimi etkisiyle meydana gelir. Özellikle deniz kenarındaki dik falezlerde dalga ve rüzgarın aşındırması ile kayalar çatlaklarından ayrılarak aşağı doğru yuvarlanırlar. Düşen malzemenin türüne göre olaya kaya düşmesi, blok düşmesi ya da toprak düşmesi adı verilir. Kaya düşmeleri genellikle topuk oyulmaları, donma çözülmeleri, kimyasal ayrışma ve hidrostatik basınç nedeniyle oluşur. Burada hareket düşeydir ve oldukça hızlıdır. Bu olaylar çoğunlukla yerleşim bölgelerinin dışında olduğundan fark edilmez. Fakat devamlı gözlemlerle, bir miktar arazinin her yıl oradan kaybolduğu anlaşılır.

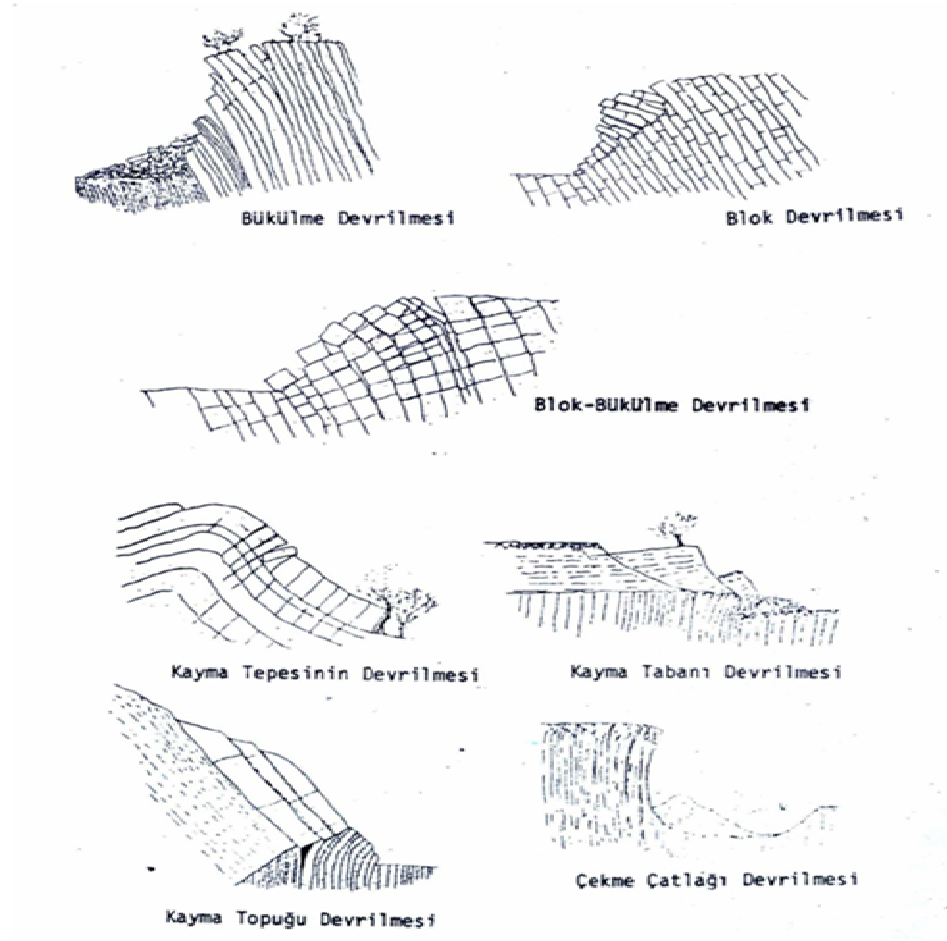
Akma belirgin bir kayma yüzeyi tanımlanamayan, zeminin çok farklı deformasyon özellikleri gösterdiği ve kütle kaymasından çok dairesel bir hareketin hakim olduğu zemin hareketleridir. Akmalarda yer değiştiren kütle içerisindeki hareket malzemenin aldığı şekil ve hız dağılımı yüksek viskoziteli sıvılardaki harekete benzerdir. Hareket eden kütle içindeki kayma yüzeyleri çoğunlukla görülmez veya çok kısa ömürlü olur. Bu konuda önemli çalışmalardan biri olan Varnes (1978) çalışmalarında akmaları aşağıdaki gruplara ayırmıştır.

- a. Kaya parçaları akmaları
- b. Kum akması
- c. Lös Akması
- d. Kum ve silt akışı
- e. Yavaş toprak akması
- f. Hızlı toprak akması
- g. Moloz çığı
- h. Moloz akışı

Kaymalar bir veya birkaç yüzey boyunca kayma gerilmesinin, kayma mukavemetini aştığı durumlarda oluşur ve esas olarak etkilenen yüzeye paralel olarak gelişir. Kayma bir düzende olursa kayan kütlede deformasyon genellikle büyük değer almamakta, yüzey eğri olursa şekil değiştirmeler daha büyük olmaktadır [4].

Dönel kaymalar ve çökmelerde, hareket sadece iç kayma yüzeyleri boyunca oluşur. Meydana gelen çatlaklar hareket yönünde ortak merkezli iç bükey yüzeylerdir [10]. Kayma yüzeyleri genellikle kaşık şekline ve silindir dilimine benzerler. Dönel kaymalarda dairesel kayma kabulü, gerçek durumu tam olarak yansıtmamasına rağmen, hesaplarda kolaylık sağladığından çok sık başvurulan bir yoldur.

Doğada yapılan gözlemlere göre çeşitli devrilme türleri saptanmıştır. Bunların en belirgin ve en çok rastlanılanları Şekil 2.5.'de verilmiştir. Devrilme türü şev bozulmalarının duraylılığı için belirgin bir sayısal analiz yöntemi bulunmamasına karşın model çalışmalar sonucunda, şev topuğunda ağırlık yapılarının yapılması ya da topuktaki blokların ankrajlarla ana kayaya bağlanması, alınabilecek en etkili önlemler olarak belirtilebilir.



Şekil 2.5. Doğada Gözlemlenen Çeşitli Devrilme Türleri [8].

2.3.2. Heyelanlar

Heyelanlar güncelliğini her zaman koruyan, insan yaşamını yakından ilgilendiren ve dünyanın nüfusu arttıkça önemi artan doğal olaylardır. Heyelanların insan hayatına ve mühendislik yapılarına vermiş olduğu zararlar, mühendisleri bu sorunu araştırmaya yönlendirmiştir.

Türkiye kitle hareketleri açısından çok aktif bir ülkedir. 1929 Seylabı olarak adlandırılan en büyük olayda Of ve Sürmene’de 150 kişinin öldüğü heyelanlar kayıta bulunan en büyük kitle harekedir. 1985 yılında Zonguldak, Sinop ve Kastamonu illerinde hala tam açıklanmamış yüzlerce heyelan olmuş ve bunun sonucunda 250 yerleşim bölgesi etkilenmiş, 1680 konut hasar görmüştür. 1980 yılında Kayseri’de

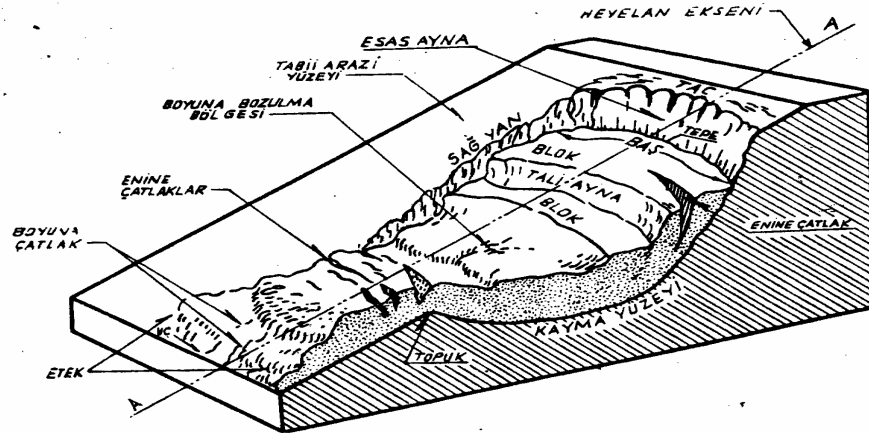
Ayvazhacı heyelanında 40 kişi ölmüş, 93 ailenin de taşınması gerekmiştir. 1995 Senirkent ilçesinde aşırı yağışla oluşan çamur-moloz akması 74 kişinin ölümüne 260 binanın hasar görmesine neden olmuştur.

Dünyada heyelanlara baktığımızda en büyük heyelanın Amerika'da Atlantik ve Pasifik okyanusları arasında Panama kanalı yapımı sırasında oluştuğunu ve 12000 kişinin öldüğünü görebiliriz. Peru ve Şili'de heyelanlar sonucu son 25 yıl içinde yüz bine yakın insan hayatını kaybetmiştir. Heyelanlardan etkilenen diğer bir ülkede Çin'dir. Ülkede en büyük kayıp 1983 yılında olmuş ve 35 milyon m³ heyelan dört köyü kaplamış ve 237 kişinin ölümüne neden olmuştur.

Yukarıdaki rakamlar heyelanların insan hayatını ne kadar olumsuz etkilediğinin bir kanıtıdır. Heyelan sorunu karşısında mühendislere düşen görev heyelan nedenlerinin araştırılmasının yanı sıra, zararlı etkilerden korunmayı sağlamak, uygun ve ekonomik çözümlerle bu sorunu önlemeyi sağlamak olacaktır [10].

2.3.2.1. Heyelan Tanımı ve Sınıflandırılması

Doğal kaya, her çeşit zemin ve dolgu malzemesi ve bunların çeşitli birleşimlerinden oluşan şevli malzemenin aşağıya ve dışa doğru hareketi heyelan olarak tanımlanır. Bir heyelanın genel karakteri, geometrisi ve jeolojisinin ayrıntılı tanımı için Şekil 2.6. da gösterilen terimler kullanılır [3].



Şekil 2.6. Heyelanın Genel Karakteri, Geometri ve Jeolojisi [3].

- (1) **Heyelan Tacı:** Ana kayanın (2) en yüksek bölümüne en yakın ve hareket etmemiş malzemenin bulunduğu yere ‘heyelen tacı’ denilmektedir.
- (2) **Esas Ayna:** Heyelanın üst ucunda, heyelandan etkilenmemiş bölgeden hareket eden kitlenin (13) ayrılmasıyla oluşan düşey veya düşeye yakın yüzeydir
- (3) **Heyelanın Tepesi:** Esas ayna (2) ile heyelan kitlesi (13) arasındaki en yüksek noktadır.
- (4) **Heyelanın Üstü:** Hareket etmemiş kitle (20) ile esas ayna (2) arasında oluşan bölgenin üst kısımlardır.
- (5) **Tali Ayna:** Yer değiştiren kitle içinde farklı hareketlerden oluşmuş, düşey veya düşeye yakın bir yüzeydir.
- (6) **Heyelanın Gövdesi:** Kayma yüzeyi (10) üzerinde esas ayna (2) ile kayma yüzeyinin burnu arasında kalan kitleye ‘heyelan gövdesi’ denilir.
- (7) **Heyelanın Eteği:** Heyelan topuğunun (11) ilerisine hareket ederek doğal arazi (20) üzerine oturmuş bölümüdür.
- (8) **Heyelan Ucu:** Heyelan tepesinden (3), topuğuna (9) çizilen doğrunun en uzak noktasıdır.
- (9) **Topuk:** Hareket eden kitlenin genellikle eğrisel olan alt kenarına ‘topuk’ denilir.Esas aynadan (2) en uzak olan bölümdür.
- (10) **Kayma-Kopma Yüzeyi:** Heyelan eden ve etmiş kitlenin (13) alt sınırını oluşturan ve doğal zemin yüzeyinin üstünde kalan yüzeydir.
- (11) **Kayma Yüzeyinin Burnu:** Bir heyelanın kayma yüzeyinin alt bölümü (10) ile doğal arazi yüzeyinin kesişme noktasıdır.
- (12) **Ayrılma Yüzeyi:** Doğal arazi yüzeyinin (20) heyelanın eteği (7) altında kalan bölümüne denir.
- (13) **Heyelan Kitlesi:** Yamaç ve şevde hareket sonucu doğal yerinden ayrılmış, kayıp (17) veya kabarma (18) kitlelerini içeren birikimdir.
- (14) **Kayıp Bölgesi:** Heyelan kitlesinin duraysızlık öncesi doğal arazi profili altında kalmış olan alanıdır.
- (15) **Birikim Bölgesi:** Heyelan kitlesinin doğal arazi profili üstünde kalan bölümüdür.
- (16) **Çöküntü:** Esas ayna (2), çöküntü kitlesi (17) ve doğal arazi yüzeyi (20) arasında kalan heyelanın hacmidir.
- (17) **Çöküntü Kitlesi:** Kayma yüzeyi üzerinde, ancak başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi seviyesi altında kalan heyelan hacmidir.

(18) Birikim: Hareket eden kitlenin (13) doğal arazi yüzeyi (20) üzerine çıkan hacmidir.

(19) Kanatlar: Kayma yüzeyinin (10) yanlarında kalan, hareket etmemiş malzemedir.

(20) Doğal Arazi Yüzeyi: Kitle hareketi oluşmadan önce arazinin doğal veya ilk yüzeyine verilen addır.

Varnes (1978) yapmış olduğu sınıflandırmada heyelan tiplerinin oluşum nedenlerine bakılmaksızın, hareket tiplerini ve malzemenin cinsini gözönüne alarak bir sınıflandırma yapmıştır. Hareket tipleri düşmeler, kaymalar, akmalar, olmak üzere üç ana gruba ayırmıştır.

2.3.2.1.1. Düşme

Düşmeler en çok görülen hareket türüdür. Düşen kütle serbest düşme, sıçrama, sekme, ya da yuvarlanma hareketlerini yapar. Hareket eden kütlelerin birbirlerine etkileri yok denecek kadar az, hızları ise fazladır. Düşme hareketinin başlıca nedenleri çeşitli hava etkileri, çatlaklı kayalarda don etkisi, hidrostatik basınç ile blokların ayrılması, dinamitleme, vibrasyon etkisi ile askıda kalmış veya yerinden oynamış kayalar, dalgaların ve nehirlerin yarıları oyması sayılabilir.

2.3.2.1.2. Kaymalar

Kaymalarda hareket, bir ya da birkaç yüzey boyunca kesme mukavemetinin azalmasından doğar. Kaymalar düzlem veya dairesel özellikli kayma göçmeleridir. Düzlem kaymalar genellikle bir süreksizlik ve zayıflık düzlemleri boyunca meydana gelir. Dairesel kaymalar ise hem zemin hem de kaya ortamlarda, konkavlığı olan göçme yüzeyleri boyunca oluşurlar. Kaymalar, hareketlerin mekanik özelliklerine göre iki alt gruba ayrılabilir.

a. Hareket Halindeki Kütlede Deformasyon Olmayan Kaymalar

(Dönel Kaymalar, Blok Kaymaları)

b. Hareket Halindeki Kütlede Deformasyon Olan Kaymalar

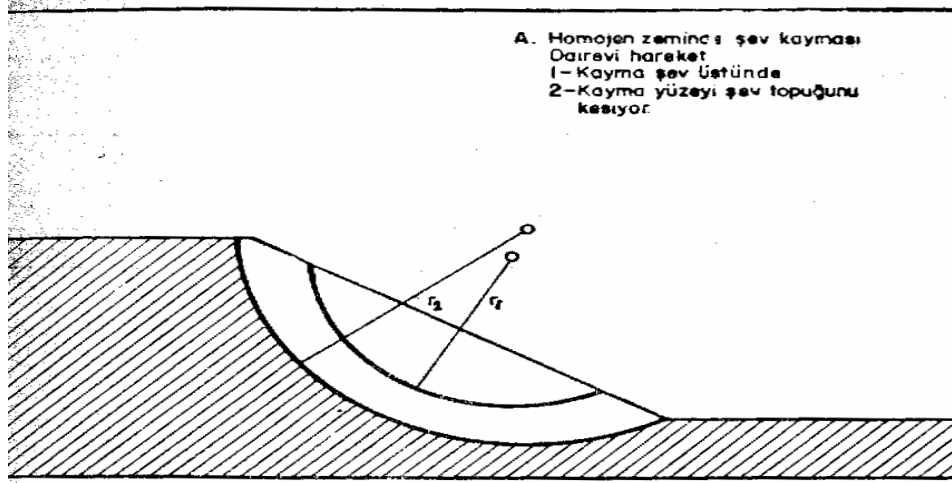
(Kaya ve Döküntü Kaymaları, Yanal Yayılma İle Oluşan Kaymalar)

a. Hareket Halindeki Kütlede Deformasyon Olmayan Kaymalar (Dönel Kaymalar, Blok Kaymaları)

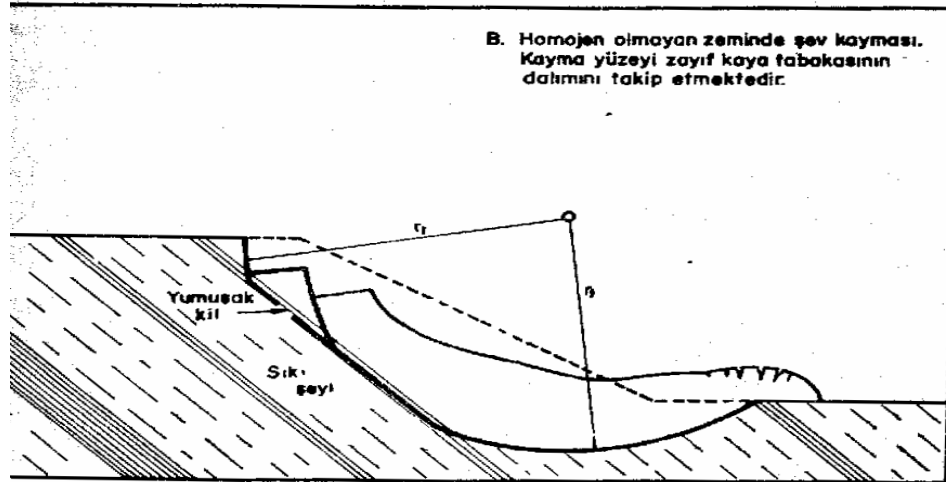
Bu tür kaymalar bir veya birkaç hareketli üniteden oluşurlar. Zeminlerin hareketi zemin yapısındaki süreksizlikler, tabaka düzlemleri ya da derzler incelenerek izlenebilir.

Dönel kaymalar, en çok görülen kayma türüdür. Hareket sadece kütle içindeki kayma yüzeyleri boyunca oluşur. Kayma yüzeyleri şev hareketlerindeki kaymalarda olduğu gibi, bunlarda da kaşık veya silindir dilimine benzerler. Düşey kesitte kayma yüzeyi iç bükey bir eğri olmaktadır. Bu eğrinin biçimi zemindeki süreksizlikler, tabakalaşma durumu, eklemler ve diğer etkenlere göre değişime uğrar. Bir mühendis muhtemel kayma yüzeyini tasarlarırken, zemin yapısının bu etkilerini çok dikkatli incelemesi gerekir. Dönel kaymalarda kayma yüzeyinin üst kısmı hemen hemen düşey olabilmektedir. Ana kütlelerin fazla ötelenmediği durumlarda bu düşey kısım desteksiz kalmakta ve üst kısımdakine benzer yeni dönel kaymalar meydana gelmektedir. Heyelan kayma yüzeyi tabanı bir yamaca dayanıyorsa, dönel hareket denge sağlama eğilimi gösterir, hareket yavaşlar ve heyelan durur. Şekil 2.7.-Şekil 2.12.' de dönel kayma tipi heyelanların çeşitli örnekleri görülmektedir [10].

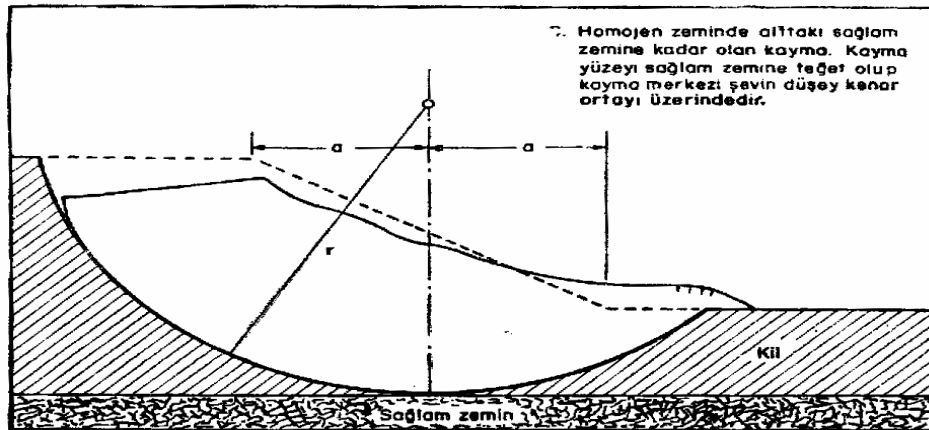
Blok kaymalar, dönel hareket ve üst yüzeyin geriye doğru eğimlenmesi görülmeksizin, kütlelerin, bir tek ünite halinde dışa ya da aşağıya düzlemsel yüzeyler boyunca hareket etmesi sonucunda oluşur. Hatta hareket eden kütle bazen kendi tabanı üzerinde de dışarı doğru kayabilir. Blok kaymalarının dönel kaymalardan farkı, dönel kaymaların genellikle düşeye yakın iç bükey iç kayma yüzeyleri boyunca zemin hareketleri olarak sınırlandırılmasıdır. Blok kayması taban zemini yeteri kadar eğimli olduğu ve bu taban yüzeyindeki kesme kuvveti, hareket kuvvetini karşılayamadığı sürece harekete devam eder.



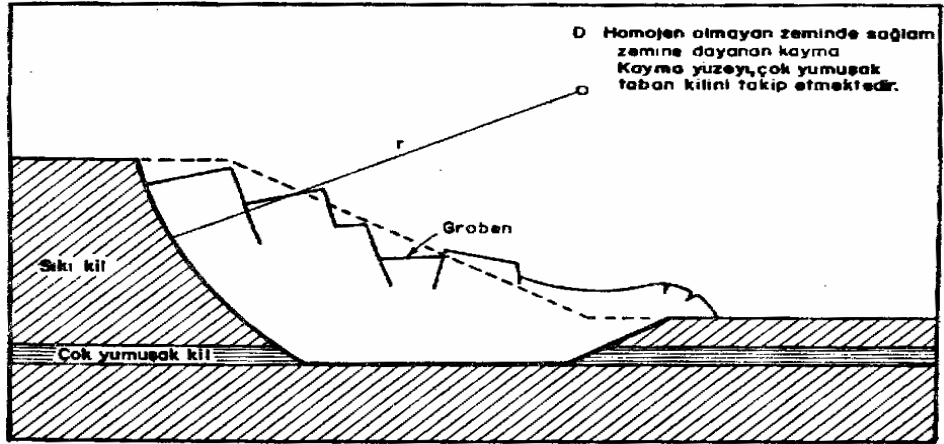
Şekil 2.7. Homojen Zeminde Dairesel Hareket [10].



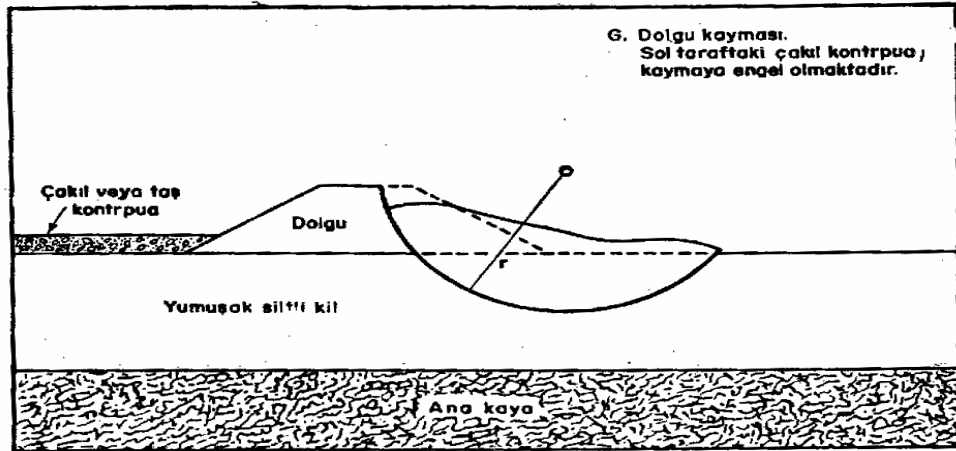
Şekil 2.8. Homojen Olmayan Zeminlerde Şev Kayması [10].



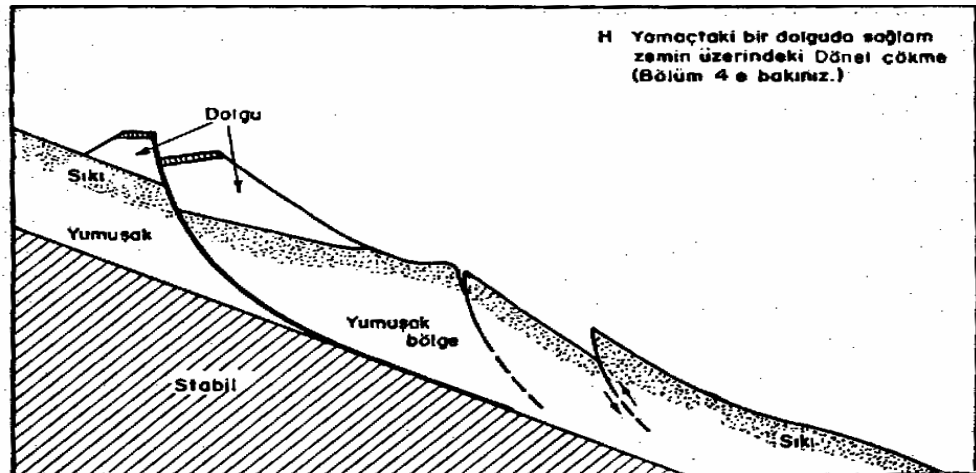
Şekil 2.9. Homojen Zeminde Sağlam Zemine Kadar Olan Kayma [10].



Şekil 2.10. Homojen Olmayan Zeminde Sağlam Zemine Dayanan Kayma [10].



Şekil 2.11. Dolgu Kayması [10].



Şekil 2.12. Yamaçtaki Bir Zeminde Sağlam Zemin Üzerindeki Dönel Çökme [10].

b. Hareket Halindeki Kütlede Deformasyon Olan Kaymalar (Kaya ve Döküntü Kaymaları, Yanal Yayılma İle Oluşan Kaymalar)

Bu tür kaymalar zeminin büyük ölçüde değişime uğradığı ya da birbirinden bağımsız kısımlara ayrıldığı kaymaları kapsar. Devamlı şekil değiştirmeleri ve ayrışmaları ile zamanla akma tipi hareketlere dönüşürler. Bu tip kaymalarda hareket; zemin yapısındaki faylardan, derzlerden, yatay yüzeyleri ya da bozulmuş kaya tabakaları arasındaki kesme mukavemeti değişiminden oldukça etkilenmektedir. Hareket çoğunlukla kırılma yüzeyinin sınırları dışına çıkarak yayılabilir.

Kaya ve döküntü kaymaları, doğal toprak, sıkışmamış sedimanter zeminler ve bozulmuş kaya döküntüleri gibi gevşek malzemelerin sağlam tabak üzerindeki stabilitesinin bozulması sonucu oluşur. Ortamdaki su miktarının artmasıyla genellikle akma hareketine dönüşür.

Yanal yayılma ile oluşan kaymalar; çekme ve kayma deformasyonlarının birlikte incelendiği heyelanlardır. Kaymadan farkı, belirgin bir kayma yüzeyinin ve bölgesinin bulunmamasıdır. Ayrıca; bu hareket sonucu sıvılaşma ve plastik akma gibi aşırı etkiler görülebilir. Birçok yerde heyelanlar, homojen kil içerisinde yüksek boşluk suyu basıncının bulunduğu bölgelerde ya da kil içerisindeki kum ve silt kısımları boyunca yer alır. Bu tip heyelanlarda, hareket karmaşık olmakta, bu harekette öteleme, malzemenin dağılması, bazı dönel kaymalar ve bazı sıvılaşma ve akmalar yer almaktadır.

2.3.2.1.3. Akmalar

Akmalarda hareket eden malzemenin aldığı şekil ya da görülen hız dağılımları ve yer değiştirmeler şev hareket türlerinde olduğu gibi yüksek viskoziteli sıvılardaki duruma benzerdir. Hareket eden kütle içindeki kayma yüzeyleri çoğunlukla görülmez ya da çok kısa ömürlü olur. Hareket eden malzeme ile duran malzeme arasındaki sınır keskin olabilir veya plastik akma bölgesi ile ayrılabilir.

Akma çoğunlukla plastik kohezyonlu zemin veya çok ince kum gibi plastik olmayan malzemeyi bünyesinde bulunduran zeminlerde ortaya çıkar. Dengenin bozulması genellikle suya doygunluk veya boşluk suyu basıncındaki artış ile oluşur. Akma, oldukça düşük eğimli şevlere ulaşp, dengeye gelinceye kadar devam eder.

2.3.2.1.4. Sünme (Krip) Olayı

Şev veya yamacın yüzeysel kısımlarının sürekli ve çok yavaş yer değiştirmesi sünme (krip) olayı olarak tanımlanır. Sünmenin başlıca nedenleri yer çekimi, kar, yağmur, don, ısı etkisi ile kabarma ve büzülme olayları sayılabilir. Kayma ve sünme arasındaki esas fark hareket hızlarının farklı olmasından değil olayların deformasyon şeklerinden doğmaktadır. Kaya blokların çatlaklardan ayrılması, ağaç gövdelerinin eğilmesi, çit, duvar ve direklerin düşeyden ayrılmaları krip belirtilerindendir [10, 8].

2.3.2.2. Heyelanların Tanınması ve Tiplerinin Belirlenmesi

Bir heyelanın meydana gelmiş olduğunu veya devam etmekte olduğunu belirledikten sonra ikinci adım heyelan tipinin tespitidir. Heyelanların tanınması ve tiplerinin belirlenmesi çalışmaları çevrenin fiziksel karakterlerinin en küçük ayrıntılara kadar incelenmesi ile gerçekleştirilen zor bir işlemdir. Heyelan kontrol ve önleme yöntemlerinin, heyelan tipine göre değişiklik göstermesi konunun önemini arttırmaktadır.

Düşmeler; yer, yamaç veya şev eteklerinde oluşan yığıntıları ile tanınırlar. Düşme nedeni bir göl veya akarsuyun alttan oyup kesmesi ise, kırılma hızı suyun düşüp yığılmış malzemeyi sürükleyip götürmesi ile orantılıdır. Bu durumda sürüklenme ile belirtiler ortadan kalksa bile, bu olayın düşmeyi hızlandırdığı bilinen bir gerçektir. Diğer yandan bir göl veya denizin düşen malzemeyi sürüklemesi, ancak dalganın malzemeyi parçalama ve sürüklenme etkisine ve kuvvetine bağlıdır. Bu nedenle bu gibi yerlerde malzeme genellikle hep aynı durumda kalmaktadır. Sonuç olarak düşmeleri önleyici rol oynamaktadır. Aktif düşme bölgeleri, çevre ve bitki örtüsü üzerindeki izlerle de belirlenebilir. Devrilmiş, kırılmış ve yaralanmış ağaçlar iyi birer göstergedir. Herhangi bir kaya ve toprak düşmesi yakın zamanda oluşacak bir heyelanın ilk belirtileridir.

Kaymalar, düşmeler ve akmalardan ayrı olarak yüzeyden görülebilen bazı özellikleri ile tanınabilirler. Bu özellikler kaymanın içerisinde yer aldığı malzemenin cinsi, hareket yönü ve hızı ile ilgilidir. Dönel çökme tipi heyelanlar genellikle kum, silt, kil, gibi zayıf zeminlerde oluşurlar. Heyelanın baş kısmındaki aynalar karakteristik özellikleridir.

Aynalar aktif veya yeni oluşmuş heyelanlarda bitki örtüsü ile kaplı değildir ve üzerlerinde hareket doğrultusunu belirten izler vardır. Bu izler baş kısmında aşağı doğru, yanlarda ise yataya yakın doğrultudadır. Baş kısmındaki çekme çatlakları esas aynaya paralel olup, bu çatlakların çoğu moloz ve döküntü malzemelerle örtülmüş veya gizlenmiş olabilir. Diğer bir tanıtıcı özellik, kayma yüzeyinin eğriliğinin kısmen azalması ile oluşan fay-kırılma bloklarıdır. Bunlar yukarı doğru dayanımını yitirdiğinden dolayı, dönel çökme kütesinde çekme gerilmeleri e aşırı kırılmalar oluşmasına neden olurlar. Topuk bölgesi ve yakın üstü basınç bölgeleri olup, bu kısımda açık çatlağa rastlanmaz. Topuk bölgesi önü ise çekme ve kabarma bölgesidir. Kaymaya başlayan zemin kütesi uzama eğilimi göstererek küçük blok ve parçalara ayrılır ve arazi tümü ile dalgalı bir durum gösterir. Ağaçlarda heyelanın belirlenmesi ve yaşı hakkında geniş bilgi verir. Baş kısımdaki ağaçlar kayan malzemenin aşağı doğru olan hareketinden yukarı doğru eğilirler. Topuk kısmının altındaki ağaçlar ise hareket yönünde eğimlidirler. Yaşlı eğilmiş ağaçlarla, dik genç ağaçların karşılaştırılması heyelanın yaşını ve gelişimini belirler.

Blok kaymaları zeminde kısmen az düşey hareket ve düşey çatlaklarla belirlenirler. Kaya kaymalarının tanınması oldukça kolaydır. Ana kayadaki çatlaklara ve tabakalaşma düzlemlerine bağlı olarak gelişirler. Belirli bir kayma yüzeyleri olmayıp, genellikle dik şevlerde daha kolay oluşurlar.

Akmalar kaya düşmesi, yer sarsıntısı veya dış vibrasyon etkenleri ile kuru malzemenin harekete geçmesi sonucu oluşur. Oluştuktan sonra tanınmaları kolay olup, önceden tahmin edilmeleri güçtür. Üniform taneli silt ve kumlarda çok hızlı ve kısa sürede hareketlerini tamamlarlar. Esas aynada çatlak oluşmamasından dolayı akma çizgileri ya çok az belirli olur veya hiç fark edilmezler. Akmalar belirgin bir topuklarının olmayışıyla da tanınırlar. Bünyedeki su muhtevastaki değişiklikler ıslak akmalara neden olur. Genellikle eğimli arazide oluşmaları, çekme çatlakları ve blok halinde parçaların bulunmayışı ve tali ayna oluşturmamaları ile tanınırlar. Akma çok sulu ve süratli ise ağaçlar ve çevredeki sabit noktalar üzerinde çamur izleri bırakırlar. Yan taraflarında ise birikinti tepecileri oluştururlar. Kurumaları sonucu büyük ölçüde büzülme çatlakları veya akma izleri gösterebilir.

2.4. Şev Kaymasının Nedenleri

Şev hareketleri, başlangıçtan sonuna kadar sürekli bir olaylar dizisi sonucu olarak karşımıza çıkar. Her mühendislik probleminde olduğu gibi yamaç ve şevlerde de denge kaybı ortamdaki mevcut direncin, oluşmuş gerilmeleri karşılayamaması durumunda kaybolur. Bu nedenle herhangi bir stabilite bozukluğunu tek ve kesin bir nedene bağlamak doğru değildir. Bu konuda literatür çalışmalarına baktığımızda M.Popescu şev hareketlerinin nedenlerini Tablo 2.3.'de özetlemiştir [22].

Bütün şev kaymaları, kayma gerilmeleri etkisi altındaki zeminlerin göçmesi sonucunda oluşur. Bu oluşumun başlangıcı; kayma gerilmelerinin artmasına ve kayma mukavemetinin azalmasına neden olan faktörler olmak üzere iki grupta toplanabilir.

2.4.1. Kayma Gerilmelerinin Artmasına Neden Olan Faktörler

Şevde yanal dayanağın azalması, alt dayanağın kalkması, şev üstü ağırlık etkileri, yanal basınçlar, geçici toprak gerilmeleri kayma gerilmelerinin artmasına neden olan faktörlerin başında gelirler. Kesme kuvveti etkisi yaratarak şevin göçmesine neden olurlar.

2.4.1.1. Yanal Dayanağın Azalması

Şeve yatay destek veren bir kütlenin kaldırılması dengenin bozulmasına yol açan en önemli etkindir. Yanal dayanağı azalmasının başlıca nedeni erozyondur. Nehir ve akışlarının oluşturduğu erozyon, ıslanma, kuruma ve donma etkisi doğal şevlerde kaymalara neden olur. Doğal zeminlerdeki kaymalara bir şevin alt kenarındaki veya desteksiz olan kısmında kazı gibi dış etkenler de neden olabilir. Dağlık bölgelerde aşırı eğimli vadilerde buzların erimesi nedeniyle geniş kaymalar ve moloz akışı görülebilir. Limanlarda dalga ve gel-git olayı şevlerin aşınmasını kolaylaştırır ve kaymayı başlatabilir. Şev topuğunda bir takım kazı, çukurlar ve kanallar açmak daha önce var olan dayanma yapılarını ve palplanjları kaldırmak, göl veya göletler oluşturmak ve bunların seviyesinin değişmesi, yatay desteğin kaldırılması konusuna birer örnek olarak verilebilir.

Tablo 2.3. Şev Hareketlerini Oluşturan Etkenler [22]

a. Zemin Koşulları
1. Plastik zayıf malzeme 2. Hassas zeminler 3. Göçebilen zeminler 4. Ayrışmış-yıpranmış ortam 5. Ezilmiş-makaslanmış bölgeler 6. Çatlaklı kütle 7. Olumsuz eğimde süreksizlikler (çökel dokanaklar, fay, çatlak) 8. Olumsuz konumda kitlesel özellikler (yataklanma, şistozite, dilinlenme) 9. Geçirimlilikte beliren çelişkiler ve bunun YASS'ye etkisi 10. Ortam rijitliğinde farklılıklar (plastik malzeme üzerine gelmiş gevrek tabaka)
b. Jeomorfolojik Süreçler
1. Tektonik yükselme (epirojenizma) 2. Volkanik yükselme 3. Buzul kalmasından dolayı yükselme 4. Yamaç eteğinde akarsu aşındırması 5. Yamaç eteğinde dalga aşındırması 6. Yamaç eteğinde buzul aşındırması 7. Yan sınırlarda erozyon 8. Yeraltı erozyonu (erime, borulanma) 9. Yamaç yüzü veya başında beliren birikimler 10. Bitki örtüsünün kaybı (erozyonla, kuraklık sonucu, yangın)
c. Fiziksel Süreçler
1. Kısa süreli yoğun yağış 2. Derin kar örtüsünün erimesi 3. Uzun süreli yağışlar 4. Su seviyesinin ani düşüşü 5. Depremler 6. Volkanik etkinlik 7. Krater göllerinin yıkımı 8. Yıllık veya mevsimlik don'un çözülmesi 9. Donma-çözünmeden kaynaklanan yıpranma 10. Şişebilen zeminlerin şişme-büzülme sonucu yıpranma-ayrışması
d. İnsan Etkileri
1. Topukta veya yamaç üstünde kazı 2. Yamaç başında ve yüzey üstünde yükleme 3. Baraj göllerinin ani seviye kaybı 4. Gölet ve kanallardan sızma 5. Sulama 6. Drenaj, su ve atıksu borularından kaçaklar 7. Ormanların ve bitki örtüsünün kaldırılması 8. Açık maden işletmesi 9. Katı atıkların önlemsiz yığılması 10. Yapay titreşimler (trafik, kazık çakma, ağır makineler, ocak patlatma)

2.4.1.2. Alt Dayanağın Kaldırılması

Alt dayanağın kalması arkasındaki kitlenin hareketine neden olur. Aşağıda bu nedenler sıralanmıştır.

- Dalgalarla ve herhangi bir nedenle kıyılarda olan aşınma,
- Şev eteğindeki kuruma, ıslanma, donma etkileri nedeniyle olan erozyon,
- Yıkılan veya çözünen malzemeye sahip zeminlerde bu malzemenin kaybolması ile oluşan boşluklar,
- Maden çıkarma faaliyetleri,
- Alt tabakaların mukavemet kaybı ve göçmesi, alt tabakalardaki plastik özellikli zeminin sıkışması

2.4.1.3. Şev Üstü Ağırlık Etkisi

Çeşitli doğal ve insan faaliyetleri nedeniyle üst yapı yükleri artabilir. Bunlar arasında çok yoğun yağın yağmur ve kar, baharda karların erimesinden dolayı artan su hareketleri, şev kaymaları nedeniyle malzemenin yığılması, bitki örtüsü, toprağa karışan suyun basıncı ve doğal nedenlerle sürşarj yüklerinin artması sayılabilir. Dolgu yapımı, kaya ve madenlerin depolanması, bina ve diğer yapıların ağırlığı, tren ve diğer araçların ağırlığı gibi insan faaliyetleri nedeniyle sürşarj yükleri artabilir.

2.4.1.4. Yanal Basınçlar

Çatlaklardaki suyun basıncı, çatlaklardaki suyun donması, kilin hidrasyon sonucu şişmesi, jips ve anhidritlerdeki su alış-verişi, kalıcı gerilmelerin oluşmaya başlaması ve volkanik faaliyetler yanal basınçlar oluşturarak kaymaya neden olur.

2.4.1.5. Geçici Zemin Gerilmeleri

Makine, patlama, yer sarsıntıları, trafik, yıldırım ve komşu şev göçmelerinin titreşimi geçici zemin gerilmeleri oluşturabilirler.

2.4.2. Kayma Mukavemetinin Azalmasına Neden Olan Faktörler

Zemin oluşum koşulları ile birleşimi, doku ve kütle yapısı ile iklim koşulları ve fiziksel ve kimyasal reaksiyonlardan ileri gelen değişimler, taneler arası kuvvetlerin boşluk suyu yüzünden değişmesi, yapısal değişimler kayma mukavemetini azaltan etkenlerdir.

2.4.2.1. Zemin Yapısı

Zemin yapısı ile ilgili özelliklerin başında yapısal kusurlar, tabakalaşma düzlemleri, eklem ve çatlak sistemleri eski ve yeni kaya birleşim yerleri gelir. Zemin içinde serpantin, talk, şist, mika gibi yumuşak mineraller ve aşınmış killi, volkanik tüfler ve organik malzeme varsa bu tür zeminler zaman zaman çok zayıf olurlar. Boşluklu organik malzeme, gevşek kum, lös, marn ve normal konsolide kil gibi zeminler kayma mukavemeti az olan zeminlerdir. Faylar, çatlaklar, ekler, şistlerdeki yapraklanma durumları, masif kütleler üzerindeki plastik ve zayıf malzemeler de kayma mukavemetini azaltır. Ayrıca zemin dokusu ile ilgili olarak tane büyüklüğü ve tane biçimi de içsel sürtünme açısı, kohezyon ve sıkışabilme özelliğini de etkiler.

2.4.2.2. İklim Koşullarından, Fiziksel ve Kimyasal Reaksiyonlardan İleri Gelen Değişmeler

Kayaçların; don, gündüz-gece ısı farkı sonucu genleşme ve büzülme vb. etkiler altında fiziksel ayrışması, aşınmaya bağlı değişiklikler, fizikokimyasal reaksiyonlar, mukavemet azalmasına neden olurlar. Killerin yapılarına su almaları, kuruyup çatlamaları sonucu kohezyon kaybına uğramalarına neden olur. Killerde baz değişimi mukavemeti ve fiziksel özellikleri etkiler.

2.4.2.3. Taneler Arası Kuvvetlerin Boşluk Suyu Yüzünden Değişmesi

Suya doygunluk, suyun kaldırma kuvveti, daneler arasındaki basıncı dolayısıyla sürtünmeyi artırır. Zeminlerdeki su muhtevasının doygunluk derecesine ulaşması kılcal gerilmelerden doğan taneler arası basıncı ortadan kaldırır. Sızıntı basıncını ise sıvı ve katı taneler arasındaki viskoz kuvvetler oluşturur.

2.4.2.4. Zemin Yapısındaki Değişmeler

Zemin yapısında çeşitli nedenler ile oluşan çatlak ve süreklilik kırılmalar, sünme ile bunların çevresinde oluşan kıvamda yumuşamalar kayma mukavemetinin azalmasına neden olur.

2.5. Şev Stabilitesi Analiz Yöntemleri

Doğal ya da yapay şevlerin analizi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında uygulamada ve kullanım alanında bazı farklar olmasına rağmen hemen hepsinde ortak özellik, bilinen veya kabul edilen kritik kayma yüzeyinde kayma kütlelerinin dengesinin araştırılmasıdır. Şev stabilite çalışmalarının amacı yapılarda, kazılarda ve dolgularda çözüme güvenli ve ekonomik yoldan ulaşmaktır. Şev stabilite araştırmaları iki grupta toplanabilir.

2.5.1. Limit Denge Yöntemleri

Şev stabilitesi analiz yöntemlerinin önemli bir kısmını oluşturan limit denge yöntemleri Coulomb göçme kriterini esas olarak, göçme yüzeyinin doğrusal çizgi, dairesel yay, logaritmik spiral ve diğer yüzeylerden birisini kabul etmektedir. Hesap başlangıcında şevin serbest cisim diyagramı üzerinde bilinen veya kabul edilmiş olan kuvvetler gösterilir, denge konumu için zeminin geçerli kayma direnci bulunur. Kayma direncinin hesaplanmasında zeminin geçerli kayma mukavemeti ile tahmin edilen mukavemet karşılaştırılarak güvenlik sayısı değeri elde edilir.

Kayma dairesi çözüm yöntemlerinden Culmann yöntemi ve sürtünme dairesi yöntemi kayan kütlelerin tümünü göz önüne almaktadır. Bir diğer yaklaşım ise kayan kütleyi düşey dilimlere bölmek ve her bir dilimin dengesini göz önüne almaktır. Bu durumda farklı zemin şartlarının da hesaplara dahil edilmesi mümkün olmaktadır. Dilim metodları arasındaki farklar, dilim kuvvetleri ile ilgili yapılan kabullerden kaynaklanmaktadır.

Tüm mühendislik problemlerinde olduğu gibi, şevlerin stabilitelerinde de bir güvenlik sayısı geçerlidir. Elde edilen güvenlik sayısı, bir şevin stabil olup olmadığının veya ne kadar stabil olduğunun göstergesidir.

2.5.1.2. Kama Biçiminde Kaymalar

Ortamin birden çok süreksizlik düzlemi içerdği veya uç etkilerinin ihmal edilmediği durumlarda şev, iki veya daha çok blok veya kamaya ayrılarak analiz yapılabilir.

Kama şeklindeki kırılma düzlemleriyle genellikle kaya mekaniğinde karşılaşılır. Bu tür kırılma türleri zeminlerde çok nadirdir.

Şevin çeşitli düzlemlerden oluşan bir kayma yüzeyi kabulü ile incelenmesinde, analiz, kayma kamasının hakiki toprak veya kaya yerine bireysel katı taneciklerden oluşan Coulomb Modeli ile idealize edilmesine dayanır. Rijit bir cisim gibi düşünülen her kama için analitik veya grafik yolla güvenlik sayısı elde edilir.

2.5.1.3. Dairesel Kayma Yüzeyleri

Dönel silindir veya dairenin kayma yüzeyi kabul eden yöntem sayısı oldukça fazladır. Bunun nedeni, homojen zeminlerdeki kaymaların bu şekle uyması ve geometrik özelliklerden dolayı işlem kolaylıklarıdır. Bu konu ile ilgili önemli yöntemler aşağıda verilmiştir.

2.5.1.3.1. İsveç Dilim Yöntemi

İlk olarak Fellenius (1936) tarafından verilen bu yöntemde, birim kalınlıktaki zemin kütlesi Şekil 2.14.a.'da gösterildiği gibi düşey dilimlere bölünür. Bu dilimlerden her biri Şekil 2.14.b.'de gösterildiği gibi, beş kuvvetin etkisi altında dengededir. Bu kuvvetler,

1. Dilimin ağırlığı, $\omega = \gamma h l \cos \alpha$;
2. Kayma yüzeyi üzerindeki N normal reaksiyonu. Bu kuvvetler daneler arasındaki N' reaksiyonu ile boşluk basıncından ileri gelen U kuvvetinin toplamıdır. Boşluk basıncı r_u ile gösterildiğinde, $U = r_u \cdot \gamma \cdot h \cdot l$
3. Kayma yüzeyi üzerinde harekete geçen kohezyon ve sürtünme mukavemeti toplamından oluşan T kuvvet,

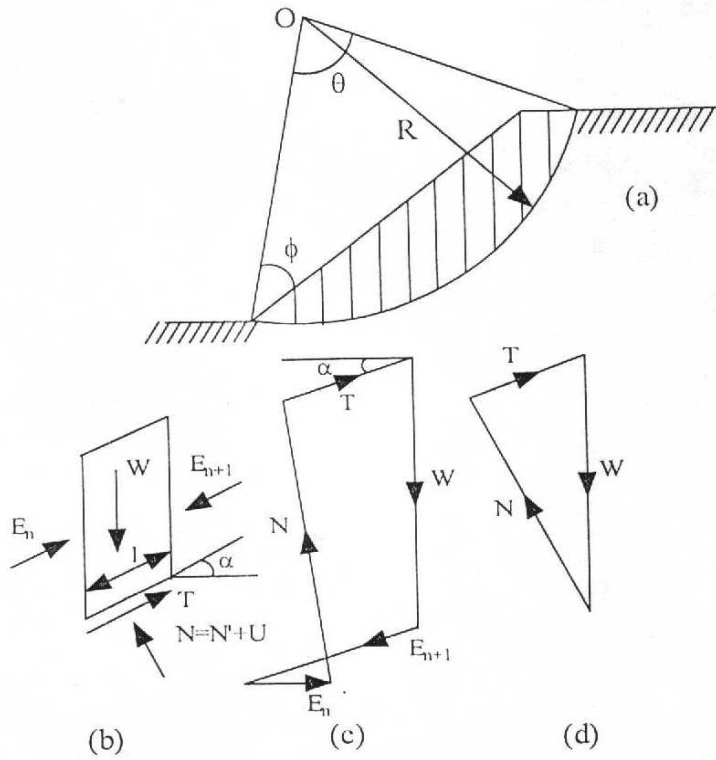
$$T = \frac{c'l + N'tg\phi}{G_s}$$

(i) ve (i+1) dilimler arasındaki E_n ve E_{n+1} reaksiyonları (N ve T kuvvetleri, dilim ağırlığı ile E kuvvetinden dolayı dilim tabanında doğan normal ve kesme kuvvetlerinin aksi tesirleridir).

Bu kuvvetlerden, ω kuvvetinin şiddeti ve doğrultusu, N ve T kuvvetlerinin doğrultusu bilinmekle beraber, E kuvvetlerinin şiddeti, doğrultusu ve tatbik noktası bilinmemektedir. Bu bakımdan Şekil 2.14.c. deki kuvvetler diyagramı belirsiz olmaktadır.

Tam bir çözüme ulaşmak için aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır:

1. Her dilime etkiyen kuvvetler dengede olmalıdır;
2. Dilimler arası reaksiyon bileşenlerinin vektörel toplamı sıfır olmalıdır;
3. Bu bileşkelerin aynı düzlemdeki herhangi bir noktaya göre momentleri toplamı sıfır olmalıdır.



Şekil 2.14. Dilim Yöntemi [13].

Ardışık yaklaşımlarla, bütün şartları sağlayan bir G_s değeri bulunur. Bir seri kayma yüzeyi seçilerek en küçük G_s değerinin belirlenmesi için bu hesapların yapılması uzun ve yorucu olduğundan bir bilgisayar programının kullanılması uygundur. Daha kolay bir çözüm Bishop tarafından verilmiştir. Bu çözümde, dilimler arası kuvvetlerin yatay olduğu kabul edilmiştir. Diğer bir deyimle, her dilimdeki bu kuvvetleri düşey bileşenlerinin dengelendiği kabul edilmiştir. Burada da G_s değerinin bulunması için deneme yapılması gerekir. Ancak, sadece momentlere ait denge denkleminin çözülmesi söz konusudur. Hesapları basitleştiren bu kabullerle yapılan hatanın yüzde bir değerini geçmediği söylenebilir [12].

Spencer tarafından geliştirilen diğer yöntemde, her dilime etkiyen dilimler arası iki kuvvetin paralel olduğu kabulüdür. Ancak bu kabulde hem kuvvetlerle hem de momentle ilgili denge şartlarının sağlanması gerekir.

2.5.1.3.2. Basitleştirilmiş Dilim Yöntemi

İlk olarak Bishop (1955) tarafından ileri sürülen basitleştirmede her dilime etkiyen E kuvvetlerinin yaklaşık olarak her dilimde dengelendiği kabul edilmektedir. Bu durumda kuvvetler çokgeni Şekil 2.14.d.'de gösterilen şekli alır ve problem statik olarak tamamen belirgin olur. Çoğu hassas analizlere kıyasla, bu kabulün yapılması genellikle güvenlik sayısının daha küçük elde olunmasına neden olur. Bu fark, r_u boşluk basıncı oranının yüksek olması halinde daha da büyür. Bu fark ekonomik açıdan sakıncalı olabilir. Basitleştirilmiş yöntemin kullanıp kullanılmamasına karar verilmesinde, hesapta kullanılan değerlerin muhtemel hatası yanında, zeminin üniform olmaması ve kayma yüzeyinin dairesel şekilden sapması göz önünde tutulmalıdır. Basitleştirilmiş metotta hesaplar aşağıdaki belirtilen şekillerde yapılır.

Kaymayı doğurmaya çalışan kuvvetler ω dilim ağırlıkları (O noktası düşeyinin solundakilerin kaymaya karşı duracakları düşünülmelidir) veya ω kuvvetlerinin dilim tabanına teğet (T) ve normal (N) bileşenleridir. Karşı duran kuvvet, kohezyon ile zemin kütlesi ağırlığının N normal bileşeninden doğan sürtünme mukavemetinin toplamından oluşan kayma mukavemetidir. Normal kuvvette gerektiğinde boşluk basıncı için düzeltme yapılır.

Dilimin ağırlığı $\omega = \gamma l \cos^2 \alpha$ dır. Burada α dilim tabanının yatayla yaptığı açıdır (bu açı, dilim tabanı ortasını, O noktasını, bağlayan doğrunun düşeyle yaptığı açıya eşittir). Normal bileşen N ise $\omega \cos \alpha = \gamma l \cos^2 \alpha$ dır. u boşluk basıncının bulunması halinde, efektif basınç $\gamma l \cos^2 \alpha - u$ ve efektif normal kuvvet, $N = \gamma l \cos^2 \alpha - ul$ olur.

Normal bileşen O noktasından geçtiğinden, kaydırmaya çalışan moment, teğet T bileşeni ile R moment kolunun çarpımıdır. Bu sebeple toplam kaydıran moment, $R \sum T$ olur ($T = \omega \sin \alpha$).

Dilim tabanında mümkün olabilecek en büyük karşı koyan kuvvet (kayma mukavemeti) $c' l + N' \tan \phi$ olup bunun O noktasına göre momenti $R(c' l + N' \tan \phi)$ dır. En büyük karşı koyan moment ise bütün dilimlere ait momentlerin toplamı olup,

$$R \sum (c' l + N' \tan \phi) = R(c' \sum l + \tan \phi \sum N')$$

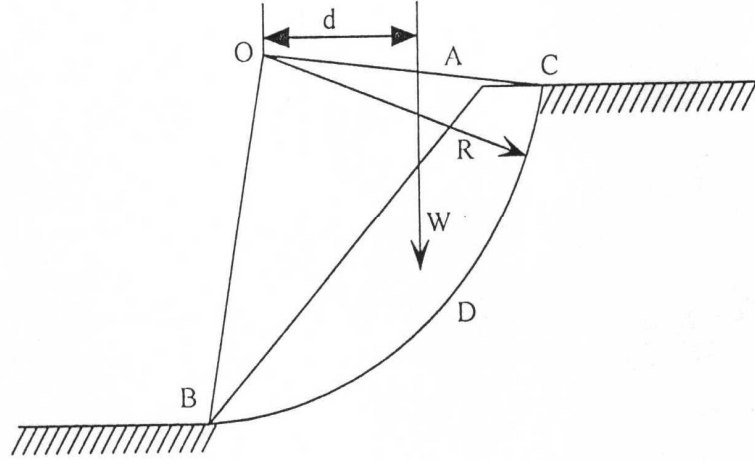
dır. Dilim ağırlıkları hesapla veya alanların planimetri ile ölçülmesi sonucu bulunarak, Şekil 2.14.d.'de gösterildiği gibi kuvvetler üçgeninden N ve T değerleri elde edilir. Seçilen her kayma dairesi için bu hesaplar bir tablo halinde toplanarak en küçük güvenlik sayısı bulunur.

Toplam gerilme analizinin kullanılması halinde de benzer işlemler yapılır. Burada c' ve ϕ' yerine c_u ve ϕ_u katsayıları kullanılır ve her elemanın toplam normal bileşeni $N' = \gamma l \cos^2 \alpha$ dır. Daha kesin analizlerde her dilimde kaymaya karşı duran kuvvetlere aynı güvenlik sayısı uygulanır. Basitleştirilmiş yöntemin kullanılması halinde, dilimler arasındaki kuvvetler ihmal edildiğinden, bu kabul tam olarak geçerli olmaz. Şevin tamamı için güvenlik sayısı, kayma ihtimali olan zemin kütlelerinin stabilitesinden hesaplanır.

2.5.1.3.3. $\phi = 0$ Kabulü

Suya doygun killerdeki kaymaların analizinde çoğu zaman, drenajsız kesme deneyindeki şarların yaklaşık olarak bulunduğu ve bu bakımdan ϕ kayma mukavemeti açısının sıfır olarak alınabileceği kabul edilir. Bu kabulün hesapların basitleştirilmesine faydası vardır. c_u nihai kohezyonu, serbest basınç deneyinden veya çok yumuşak killerde

arazide yapılan Veyn deneylerinden elde edilebilir. Yumuşak killerde bir seri kayma göçmesi üzerindeki araştırmalardan $\phi = 0$ kabulünün, mantığa yakın doğrultudaki bir güvenlik sayısının belirlenmesinde genellikle uygun olduğu görülmüştür. Yalnız gerçek kayma yüzeyi teorik kayma yüzeyi ile aynı değildir.



Şekil 2.15. Dairesel Kayma [13].

$\phi = 0$ kabulünün yapılması halinde basitleştirilmiş işlemler aşağıda verilmiştir. İlk olarak ACDBA alanının ağırlık merkezinin O merkezinden olan yatay d uzaklığı bulunur. Bu, alanın aynı biçimde şablonunu çıkarmak ve ağırlık merkezinin bulunması için, bunu çeşitli noktalarda asmak ve her durumda düşey doğruları çizmek suretiyle yapılabilir. Bir integratör kullanılarak, ölçekli Şekil 2.15'den d uzaklığını, ACDBA alanını ve aynı zamanda O'ya göre momenti kolayca bulmak mümkündür. Silindirik kayma yüzeyi boyunca, kaymaya sebep olan kaydırıcı moment ω_d olur. Burada ω , kayan ACDBA hacminin birim kalınlığının ağırlığıdır.

Kaymaya karşı koyan moment, silindir yarıçapı ile BCD sathı boyunca meydana gelen kayma mukavemetinin çarpımıdır. $\phi = 0$ kabulünde, kayma yüzeyinin herhangi bir kısa uzunluğunda meydana gelen maksimum kayma mukavemeti, o noktadaki basınca bağlı değildir ve dolayısıyla o kayma yüzeyi parçası üzerindeki materyalin ağırlığından bağımsızdır. Kohezyonlu bir zeminde, maksimum kayma mukavemeti, c_u kohezyonuna eşittir ve L kayma yüzeyinin uzunluğu boyunca sabittir. Bu direnç kuvvetinin moment

kolu, kayma yüzeyinin bütün parçaları için sabit ve R 'ye eşittir. Kaymayı önleyen karşı koyucu moment, böylece bir $c_u LR$ değerine ulaşır. Bu, zeminin yalnız koheziv özelliğine ve kabul edilen kayma yüzeyinin biçimine bağlıdır. L uzunluğunun değeridir. Burada maksimum karşı koyucu moment, $c_u R^2 \theta$ olur.

Kaydırıcı moment ω_d olup kaymaya karşı güvenlik sayısı,

$$G_s = \frac{c_u R^2 \theta}{\omega_d}$$

olur. En düşük G_s değerinin bulunması için başka kayma daireleri de çizilerek hesaplar tekrarlanır.

Bu yöntemde, c_u değerinin bütün kayma yüzeyi boyunca sabit olduğu kabul edilmiştir. Oysa pratikte c_u değeri genellikle derinlikle değişir. Bu bakımdan ortalama bir değer kabulü gerekir. Aksi halde güvenlik sayısı dilim yöntemi kullanılarak,

$$G_s = \frac{\sum c_u l}{\sum \omega \sin \alpha}$$

bağıntısından hesaplanır.

$\phi = 0$ olması ve dairesel kayma yüzeyinin kabulü halinde, dilimler arasındaki kuvvetlerin ihmal edilmesinin sonuç üzerine etkisi olmadığı görülmüştür [13].

2.5.1.3.4. ϕ Dairesi Yöntemi

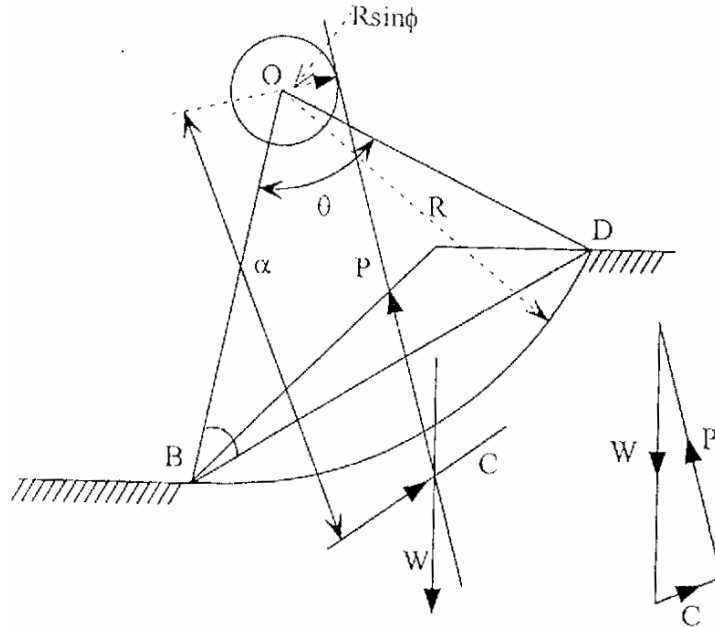
Taylor yöntemi kayma yüzeyi üzerindeki P bileşke kuvvetinin, merkezi kayma yüzeyinin merkezi ile aynı olan $R \sin \phi$ yarıçaplı bir daireye teğet olması kabulüne dayanmaktadır [14].

BC yayının uzunluğu L ve bu yayın kirişinin uzunluğunu L_1 ile gösterelim. dl uzunluğunda bir elemanın kohezyon kuvvetinin, O 'ya göre momenti, $c_m dlR$ dir. Yüzey boyunca üniform kohezyon kabulü ile, bütün elemanların koheziv kuvvetlerinin bileşeni $C = c_m L_1$ olur. Bu, O 'dan bir α uzaklığındadır. $c_m L_1 \alpha = c_m LR$ veya

$$\alpha = \frac{LR}{L_1} = \frac{R\theta}{2 \sin \theta/2} \text{ olur.}$$

Böylece C'nin etkiye doğrultusu bulunur. Bunu ω (zemin kamasının ağırlığı) ile kesim noktasından geçen ve ϕ dairesine teğet olarak çizilen doğru, P'nin doğrultusunu belirtir. Kuvvet üçgenini çizerek, C' nin değeri ve buradan denge için gerekli c_m birim

kohezyonu bulunur. Kohezyon bakımından güvenlik sayısı $\frac{c}{c_m}$ olur.



Şekil 2.16. ϕ Dairesi Yöntemi [14].

Bu güvenlik sayısının belirlenmesinde, denge şartlarında nihai kohezyon ve sürtünme mukavemetlerinin eşit oranlarda harekete geçtiği kabul edilmiştir. Bu bakımdan, ϕ dairesinin çapı $R \sin \phi_1$ değerine azaltılmalıdır. Burada ϕ_1 değeri $G_s \tan \phi_1 = \tan \phi_1$ bağıntısından bulunur. Belli bir şevin stabilitesinin bu yöntemle incelenmesinde G_s değeri birkaç deneme kayma yüzeyi çizilerek bulunmalıdır. P kuvvetinin $R \sin \phi$ yarıçaplı daireye teğet olması kabulü tam doğru değildir. Bununla beraber bu şekilde yapılan hata küçük olup güvenli taraftadır. Bu hata, ϕ değerinin sıfır olması ve dolayısıyla P kuvvetinin de O noktasından geçmesi durumunda ortadan kalkar.

Yukarıda belirtilen işlemlerde kayma yüzeyi üzerindeki boşluk basınçları hesaba alınmamıştır. Bunların hesaba alınabilmesi için boşluk hesaplarının kayma yüzeyine dik olarak işlendiği bir eğrinin çizilmesi gerekir. Bu durumda kayma yüzeyi parçalara bölünür, her biri üzerine gelen kuvvetler hesaplanır. Bunların toplamı, O noktasından geçecek bir U bileşkesidir. Sonra bu bileşke, C'nin bulunması ve ω ağırlığı ve P reaksiyonu ile birleştirilir.

2.5.1.3.5. Spencer Yöntemi

Spencer tarafından geliştirilmiş olan bu yöntemde dilimler arası kesme kuvvetleri arasında bir bağıntı kurulmaktadır. Bu bağıntıya göre, dilimler arasında bulunan düşey kesme kuvvetlerinin, yatay normal kuvvetlere oranı bir sabit değere eşittir [15].

$$\frac{X_L}{E_L} = \frac{X_r}{E_r} = \tan \theta = \text{sabit}$$

Burada X_L ve X_r değerleri her bir dilimin kenarlarındaki düşey kesme kuvvetlerini E_L ve E_r değerleri yatay normal kuvvetlerini, θ değeri ise bileşke kuvvetin yatayla yaptığı açığı göstermektedir. θ 'nın değeri hesaplamaların başında bilinmemektedir. θ değerini bulmak amacıyla hem kuvvet dengesine göre bir güvenlik sayısı değeri (G_f), hem de moment dengesine göre bir güvenlik sayısı değeri (G_m), θ 'nın değişik değerleri için çözümlenir. Sonuçta $G_f = G_m$ olduğu anda, θ 'nın değeri bulunmuş olur.

Her bir dilimin öz ağırlığı, hesaplanarak veya planimetre ile alan ölçümü yapılarak bulunur. Kayma yüzeyinin yatayla yaptığı açı α ölçülür ve daha sonra dilim üzerindeki düşey kuvvet dengesinden,

$$\omega = N \cos \alpha + T \sin \alpha \quad \text{dilim tabanındaki kayma gerilmesi değerinden}$$

$$T = \frac{\tau L}{G_s} \quad \text{değerleri elde edilmektedir.}$$

Dilim tabanına etki eden normal basınç gerilmesinin değeri ise;

$$\sigma = \frac{N}{L} = \frac{\omega}{b} = \frac{\tau \tan \alpha}{G_s} \quad \text{eşitliğinden bulunmaktadır.}$$

Böylece; $\tau = \frac{c + \omega / b \tan \theta}{1 + (\tan \alpha \tan \theta) / G_s}$ olur.

E kuvvetleri yatayda dengede olduklarına göre O merkezine göre momentleri toplamı sıfırdır. Diğer kuvvetlerin O merkezine göre momentleri alındığında,

$$\sum \omega X = R \sum T = R \sum (\tau L / G_s)$$

eşitliği elde edilir. Burada X, her bir dilimin (ω) öz ağırlığının O merkezine olan dik uzaklığını göstermektedir.

Güvenlik sayısının ise; $G_s = \frac{R \sum \tau L}{\sum \omega X}$ olarak elde edileceği açıkça görülmektedir.

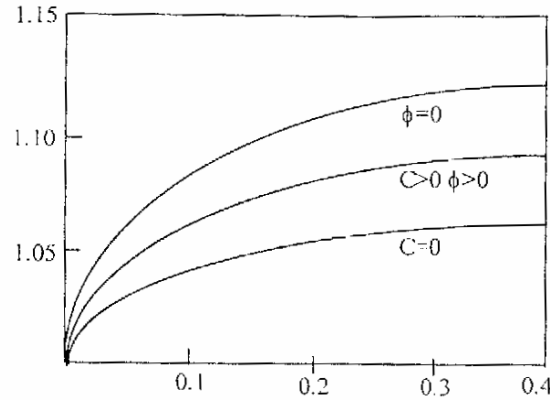
Bu yöntemde bilinmesi gereken ilginç bir durum ise θ değerleri değiştikçe G_f değerindeki değişimin, G_m değerlerindeki değişime göre çok daha hızlı olduğudur.

2.5.1.3.6. Janbu Basitleştirilmiş Yöntemi

Janbu ve arkadaşları. tarafından kayma yüzeyleri için dilimler arası kesme kuvvetlerinin (düşey kuvvetler) sıfır kabul edildiği basit bir analiz tanımlanmıştır [16]. Kesme kuvvetlerinin sıfır olması sebebiyle güvenlik sayısı sadece yatay kuvvet denge denklemini kullanarak ele edilmekte ve hesaplanmış olan güvenlik sayısı değeri ampirik bir düzeltme katsayısı ile çarpılmaktadır.

$$G_f = f_0 \times G_0$$

Eşitlikteki f_0 : ampirik düzeltme katsayısıdır. Şekil 2.17.'de kayma mukavemeti parametrelerinin aldığı değerlere göre değişimi gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi düzeltme katsayısı f_0 , kilin drenajsız kayma mukavemeti açısına, kohezyonuna ve kayma yüzeyinin geometrisine, yani d/L oranına bağlı olarak değişmektedir. Burada d kayma dairesi dilimlerinden en derin olanının yüksekliği, L ise kayma yüzeyinin iki uç noktası arasındaki eğimli uzaklıktır.



Şekil 2.17. Janbu Basitleştirilmiş Yöntemi İçin Kullanılan Düzeltme Katsayısı [16].

2.5.1.3.7. Janbu Genelleştirilmiş Yöntemi

Janbu genelleştirilmiş yöntemi dilimler arası kesme kuvvetlerini (düşey kuvvetleri) bir noktadan etki ediyor olarak göz önüne almakta ve bu noktaların bir araya getirilmesi ile bir kuvvet tepkisi doğrusu oluşturmaktadır. Düşey kuvvetlerin toplanması ile normal kuvvet denklemi elde edilmektedir [16, 17].

Güvenlik sayısının çözümü için dilimler arası kesme kuvvetlerinden ve yatay kuvvetlerin dengesinden yararlanılır. B genişliğine sahip her bir dilimin tabanının merkezine göre çevresinde bulunan kuvvetlerin oluşturduğu momentlerin toplamından güvenlik sayısı elde edilir.

$$X_r = E_r \tan \alpha_t - (E_r - E_L)t_r / b$$

Bu eşitlik bir dilimin sağ tarafına ait kesme kuvvetinin değerini vermektedir. Burada;

α_t : Bir dilimin sağ tarafındaki doğrultusunun yatay ile yaptığı açı,

t_r : Bir dilimin sağ tarafındaki tepkinin doğrultusu ile dilimin tabanı arasındaki düşey uzaklıktır.

Ayrıca her bir dilimin üzerine yatay yönde etki eden kuvvetlerin toplanması ile elde edilen eşitlik aşağıda görülmektedir.

$$E_L - E_r = T_m \cos \alpha - N \sin \alpha$$

T_m : Her bir dilimin tabanında oluşmuş kesme kuvveti

N : Her bir dilimin tabanına etkiyen normal kuvvet

Janbu genelleştirilmiş yöntemi, moment dengesinin kullanıldığı, başka bir deyişle her bir dilim üzerindeki kuvvetler toplamının göz önüne alınarak kayma dairesinin özel bir şeklinin çözümlenerek güvenlik sayısının elde edildiği bir yöntemdir.

2.5.1.3.8. Lowe ve Karafiath Yöntemi

Lowe ve Karafiath yöntemi, güvenlik sayısının değerini bir kuvvet denge denkleminde hesaplar. Dilimler arası kuvvetler dilimin kayma yüzeyinin ortasında bir noktada birbirlerine eşittirler. Dilimler arası kuvvetlerin yönü de göz önüne alınmaktadır [18].

Kuvvet ve moment dengesi güvenlik sayısını elde etmek amacıyla basit limit dengenin kuralları Lowe ve Karafiath yöntemi için de geçerlidir. Özellikle kuvvet dengesinden elde edilen güvenlik sayısını diğer yöntemlerden elde edilen güvenlik sayısı değerleri ile karşılaştırmak kolaydır. Çünkü daha önce verilen yöntemlerden bir kısmı da kuvvet dengesini kullanarak güvenlik sayısını elde etmektedirler.

2.5.1.3.9. Corps of Engineers Yöntemi

Corps of Engineers yöntemi güvenlik sayısı değerini kuvvet denge denklemlerinden hesaplar. Lowe ve Karafiath yönteminde olduğu gibi dilimler arası kuvvetlerin yönlerini kayma yüzeyinin orta noktasında eşit kabul eder. Bunun bir anlamı da kayma yüzeyinin başlangıç ve bitiş noktaları arasında şevin orta noktasında kuvvetler birbirlerini dengelemektedirler.

Corps of Engineers yöntemi Lowe ve Karafiath yönteminde olduğu gibi bir kuvvet dengesi güvenlik sayısı hattı oluşturur. Güvenlik sayısının büyüklüğü, kuvvet ve moment dengesinden elde edilen güvenlik sayısı değerinden düşük veya yüksektir. Burada kenar kuvvetlerin göz önüne alındığı güvenlik sayısı değerinin moment dengesi güvenlik sayısı değerinden daha büyük olduğu kabul edilmelidir.

2.5.1.3.10. Morgenstern – Price Yöntemi

Morgenstern–Price her bir kayma dairesi diliminin tabanındaki merkez etrafındaki momentleri ve her bir dilimin tabanındaki normal ve teğet kuvvetlerin toplamını kullanarak güvenlik sayısı için çözüm getirmektedirler [19]. Denklemler sonsuz küçük

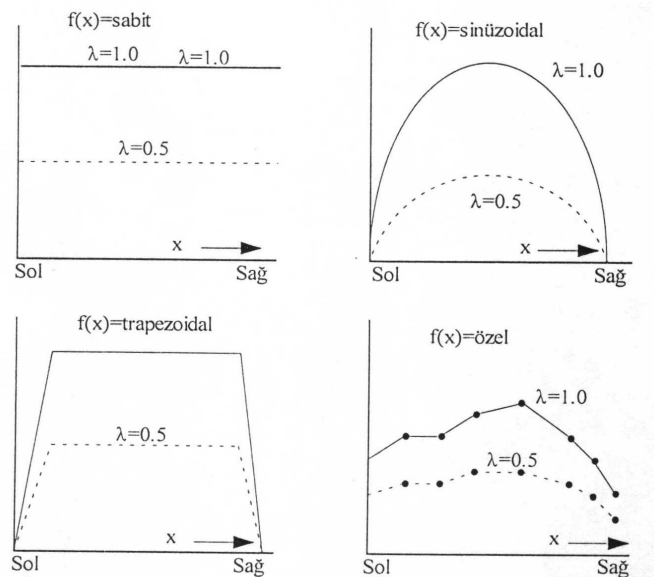
kalınlıklı bir dilim için yazılmaktadır. Kuvvet ve moment denge denklemleri birleştirilerek güvenlik sayısının çözümü için bir modifiye Newton-Raphson nümerik analiz yöntemi kullanılmaktadır. Dilimler arasındaki kesme ve normal kuvvetlerin yönleri göz önüne alınarak ve bu kuvvetler arasındaki tipik bir fonksiyon kurularak güvenlik sayısının değeri elde edilmektedir. Kuvvetler arasında kurulan tipik fonksiyonun şekli;

$$\tan \theta = X / E = \lambda f(x)$$

olmaktadır. Burada;

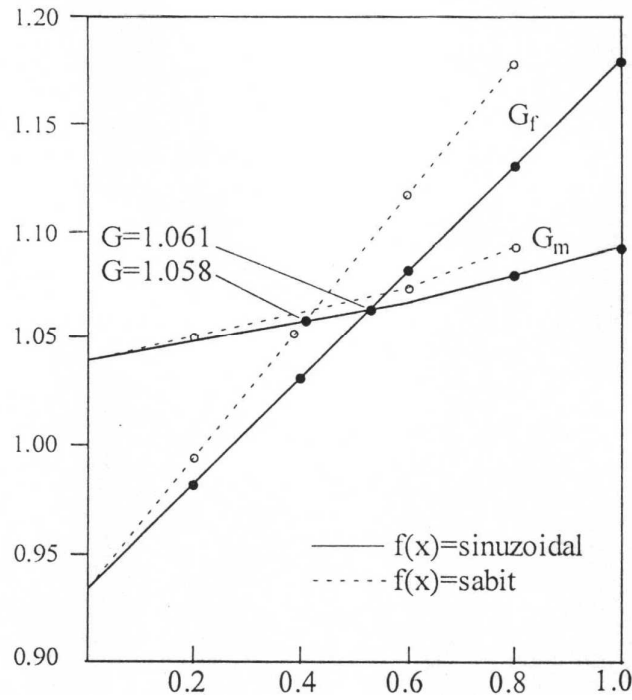
- X : Her bir dilimin kenarındaki kesme kuvveti
- E : Her bir dilimin kenarındaki normal kuvvet
- θ : Kayma kütlesi üzerindeki sisteme göre değişen açı
- $f(x)$: Kayma kütlesi üzerindeki X/E değişiminin fonksiyonu
- λ : Güvenlik sayısının çözümünde kullanılan fonksiyonun bağlı sabit

Morgenstern - Prince yönteminde kullanılan eşitlik için iki özel durum söz konusudur. Bunlardan ilki $f(x)=0$ çözümüdür ki bu durumda basitleştirilmiş Bishop yönteminin benzeri bir çözüm, ikincisi ise $f(x)=\text{sabit}$ çözümüdür ki Spencer yönteminin benzeri bir çözüm oluşmaktadır. Morgenstern – Price yönteminde kullanılmakta olan tipik fonksiyonlar Şekil 2.18.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.18. Morgenstern-Price Yönteminde Dilimler Arası Kuvvetlerin Yönlerinin Göz Önüne Alındığı Tipik Fonksiyonlar [19].

Kuvvet fonksiyonunun şekli kayan kütle içerisindeki dilimler arası kuvvetlerin değişiminin belirlenmesi ile tecrübelerle dayanarak seçilmektedir. Kuvvet dengesi güvenlik sayısı G_f 'nin, moment dengesi güvenlik sayısı G_m 'e eşit olduğu λ değerinin belirlenmesine kadar hesap tekrarlanmaktadır. Şekil 2.19'da seçilmiş olan iki tip fonksiyon için λ değerinin değişimine karşılık G_f ve G_m güvenlik sayısı değerleri gösterilmektedir.



Şekil 2.19. İki Tip Fonksiyon İçin λ Değerinin Değişimine Karşılık G_f ve G_m Değerleri [19].

2.5.2. Gerilme Dağılışı İle Stabilité Araştırmaları

Gerilme dağılışı ile stabilite araştırmaları elastisite teorisine dayanmaktadır. Zeminlerin elastik, homojen ve izotrop olduğu kabulleri yapılır. Kayma anında zemin içinde oluşan gerilmeler ve bu gerilmelerin dağılışı ile ilgili araştırmalarla sonuca gitmeye çalışılır. Sonuçta pratikte kullanılmayan uzun ve karışık formüllerle karşılaşılır. Yapılan hatanın belirlenmesi bile güçtür. Bu yüzden teorik araştırmalar olarak kalmıştır.

2.6. Şevlerin Stabilitelerinin İncelenmesinde Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları

Şev ile sınırlanmış zemin kitleleri kendi düzlemleri içinde yerçekimi etkisinden doğan kayma gerilmeleri sebebiyle, devamlı aşağı doğru çekilerek daha yatık bir yüzeye sahip olmaya zorlanmaktadırlar. Bu düzlemlerde doğabilecek kayma mukavemetleri, mevcut kayma gerilmelerine karşı durabilecek seviyede ise şevin stabilitesi vardır. Aksi durumda şev kayar. Şev stabilitesinin incelenmesi, şev hareketlerinin nedenleri ile gerekli kontrol ve önleme yöntemlerinin belirlenmesini kapsar. Şevlerin stabilitelerinin incelenmesi için yapılacak geoteknik araştırma amaçları aşağıda özetlenmiştir.

- Yeni bir kazı veya dolgunun yapılması
- Mevcut bir şevin güvenliğinin hesaplanması
- Mevcut bir şevde hareket ve göçmenin sebeplerinin bulunması ve alınacak önlemlerin tespiti

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

Geoteknik çalışmaların hacmi amaca uygun olarak ve zemin şartları göz önünde tutularak tespit edilmelidir. İşin önemine göre projelendirdikten ve inşaat safhasında ilgili çalışmalar tamamlandıktan sonra kazı ve dolgu yapılması, tavsiye edilen önlemlerin alınması sırasında ve işin tamamlanmasından sonra yapılacak kontrol çalışmaları da programda göz önüne alınmalıdır.

Geoteknik çalışmaların uzun zaman gerektireceği durumlarda eğer şevde bir hareket tehdidi varsa veya hareket başlamış ise, topuk yükleme, tepeden yük kaldırma ve benzer stabiliteyi artırıp hareketi çok azaltacak veya durduracak önlemler alınarak, öncelikli yapılmalıdır. Aksi halde, yetersiz çalışma ile yapılan değerlendirmelere göre hazırlanan projelerin uygulanması bazı durumlarda amaca uygun olmamakta ve çözümü de ekonomik olmamaktadır.

Bu konuda yapılacak çalışmalarda aşağıdaki yol izlenebilir [21]:

- Konu hakkında bilgi alınır,
- Arazide ön inceleme yapılır,
- Konu ve bölge ile ilgili mevcut bilgiler toplanıp bir ön değerlendirme yapılır,
- Sahada hareket varsa gözlem ve ölçüm altına alınır,
- Sahanın topoğrafik planı yoksa hazırlanır,
- Sahanın jeolojisi belirlenir,
- Jeofizik çalışmalar yapılır,
- Muayene kuyuları, galeriler açılır, sondajlar yapılır,
- Arazi deneyleri yapılır,
- Mühendislik jeolojisi haritası hazırlanır,
- Alınan numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılır,
- Elde edilen bilgiler değerlendirilir, geoteknik plan ve kentler çıkarılır, geoteknik rapor düzenlenir,
- Proje hazırlanır,
- Kazı veya dolgu yapılması ve/veya önlemleri alınması sırasında gözlemler yapılır. Gerekli hallerde uygulamada değişiklikler yapılır, ek incelemelere gidilir, gerekiyorsa gözlemlere işin tamamlanmasından sonra devam edilir.

Bu verilen sıralamada incelenen konuya göre değişiklikler yapılabileceği gibi, bazı kademelerden kısmen veya tamamen vazgeçilebilir veya kademeler birleştirilebilir.

Yukarıda verilen sıralamaya göre bir şevin stabilitesinin incelenmesi arazi çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilir.

2.6.1. Arazi Çalışmaları

Şev stabilitelerinin araştırılmasında ilk adımı arazi çalışmaları oluşturur. Bu çalışmalar şev hareketleri ile ilgili verilerin toplanmasını amaçlar. Arazi araştırmaları tüm çalışmaların başı olduğu için gereken önem verilmeli ve özen gösterilmelidir. Veriler titizlikle toplanmalıdır.

2.6.1.1. Saha Üzerinde Ön İnceleme

Gözlem ve bölge haritalarının incelenmesi ile elde edilen genel çevre bilgisinden sonra arazinin gezilmesi ve fiziksel koşullarının incelenmesi gerekir. Bu incelemeyi üç aşamada gerçekleştirmede yarar vardır.

İlk aşama, çevre araziler, doğal ve yapısal şevler gezilmelidir. Bu bölgelerdeki durum gözlenerek, heyelan bölgesi olan esas araziye bir yaklaşım yapılır. Çevre arazilerde rastlanan kayma belirtileri, bölgenin genelde bir heyelan alanı olduğunu gösterir.

İkinci aşama bölgenin belirli uzaklıktan gerekirse havadan gözlenmesi ve şevlerin incelenmesidir. Fotojeoloji, hava fotoğraflarının jeolojik ve jeomorfolojik araştırmalara uygulanmasında çok faydalı olmaktadır. Birbirlerini belli oranda örten havadan çekilmiş resim çiftlerinin sağladığı üç boyutlu görüş olanağı sayesinde yüzey şekilleri ve jeolojik yapı hakkında önemli ipuçları elde edilebilmektedir. Hava fotoğraflarının yorumlanması sonucu zemin cinsleri, tabakalaşma çatlak sistemleri, fayların kitle hareketleri, hareket ihtimali olan yerler belirlenerek arazi çalışmalarında hız kazanılabilmektedir.

Üçüncü aşama şev hareketinin meydana geldiği arazinin gezilmesidir. Arazi ilk defa gezilirken topografik harita ile sahanın uyumu sağlanır, şev hareketinin yeri kesin tariflenir. Gezi sırasında şev hareketleri belirtileri aranır ve bulgular topografik plana işlenir. Arazinin genel durumu, eğimleri, bitki örtüsü ve kök derinlikleri, zemin cinsleri, yeraltı ve yerüstü yapıları ve su kaynakları araştırılır. Bir şev hakkındaki tarihi bilgi, kayma neden ve mekanizmasını belirleyebilir. Şevin jeolojik yapısı, oluşumu, yarma ve dolgu yapımı, aşırı yükleme durumları soruşturulmalıdır. Bölgenin yağış ve akış durumu, kontrasyonu ve ısı ile ilgili bilgiler edinilmelidir.

Doğada hiçbir şev hareketi diğerinin benzeri değildir. Her şev hareketi için tüm ön inceleme ve araştırmalar yapılmalı ve değerlendirilmelidir [10, 20, 21].

2.6.1.2. Topoğrafik Çalışmalar

Şev hareketleri araştırma çalışmaları başlangıcından bitimine kadar, topoğrafik planlar veya arazi plankoteleri ve kesitleri üzerinde geçmektedir. Bu yüzden topoğrafik araştırmaların doğru ve istenilen hassaslıkta olması istenir. Plankote çalışmalarının

amacı, arazi belirlenecek şev hareketi nedenine, oluşumuna, geçmiş ve gelecekteki hareketine ışık tutacak bilgileri toplamak ve bunları bölgesel ayrıntıları ile göstermektedir.

Heyelanlardan alınacak plankotelerin ölçeği arazinin büyüklüğüne, kaymanın önemine ve kullanma amacına göre değişir. Genellikle 1/500–1/1000 ölçekleri uygundur. İstenildiği takdirde, önemli kısımların büyük ölçekli plankotesi çıkarılır. Tesviye eğrilerinin aralıklarını mühendis deneyimlerine göre belirler. Bu aralıklar (1, 2, 5 m) olabilir.

Plankote kapsamına, tesviye eğrileri boyunca kayan kütlenin en az iki katı genişliğinde, kayma bölgesinin her iki tarafındaki zemin girilmelidir. Plankotenin alt ve üst sınırını, şev dibi ve şev tepesi belirler. Fiziki oluşumlara ve mühendisin görüşlerine göre saptanacak sınırlar içinde plankote çıkarılır.

Bir heyelan plankotesi çeşitli bilgiler içerir. Bu plankotede kayma bölgesinin tam yeri kesin olarak belirtilmelidir. Önemli kotlar, tepeler ve sondaj yerleri işaretlenmelidir. Yerleşim yerleriyle bunların karayolu ve demiryolu bağlantıları varsa gösterilmelidir. Ayrıca kayma bölgesi etrafındaki akarsular, göller, tüm su toplama yerleri, pınarlar, sızıntılar, hendekler, kanallar, drenaj hatları, boru hatları, kanalizasyon boruları gibi su kaynakları ve geçirgen tabakalar belirtilmelidir [10].

2.6.1.3. Jeolojik Araştırmalar

Şev stabilitesinin inceleneceği sahada eğer dolgu söz konusu ise ariyet sahasının jeolojisinin bilinmesini büyük fayda sağlar. Jeolojik çalışmalara yüzeyden yapılan gözlemlerden başlayarak gerekiyorsa açılan muayene çukurları ve sondajlardan, elde edilen bilgilerin de göz önüne alınması ile yapılacak detaylı mühendislik jeolojisi haritalarının hazırlanmasına kadar gidilebilir. Bu çalışmalarda malzemenin taşınmış veya yerinde oluşmuş olup olmadığının belirlenmesi, jeolojik yüklerde zamanla değişikliğin yer alıp almadığının, şevi etkileyen jeolojik kuvvetlerin var olup olmadığının incelenmesi yapılmalıdır. Kayaçların tabakalaşma, dalım eğilim ve doğrultuları ile kırık sistemleri belirlenmelidir [21].

Stratigrafik yapısı iyice belirlenen sahada hidro jeolojik durumda incelenmeli ve su basıncı doğup doğmayacağı konusu açıklık kazanmalıdır. Jeolojik çalışmaların geoteknik raporun düzenlenmesine büyük katkısı açıktır.

2.6.1.4. Jeofizik Çalışmalar

Jeofizik çalışmalarla genelde büyük farklı fiziksel özellikleri olan tabakaların geçişleri gözlenebilmektedir. Bu farklılıkların gerçek durumlarının sondaj ve muayene kuyuları ile belirlenmesi, yanlış değerlendirmeleri önlemek için gerekmektedir. Bölge için bu tip korelasyon belirlenirse sonuçların değerlendirilmesi hızlı ve ekonomik olabilmektedir.

Kaya ve zemin sınırının belirlenmesinde, ayrılmış zonlar ve bloklar belirsizlikler yaratmaktaysa da, kolaylık sağlayan bu metotlarla fiziksel özellikler arasında az farklar olan tabaka sınırlarını kesin belirlemek olanaksızdır [21].

Sismik yöntemlerle de yukarıda verilen konular incelenebilmekteyse de, geoteknik yönden yöntemin esas faydalı alanı elastik modülünün tahmini ile dolgu ve zemin iyileştirme işlerinin kontrolüdür.

2.6.1.5. Zemin Araştırmaları

Zemin araştırmaları, kayma yüzeyinin belirlenmesi, sevi oluşturan zemin cinslerinin ve mühendislik özelliklerinin saptanması, jeolojik yapı ve yeraltı su durumu hakkında bilgi edinmek için yapılır [10, 20].

Zemin özelliklerinin ve kayma yüzeyinin belirlenmesi için kullanılan yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

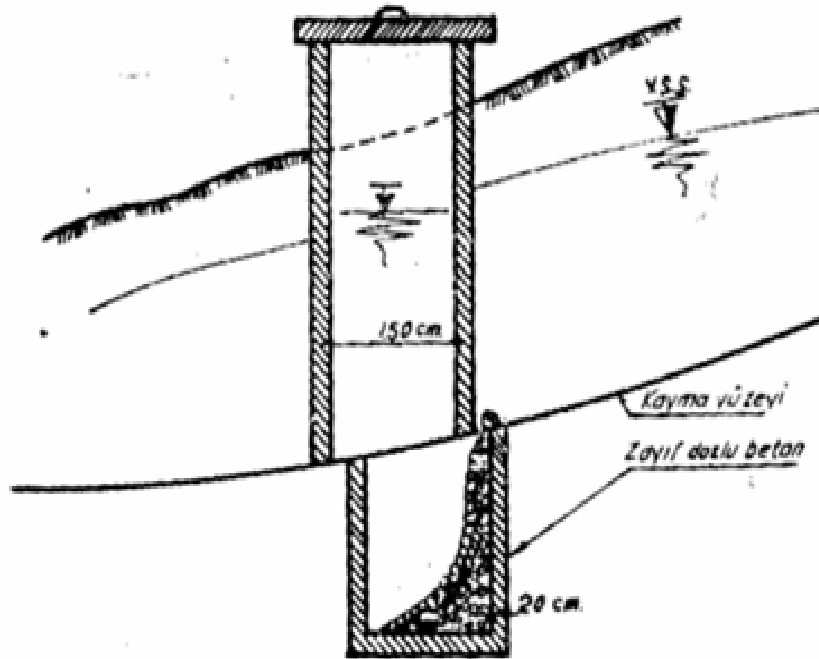
- a. Çukur açmak
- b. Kaplamalı kuyu açmak
- c. Sondaj yapmak
- d. Zemine hortum yerleştirmek

2.6.1.5.1. Çukur Açmak

Yüzeysel hareketlerin kayma yüzeyini belirlemek ve güvenilir veri toplamak için uygulanan bir yöntemdir. Araziyi en iyi tanımaya yardım eden noktalarda (1.5*2.5 m.) boyutlarında çukurlar açılır. Geçilen zeminler üst ve alt kotları ile belirlenir, cep penetrometresi ve benzeri aletlerle ölçümler alınır. Kayma yüzeyi gözle ayırt edilmeye çalışılır. Gerekli görülen yerlerden örselenmemiş ve temsili zemin numuneleri alınır. Ayrıca bu yöntem ile su tabakalarını, miktarını ve sızıntılarının gözlemek olasıdır.

2.6.1.5.2. Kaplamalı Kuyu Açmak

Uzun süreli şev hareketleri araştırmalarında kayma yüzeyinin belirlenmesi için bu yöntemden yararlanılır. Genellikle 2*2 m. kesitinde, 10 - 15 m. derinliğinde zayıf dozlu beton ile kaplı kuyular açılır. Tabana beton dökülür. Yeni kaymalar beklenerek, kayma yüzeyi veya yüzeylerinin yeri belirlenir. Kuyu açılması sırasında muayene çukuru olarak değerlendirilir (Şekil 2.20.).



Şekil 2.20. Kaplamalı Kuyu [10].

2.6.1.5.3. Sondaj Yapmak

Sondaj, zemin araştırmalarında en çok kullanılan çok yaygın bir yöntemdir. Zemin tabakalaşmasının ve zemin özelliklerinin belirlenmesi için numune alamaya yarar. Zemin zelliklerinin derinlikle değişimini gözlemek için sık aralıklarla numune alınır ve yerleşim özelliklerini belirlemek için penetrasyon deneyi yapılır.

Sondaj düzeni ve yapılma şekli çalışma öncesinden belirlenmelidir. Kayma eksenini boyunca zemin profili elde edilecek şekilde sondaj yerleri tespit edilir. İlk sondajlar mümkünse kayma bölgesi ortasında yapılır ve kayan kütlenin derinliği bulunmaya çalışılır. İkinci sondajlarla ise topuk noktasının belirlenmesi amaçlanır. Diğer sondajlar, kayma bölgesinin kritik noktalarında yapılır. Sondajlar bölgeyi ve zemin profilini tanımaya yetecek sayıda olmalıdır.

Yapılan sondajlarda karşılaşılan, su muhtevasında ani artma, düşük penetrasyon değerleri ve sudan dolayı zemindeki renk değişimi kayma yüzeyine yakın bölgenin belirtileridir. Zemin numunelerinde görülen birbirine paralel kırık çizgiler ve parlak cilalı yüzeylerde kayma yüzeyi belirtilerindendir.

Sondaj sırasında, sondaj numarası ve kotu belirlenerek plankoteye işlenmelidir. Alınan numuneler hemen parafinlenmelidir. Üzerlerine şev hareketinin meydana geldiği yerin ismi, kilometresi, sondaj numarası, alınış doğrultusu, numuneyi alanın adı ve alınış tarihi yazılmalıdır.

2.6.1.5.4. Zemin Hortum Yerleştirmek

Amaç, kayma yüzeyinin belirlenmesidir. Sondaj veya özel olarak açılan deliklere hortum yerleştirilir. Zamanla ştten sokulan çubuklar ile ölçümler alınarak kayma hareketi ve varsa yer altı su seviyesi değişimleri gözlenir. Yeni bir heyelanın beklenmesi, birden fazla kayma yüzeyi halinde alttakilerin belirlenememesi ve su durumunun gözlenememesi yöntemin olumsuz yönleridir.

2.6.1.6. Yeraltı Suyu

Şev stabilitesinde yeraltı suyu, genelde boşluk suyu basıncı çok önemli bir etkindir. Yeraltı su seviyesi altında bulunan zemin tabakalarının suya doymun olduğunun kabulü genelde doğru olduğu halde, kapiler ve tutuk su sebebiyle suya doymun olma zemin yeraltı su seviyesi altında olduğunu göstermemektedir.

Sondaj veya muayene kuyusu içine yerleştirilmiş delikli bir tüp içinde suyun yükseldiği Y.A.S.S. (Yeraltı su seviyesi) dir. Bununla beraber ortamın az geçirimli olması halinde, tüp içinde ölçülen seviyenin dengeye gelmesi zaman istemektedir. Bu durumlarda ‘su seviyesi/zaman’ bağıntısı çizilerek denge su seviye bulunmalıdır. Sondaj borularında kısa sürelerde doğrudan ölçülen su seviyelerine bu bakımdan her zaman itimat olunmamalıdır. Zemin tabakalarının geçirimliliği çok az ise sondaj borusuna ve hatta tüpe giren su miktarı az olduğundan buharlaşmada düşünülürse, Y.A.S.S. tayini için boşluk suyu basıncını ölçen piyezometreler kullanılması gerekebilir. Piyezometre seçilirken sistemde havanın tamamen boşaltılması imkanının daima sağlanabileceği ve kalibrasyonun kolay olması incelenmelidir. Bazı tip piyezometrelerde permeabilite deneyi de yapılabilmektedir. Şevde dayanma yapıları ile stabilitenin sağlanması yoluna gidilecekse yeraltı suyunda betona zararlı maddeler aranmalıdır.

2.6.1.7. Arazi Deneyleri ile Gerilme ve Deplasmanların Ölçülmesi

Geoteknik çalışmalarda yerinde yapılan (in-situ) deneyler, zemin profili hakkında bilgi edinerek, zeminin belli bir özelliğini ölçmek; işin yapımı sırasındaki kontrolü ve iş tamamlandıktan sonra yapıların davranışını ölçmek amaçlarıyla yapılabilir.

Yerinde yapılan deneyler genelde zemin incelenmesi için açılan sondajı deliklerinde veya muayene kuyularında yapılır. Bazı deney aletleri deliklerini kendi açan bir sisteme sahiptirler. Bazı hallerde deney için özel sistem oluşturulur. Yerinde yapılan bu deneylerde numune almadaki örseleme minimuma indirilmekte, zemin içinde bulunduğu hakiki çevre koşullarında (gerilme durumu, boşluk basıncı, doymunluk derecesi) deneye tabi tutulmakta, deney sayısı kolayca arttırılabilmekte, inceleme maliyeti azaltılmaktadır.

Arazi deneyleri ile doğrudan veya dolayısı ile zeminin kayma mukavemeti, gerilme-deformasyon karakteristikleri, permeabilite bulunabilmektedir. Şevlerde kayma mukavemetinin önemli bir özellik olduğuna yukarıda değinilmiştir. Aşağıda genelde uygulanabilinen deneylerin şev problemlerinde kullanım imkanlarına değinilmiştir.

2.6.1.7.1. Penetrasyon Deneyi

Zeminin içine bir koni veya silindir çakılmasına veya itilmesine karşı gösterdiği direnç ile kayma mukavemeti arasında dolaylı bir ilgi kurma esasına dayanır. Sayısı fazla olan penetrasyon deneyleri dinamik, standart ve statik olarak gruplandırılabilir. Dinamik penetrasyon deneyinde, deney aleti genelde deliğini kendi açmaktadır. Standart penetrasyon deneyi ile şev ve şev topuğu altındaki malzemenin kohezyonsuz olması halinde relatif sıklığı, kohezyonlu zeminler kıvamı, istatistiksel bağıntılarla kumlarda kayma mukavemeti açısı, suya doymun kohezyonlu zeminlerde kohezyon ile ilgili bilgilerin elde edilebilmektedir. Kohezyonlu zeminler için deney sonuçlarına çok fazla güvenilmemelidir. Statik Penetrasyon Deneyi ile SPT deneyine nazaran boşluk basıncı ve daha fazla sayıda zemin özelliği ölçülebilmektedir.

2.6.1.7.2. Kanatlı Kesici Deneyleri (Vane Tests)

Yumuşak killerin kayma mukavemetini tayin için en uygun metottur. Sondaj deliğinde yapılabildiği gibi kendi deliğini açan tipleri de vardır.

2.6.1.7.3. Permeabilite Deneyleri

Sondaj kuyu deliklerinde veya özel olarak açılmış deliklerde yapılan bu deney ile şev malzemesi permeabilite katsayısı bulunabilmektedir.

2.6.1.7.4. Plaka Yükleme Deneyleri

Özel kuyularda veya büyük çaplı sondaj kuyuları tabanında yapılan bu deneyler ile zeminin mukavemeti ve deformasyon karakteristikleri tayin edilebilir. Daha çok örselenmemiş numune alınamayan kohezyonlu zeminlerde, yumuşak kayalarda kullanılmaktadır.

2.6.1.7.5. Yerinde Kesme Deneyi

Zemin yüzünde, alt düzlemi zeminden ayrılmamış olarak traşlanmış bir zemin prizması üzerinde kesme kutusu deneyine benzer bir teknikle kesme deneyi yapılabilir. Bu tip bir deney şevlerde muhtemel kayma yüzeyinde seçilen herhangi bir noktadaki kayma mukavemeti doğrultusuna paralel bir doğrultuda kesme deneyi yapılmasını sağlayacak şekilde geliştirilmiştir.(yerinde kama kesme deneyi-Mirata)

2.6.1.7.6. Presiometre Deneyleri

Sondaj kuyusunda veya kendi açtığı delikli uygulanan bu deney son yıllarda büyük bir gelişme göstermiştir. Bu deney ile yerindeki (in-situ) yanal toplam gerilme P_{ho} , kayma modülü G , killerin drenajsız kayma mukavemeti S_u , kumlarda kayma mukavemeti açısı ve killerde yatay konsolidasyon katsayısı C_h bulunabilmektedir.

2.6.1.7.7. Birim Hacim Ağırlığı Tayini

Muayene kuyularında veya dolgu yapılırken dolgu yüzünde tabii birim hacim ağırlığı, değişik hacim ölçme yöntemleri kullanarak, bulunabilmektedir.

Bir zemin cinsi için kalibrasyon eğrisi tespit edildikten sonra aynı zemin için nükleer yöntemlerle birim hacim ağırlığı süratle bulunabilmektedir.

2.6.1.7.8. Deneme ve Dolgu Kazıları

Arazide büyük boyutlarda deneme dolgu ve kazıları yapılarak dolgu malzemesinin, tabii zeminin mukavemet ve oturma karakteristikleri, sıkıştırma ve kazı makinelerinin performansı incelenebilir.

2.6.2. Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar deneylerinin amacı;

- Numuneleri tanıyıp sınıflandırarak benzer geoteknik şartları da zeminlerle ilgili olarak geçmişteki tecrübelerden yararlanma imkanı sağlamak,
- İncelenen geoteknik konunun çözümünde kullanılması gerekli zemin özelliklerini tespit etmek,

olarak ifade edilebilir.

Şev stabilitesi ile ilgili geoteknik problemlerin çözümünde kullanılan yöntemlerin çoğu plastik dengeye dayanmaktadır. Elastik teoriye göre yapılan analizlerde elde edilen deplasman ve gerilmelerin, kabul edilebilir sınırlar içinde olduğunun gösterilmesi gerektiğinden bu durumda da elastiklik modülü, poisson oranı yanında gene kayma mukavemeti parametrelerinin tayini zorunlu olmaktadır. Bu bakımdan alınan numunelerin tabi tutulacakları deneyler arasında en önemlisi kayma mukavemeti parametrelerini tespit deneyi olmaktadır.

Laboratuara gelen numuneler üzerinde, sondaj ve muayene kuyusu logları hazırlanmış olsa dahi, gözle muayene yapılarak varılan sonuçlar kaydedilmeli, bunlarla loglardaki farklılıkların açıklanması yoluna gidilmelidir.

Numuneler üzerinde sınıflandırma deneyleri yapılarak zemin numunelerinin Birleşik Sınıflandırma ve AASHTO sınıflandırmasında yerleri tespit edilmelidir. Şevin dolguda olması halinde kompaksiyon özellikleri, relatif kıvam relatif sıklık değerleri tayin olunmalıdır.

Kazı ve dolgu şevleri halinde şev topuğu altındaki zeminin deformasyonunun incelenmesi gerekeceğinden ödometre ve üç eksenli aletlerle gerilme/deformasyon, deformasyon/zaman parametreleri elde edilmelidir.

Elastik modüllerin kullanılması gerekiyorsa bunlar genelde üç eksenli deneylerde bulunmaktadır. Laboratuvar deneylerinden elde olunan elastik modülünün genelde arazi değerinden büyük olduğu görülmektedir.

Şev stabilitesi ile ilgili olarak dayanma yapıları söz konusu ise zeminde ve yer altı suyunda PH organik madde, sülfat, karbonat ve klorür, miktarlarının bulunması, korozyon etkisinin incelenmesi gerekebilir. Permeabilite katsayısı genelde ödometre deneylerinin dolaylı olarak veya permeametre deneylerinden bulunur.

Kayma mukavemeti parametrelerinin tayini için genel olarak üç eksenli, tek eksenli (serbest basınç deneyi), kanatlı kesici deneyi, kesme kutusu deneyleri yapılır. Elde arazi ölçümleri mevcutsa geri hesapla bazı özelliklerin bulunması mümkündür.

Yukarıda söz edilen deneylerin her şev probleminde muhakkak yapılması gerekmediği açıktır. İmkan dahilinde deney tip ve sayısının yeterli olmak şartı ile minimum tutulması istenir.

Şev stabilite problemlerinde şevin geometrisi yanında şev topuğu üstündeki ve altındaki zeminin birim hacim ağırlıkları, kayma mukavemeti parametreleri, boşluk basıncı değerlerine ihtiyaç olmaktadır.

2.6.2.1. Boşluk Basıncı Katsayıları

Şev stabilite hesaplarında birçok halde efektif kayma mukavemeti parametreleri kullanıldığından, şevde boşluk basıncının bilinmesi gerekmektedir. Şev problemlerinde boşluk basıncı iki değişik şekilde söz konusu olmaktadır.

- Boşluk basıncının, gerilmelerden bağımsız bir değişken olarak yeraltı su seviyesi veya akım ağı tarafından kontrol edildiğinde problemlerde, boşluk basıncı ya akım ağından veya arazi ölçümlerinden bulunabilir.
- Düşük permeabiliteli zeminlerde, hızlı olarak dolma veya kazı yapılması hallerinde olduğu gibi, boşluk basıncı gerilme değişimlerine bağlıdır. Bu durumda gerilme değişimlerinin meydana gelmesinden önce, boşluk basıncı u_o ise değişimden sonra bu değer; $u = u_o + \Delta_u$ olmaktadır. Bu durumda meydana gelen u boşluk basıncı, zamanla değişerek, yeraltı su seviyesi veya sızmasının mevcut şartlarına uygun bir denge durumuna gelmektedir.

Her durumda efektif gerilme $\sigma' = \sigma - u$ olmaktadır. Boşluk basıncı gerilme durumuna bağlı olduğu hallerde Δ_u boşluk basıncı değişimi;

$$\Delta_u = B|\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)| \text{ veya } \Delta_u = B\Delta\sigma_3 + (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \text{ olarak ifade edilir.}$$

Bazı hallerde belli bir asal gerilme oranı için, $\Delta_u = \bar{B}\Delta\sigma_1$ bağıntısı kullanılmaktadır.

Burada; $\Delta\sigma_1$ ve $\Delta\sigma_3$ asal gerilmelerdeki değişimi, A, B, $\bar{A}$, boşluk basınç katsayıları gösterir.

Suya doymun zeminlerde B=1'dir. Suya doymun olmayan zeminlerde boşluklardaki su (u_w) ve hava u_a basınçları birbirlerine eşit olmayıp, boşluk basıncı u, X deneysel bir katsayı olmak üzere efektif basınç;

$$\sigma' = \sigma - u_a + X(u_a - u_w) \text{ veya } \sigma' = \sigma - [u_w + (1 - X)(u_a - u_w)] \text{ şeklinde bulunur.}$$

Zemin kum ise X=0, suya doymun ise X=1 değerlerini almaktadır. S_r doymunluk derecesinin %90 üzerinde olması halinde X=1 alınabilmekte, yani deneyde ölçülen boşluk suyu basıncı, u olarak kabul edilebilmektedir.

Projelendirme için boşluk basınç katsayıları üç eksenli deneylerden elde edilmektedir. Bu tip problemlerde arazi ölçümleri yapılarak boşluk basınçlarının kontrolü yapılması gerekmektedir [2, 11].

2.6.2.2. Kayma Mukavemeti Parametreleri

Zeminlerde kayma mukavemeti (kırılma şartı) $\tau_f = s = c + \sigma g \phi$ bağıntısı ile ifade edilmektedir. Efektif gerilmelere göre bu bağıntı $\tau_f = s = c' + (\sigma - u)tg\phi'$ olmaktadır.

Burada c, ϕ ve c', ϕ' kayma mukavemeti parametreleri olup toplam ve efektif gerilmelere göre 'kohezyon' ve 'kayma mukavemeti açısı' olarak adlandırılır. Laboratuarda elde edilen kayma mukavemeti parametreleri en önemlisi drenaj şartı olmak üzere değişik faktörlere bağlıdır. Bu sayılar ayrıca deney sırasında kırılma konumuna ulaşmak için takip edilen gerilme izinden de etkilenmektedirler.

Kayma mukavemetini laboratuarda tayini için, yapılan deneylerdeki drenaj ve gerilme bakımından kabul edildiği kadar arazi şartlarını da dikkate almak doğru olacaktır. Özel

aletler ve sistemler gerektiren deneyler bir kenara bırakılırsa, pratik çözümler için, örselenmemiş veya arazi şartlarını temsil eden numuneler üzerinde yapılan standart kesme kutusu deneyleri üç eksenli basınç deneyleri ve kanatlı kesici deneyleri yeterli olmaktadır. Bunlardan üç eksenli basınç deneyleri boşluk basıncını ölçmek drenaj ve gerilme şartlarında bazı sınırlamalara rağmen kontrol imkanı sağlama bakımından en kullanışlı deney tipi olmaktadır. Deneyler;

- Konsolidasyonsuz Drenajsız (UU)
- Konsolidasyonlu Drenajsız (CU)
- Konsolidasyonlu Drenajlı (CD) şartlar altında yapılmaktadır.

UU ve CD deneylerinde boşluk basınçları ölçülebilmektedir. CD deneyinde deney süresince $u=0$ şartı sağlanmaktadır.

Standart serbest basınç ve kanatlı kesici deneyleri bir UU deneyidir. Kesme kutusu deneyi kohezyonlu zeminlerde uygun hızda yapılırsa CD şartlarını sağlamaktadır.

Deneylerden elde edilen (c_u, ϕ_u) , (c_{cu}, ϕ_{cu}) , (c_d, ϕ_d) , (c', ϕ') parametreleri

- $c' = c_d$, $\phi' = \phi_d$
- Normal konsolide killerde $c=0$,
- Suyu doymuş halde $\phi_u=0$,
- Kohezyonsuz zeminlerde $c=0$ değerlerini alırlar.

Kohezyonsuz zeminlerde örselenmemiş numune alınması çok zor olduğundan, deneyler, arazideki birim hacim ağırlığına eşit olacak şekilde hazırlanan numuneler üzerinde yapılır. Birim hacim ağırlığı ve ϕ' değerleri, standart penetrasyon deneylerinden elde edilen N sayısına bağlı olarak geliştirilen istatistiksel bağıntılardan bulunabilmektedir.

Şev stabilite hesaplarında, aşırı konsolide killeri için c_r', ϕ_r' kalıcı kayma mukavemeti parametreleri deneysel olarak bulunur.

Suyu doymuş olmayan killerde, basıncın havanın su içinde erimesini sağlayacak seviyenin altında olması halinde daima bir kohezyon elde edilir. Şev dolgu malzemesi

için deney numuneleri proktor tekniği ile optimum su muhtevasında hazırlandığı için suya değillerdir. Tayinleri zor olan hakiki kayma mukavemeti parametreleri ϕ_e içsel sürtünme açısı ile c_e hakiki kohezyon değerlerinin şev stabilite hesaplarında, pratikte kullanım yeri yoktur [11].

Aşağıda şev stabilite hesaplarında parametrelerin kullanım yerleri kısaca verilmiştir.

Kohezyonsuz zeminlerde ϕ' kullanılmamalı, sızma basıncı akım ağından elde edilebilir.

- Normal konsolide killerde kısa süreli problemlerde $c_u = \phi_u = 0$ değerleri alınabilir.
- Kohezyonlu zeminlerde uzun süreli stabilite problemlerinde, genel boşluk basıncı denge haline gelmiş olacağından c' , ϕ' değerleri kullanılmalıdır. Boşluk basıncı akım ağından veya arazi ölçmelerinden elde edilir.
- Suyu doymuş fisürlü killerde fisürleri içine alacak şekilde hazırlanmış numunelerden elde edilen $c_u, \phi_u = 0$ değerleri veya c' , ϕ' değerleri kullanılabilir. Boşluk basınçları, laboratuvar deneylerinden elde edilen boşluk basınç katsayılarından bulunabilir.
- Sıkıştırılmış dolgular için proktor tekniği ile yerleştirme su muhtevasında hazırlanmış tam doymuş olmayan numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen c' , ϕ' değerleri kullanılabilir. Zamanla yeraltı ve yerüstü suları ile yumuşama söz konusu ise deneylerde bunun sağlanmasına çalışılmalı, hesaplarda c' ihmal edilmelidir. Boşluk basınçları, boşluk basınç katsayıları ile hesaplanabilir.

2.7. Heyelan Kontrol ve Önleme Yöntemleri

Kitle hareketleri incelenirken önerilen yöntemler iyileştirmeden çok önleyici ve koruyucu türdendir. Heyelanın ne zaman olacağını söylemek mümkün değildir. Ancak bazı belirtiler, örneğin; binalarda ve zeminlerde görülen fissür çatlaklar, düşeyden kaçmalar, topografya değişmesi, ufak kaymalar, çökmeler, yer yer oturmalar ve kabarmalar, drenaj sistemindeki ani değişimler, eski heyelan topografyası, tecrübeli mühendis ve jeologlara ipucu verir. Fakat hakiki bilgi, uzun ölçü ve gözlemler sonucu elde edilir.

Heyelan etütlerinde yerçekiminin etkisi, yeraltı sularının aktif rolü, değişik karakterli tabakaların litolojik bileşimleri, dokusu ve jeolojik yapılan ayrıntılı bir şekilde araştırılır. Heyelandan sonra, aynı yerde başka göçmelerin meydana gelmemesini sağlamak için, heyelanın analizi yapılır, önleyici ve koruyucu çareler aranır. Heyelan alanlarının ilk incelenmesi topografik haritalar ve daha ziyade, havadan alınan fotoğraflar üzerinde yapılır. Foto jeoloji çalışmadan sonra fay, fissür ve kırıklarla beraber zeminin cinsi, bileşim, kayma yüzeyi ve yeraltı su seviyesi sondajlarla araştırılır; alınan bozulmamış numuneler üzerinde, laboratuarda kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı saptanır. Bunlardan sonra önlemler araştırılır ve saptanır, önlemler her olaya göre başka başkadır. Yerine göre en uygununu seçmek ve yapılması gerekenleri belirtmek bir deneyim ve uzmanlık işidir.

Kitle hareketlerine karşı alınacak ilk önlemler, bu olayları meydana getiren sebepleri:

- a. Ortadan kaldırmak,
- b. Kaydırıcı kuvvetleri azaltmak,
- c. Tutucu kuvvetleri çoğaltmakla mümkündür.

Bu nedenle, genellikle topuk ve yamaç aşınması, topuk ve civarında kazı yapılması, yamaç aşınmaları, ek yükleme, yamaç örtüsünü kaldırma v.b. dengeyi bozmazdır. Önleyici çareler de topuğa yük koyma, aşınmayı önleme, yüzey sularının şev içine girmesini önleme, yeraltı sularını dışarı çıkarma(drenaj) ve bu suretle koruyucu kuvvetleri arttırarak dengeyi sağlamaktır. Bir heyelanın önlenmesi çeşitli şekillerde olabilir. Kitle hareketlerini ve heyelanları önleme yöntemlerini aşağıdaki gibi gruplandırabiliriz.

1. Heyelanlı Bölgeden Uzaklaşma (Hareketin Olduğu Bölgeden Uzaklaşma)

- Heyelanlı bölgeden yeterli bir ripaj yaparak yolu uzaklaştırmak
- Kırmızı çizgiyi düzenlemek
- Heyelanın üstünden geçmek

2. Heyelan (hareket) Nedenini Ortadan Kaldırmak

- Drenaj
- Kazılar
- Topuğa yük koyma

3. Tutucu Bir Yapı (Dayanma Yapıları)

- Etekte taş dolgu
- İstinat duvarı
- Kazıklar
- Palplanş

4. Diğer Önlemler

- Zemin kimyasal stabilizasyonu
- Patlayıcı madde kullanmada
- Şevlerin ağaçlandırılması
- Şevlerin korunması
- Şevin düzenlenmesi

2.7.1. Heyelanlı Bölgeden Uzaklaşma

Tasarlanan mühendislik yapılarının, heyelan olasılığı yüzünden yerlerinin değiştirilmesi, ileride doğabilecek heyelanlardan korunmak açısından bir çözüm yoludur. Bu yöntemin sağladığı yarar stabilite garantisidir. Fakat yer değiştirme ile oluşan ekonomik değer kaybı gözden uzak tutulmamalıdır. Sadece inşaat maliyeti ile kıyaslama yanlış seçimlere yol açabilir. Yapıların ömürleri, sosyal yaşam üzerine etkileri araştırılmalıdır. Bunların sonucunda, heyelandan kaçmaya veya kontrol ve önleme yöntemlerini almaya karar verilir. Karayolları geçki planlamasında, heyelanlı bölgelerin geçimi sorun yaratır. Diğer yöntemlerin yanı sıra, geçki değiştirilmesi, kırmızı çizgi düzenlenmesi, köprü veya viyadük ile heyelandan uzaklaşma yöntemleri de çözüm için kullanılabilir.

2.7.1.1. Heyelanlı Bölgeden Yeterli Bir Ripaj Yaparak Yolu Uzaklaştırmak

Bu önlem ile heyelan bölgesini terk edilerek sorunu tümden ortadan kaldırır. Ancak yeni proje düzenlenmesi, yeni yapım organizasyonu gerektirir. Harcamalar yapılmış ise bunların bir bölümü boşa gidebilir. Ripaj ayrıca yeni harcamalar getirir. Baştan beri yapılmış işlerin hacmi artar. Sonuç olarak çok zaman ve para harcaması gerekebilir. Heyelanı sağlamlaştırmak ile ripaj arasında maliyet karşılaştırılması yapılmalıdır.

2.7.1.2. Kırmızı Çizgi Düzenlemesi

Heyelanlı bölgeden uzaklaşma yolu ile heyelanın önlenmesi her zaman yol geçkisinde veya yapının oturacağı yerde bir değişiklik yapmayı gerektirmez. Bazı hallerde yol kırmızı çizgisinde yapılacak bir değişiklik, kayma hareketinin önlenmesinde aynı derecede etkili olabilmektedir.

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

2.7.1.3. Heyelanlı Bölgenin Üstünden Geçme

Olası bir kaymayı zararsız hale getirecek ve stabiliteyi güvenlik sınırına ulaştıracak yöntemleri bulunmayışı halinde açıklık uygunsa heyelanı köprü ile geçmeye zorlar. Köprünün yapım maliyeti fazladır. Ayrıca, ayakların heyelandan zarar görmemesi için yapısal hesap ve projelere özen gösterilmesi gerekir. Bu yüzden çok özel hallerde uygulanan bir yöntemdir.

Kaymaya karşı, köprü ile geçme yönteminin genel bir uygulaması, dik yamaçların viyadük ile geçilmesidir. Ağır dolgu yükü taşıyamayacak zayıf zeminlerde, yolun dolguya gelen dış kısımlarının viyadük ile geçilmesi ekonomik olabilir [10, 20].

2.7.2. Heyelan (Hareket) Nedenini Ortadan Kaldırmak

Heyelana yol açabilecek nedenlerin ortadan kaldırılması en etkin kontrol ve önleme yöntemleridir. Bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

2.7.2.1. Drenaj

Heyelanların düzeltilmesinde drenaj yöntemlerinin kullanılması çok iyi sonuçlar vermekte, böylece şev malzemesi suyun zararlı etkisinden korunmaktadır. Suyun zararlı etkilerini şu şekilde sıralamak mümkündür.

- Kayan kütlenin ağırlığını arttırarak kayma gerilmelerini arttırır.
- Meydana gelen ilave sızıntı kuvvetleri sebebiyle kayma gerilmeleri artar.
- Kayma yüzeyindeki malzemenin kayma direncini azaltır.
- Hidrostatik basınç veya boşluk suyu basıncı artışları ile kayma direncini azaltır.
- Heyelan malzemesinde kimyasal ve fiziksel değişikliklere sebep olur.

Heyelan çözümünde drenaj kullanmakla heyelanı oluşturan en büyük faktör ya tamamen ortadan kaldırılmış veya etkileri asgariye indirilmiş olur. Drenajı yüzeysel drenaj ve derin yeraltı drenajı olmak üzere iki kısımda inceleyeceğiz.

2.7.2.1.1. Yüzeysel Drenaj

En yaygın olarak kullanılan bir drenaj tekniğidir. Heyelanlı bir şevin yüzeyi genellikle düz olmayan tümsekli ve çatlaklı bir şekildedir. Yüzeysel sular kolaylıkla zemin içinde derinlere kadar girerek zemini yumuşatırlar. Bu bakımdan şevin stabilitesini arttırmak için akla gelen tedbirlerden ilki yüzeyden gelen suların bir açık kanalla heyelan sahasından uzaklaştırılmasıdır. Bunun için;

- Heyelan bölgesini tehdit eden tüm sularının bölgeye girmesi önlenmelidir. Heyelan sınırları içinde, özellikle tepe kısmında, çıkan kaynak suları toplanarak heyelan dışına akıtılmalıdır.
- Yağmur sularını şev yüzeyinden zararsız bir şekilde akıtmak için şev yüzeyinin su akışını düzenli olarak sağlayacak biçimde olması lazımdır. Bunun için şev yüzeyi düzeltilir, çatlaklar doldurulur ve bitki örtüsü ile kaplanır. Başka bir yol da şev eteğine granüler dolgu ile kademe yapmaktır. Etekteki bu çakıl dolgu hem şevin yüzeysel drenajını sağlar hem de dolgu içine yerleştirilen boyuna su toplayıcılarını don v.s.den konur. Çakıl kademenin genişliği stabilite analizi ile hesaplanır.

Şev yüzeyinin düzeltilmesinde en önemli nokta çatlakların derhal doldurulmasıdır. Çatlaklar, kil, bitümlü malzeme veya çimento ile doldurularak sızdırmaz hale getirilir. Birçok halde ilave tedbirler alınacaksa bile ilk önce çatlakların doldurulması mutlaka istenir.

Üstten gelecek suların bozuk stabiliteli kayma bölgesine girmesini önlemek için üst kısma kafa hendekleri yapılır. Bunların bakımının devamlı yapılması lazımdır aksi halde heyelanın büyümesine sebep olurlar.

Kafa hendekleri geçirimsiz bir şekilde yapılmalı, düzleşen kısımların yıkanan malzeme ile dolmasını önlemek için uniform bir eğimde olmalıdır.

2.7.2.1.2. Yeraltı Drenajı

Yeraltı drenajının başarılı olması için,

- Suyun kaynağına ulaşılmalı
- Heyelan kütlesi nispeten geçirimli olmalıdır.

Yeraltı drenaj yöntemlerini aşağıdaki başlıklar altında inceleyebiliriz.

2.7.2.1.2.1. Yatay Drenaj

Yatay drenajda, dren boruları zemin kütlesi içine yatay sondaj makinesi veya krikolar yardımıyla yerleştirilir. Yatay drenler suyu zemin kütlesinden, su kaynağına ulaşarak, yeraltı su seviyesini düşürerek veya geçirgen tabakayı drene ederek uzaklaştırırlar. Su kaynağına ulaşıldığında yatay drenler çok iyi sonuçlar verir. Yeraltı suyu seviyesinin düşürülmesi istendiği zaman en önemli nokta heyelanlı malzemenin geçirgenliğidir. Çünkü Y.A.S. seviyesinin indirilme miktar ve süresi tamamen bu geçirgenlik değerine bağlıdır. Yatay drenlerin fark gözetmeden her yerde kullanılması tavsiye edilmez. Suyun mevcudiyetini ve zeminden uzaklaştırmanın mümkün olup olmayacağını anlamak için ilave sondajların yapılması gereklidir. Suyun mevcudiyetini sondaj sonuçlarından anlamak mümkündür. Fakat bu suyun drene edilme imkanının tayini tecrübe ve deney kuyularındaki gözleme dayanır.

Drenaj hendekleri veya kesici drenler kullanılan kesici dren yatay drenle aynı amaç için kullanılmıştır. Ekonomi sebebiyle hendek drenajları ancak 3-5 m. Derinde suyun kesilebileceği hallerde kullanılmaktadır. Burada en önemli nokta dren borusunun heyelan etmemiş zemin üzerine yerleştirilmesidir. Akis halde heyelan devam ederek dren hendeklerinin bozulup tıkanması ve çalışamaz hale gelmesine sebep olur.

2.7.2.1.2.2. Galeriler

Galeriler uzun zamandan beri bilinen derin yapılardır. Fakat pahalı olduklarından pek sık kullanılmazlar. Bu yöntem özellikle yapının tehlikeye girmesi veya son derece önemli olması halinde ve 200 m. den daha uzun olan derin kaymalarda tercih edilir.

2.7.2.1.2.3. Düşey Drenler

Düşey drenler genel olarak yatay drenlerle beraber geçirgen mercekleri birbirine bağlamak için kullanılır. Bilinmeyen derecede kum mercekleri ihtiva eden heyelanlarda özellikle çok faydalı olmaktadır. Sistem tamamlandıktan bir süre sonra izole edilmiş merceklerin mevcudiyetini anlamak için ilave sondajlar yapmak faydalı olur. Düşey drenler suyu heyelanlı kütleden başka geçirgen tabakaya aktarmak için de kullanılır.

Drenaj hendeklerinin ve galerilerin yapımı heyelanlı saha içinde olduğu zaman birçok problemler ortaya çıkar. Kazı, dren borularının yerleştirilmesi ve hendeklerin yeniden doldurulması işlemleri arasında geçen zaman mutlak minimumda tutulmalıdır. Heyelan hareketine dik doğrultuda yapılacak hendeklerde inşaat ano yapılmalıdır. Drenaj hendeklerinde borunun kullanılması şart değildir. Fakat boru etkili bir drenaj ortamı meydana getirmektedir. Bu bakımdan boru kullanılması tavsiye edilir. Kullanılacak boruların çapı birçok halde 20 cm olmaktadır. Hendekler içine doldurulacak filtre malzemesi tipik beton kumu gibi ince malzeme olmalıdır. Böylece siltlenmenin önüne geçilebilir. Yatay drenaj inşaatında deliğın delinmesi ve borunun bunun içine yerleştirilmesinden başka problem yoktur. Hemen hemen her durumda 5cm. lik borular yatay drenaj için yeterli olmaktadır.

2.7.2.2. Kazı Yöntemleri

Kazı yöntemleri kayma nedeni olan kuvvetleri azaltarak, stabiliteyi arttırmayı amaçlar. Geoteknik etütle belirlenen zemin kayma mukavemeti parametrelerine göre, yapılacak kazının, güvenlik sayısına etkisi stabilite araştırma yöntemleri ile belirlenebilir.

Kazı yöntemleri, önleme çalışmalarına ve yüzeysel drenaja yardımcı olurlar. Büyük boyuttaki heyelanlarda kazı uygulaması, maliyeti artırır. Ayrıca kazı malzemesi taşımda sorun yaratabilir. Kazı işlemlerinin, harekete geçirici kuvvetleri azaltırken, harekete karşı direnç gösteren kuvvetleri de azaltabileceği unutulmamalıdır.

Bu konuda uygulanan yöntemler şunlardır:

1. Şev yükünün azaltılması,
2. Şevin yatırılması,
3. Şevde ara kademeleri yapılması,
4. Kayan zemin kütlelerinin kaldırılması.

2.7.2.2.1. Şev Yükünü Azaltmak

Şev yükünü azaltmak için şev yüksekliğini düşürmek ve şev üstündeki ağırlıkların kaldırılması yolları izlenir. Kayma yüzeyinin dairesel olduğu hareketlerde, bu yöntem iyi sonuçlar vermektedir. Genellikle akma ve kayma yüzeylerinin düzlemsel olduğu hareketlerde uygulanması tavsiye edilmez. Şev tepesinde yapılacak kazı çalışmaları ile yüzeysel drenaj sorununa da çözüm getirilir.

2.7.2.2.2. Şevin Yatırılması

Şev eğiminin azaltılması her türlü heyelanda, sık uygulanan bir yöntemdir. Stabilitesi var olan yarma şevleri ile tasarlanan yarma şevleri karşılaştırılmalıdır. Şevi dik tutup, kaymadan sonra yatırmak ekonomik bir çözüm değildir. Zira örselenmiş zemin kayma mukavemetinin düşük oluşu yeni düzenlenecek şevlerde eğimin daha da azaltılmasına yol açar.

Farklı tabakalardan oluşan şevlerde, bu tabakalara değişik eğimler uygulamak ekonomik bir çözümdür. Bu yolla şev yükü de bir miktar azaltılmış olur.

2.7.2.2.3. Şevde Kademe Oluşturma

Uygulama kademeli oluşturulan şevler, eşdeğer üniform şevlere tercih edilir. Ayrıca, yüksek şevlerin sabit eğimle düzenlenmeleri sorun yaratır. Kritik şev yüksekliğini aşmayan kademelerle sorun çözümlenebilir.

Kademelerde drenaj planlaması yapılabilir. Yüzeysel suların geçirgen tabakalar girmesi önlenir. Ayrıca kademelerle kaya, moloz ve diğer döküntülerin yola düşmesi engellenir. Bakım araçlarının giriş-çıkışına olanak verecek şekilde düzenlenmesi yararlı olur.

2.7.2.2.4. Kayan Zeminin Kütlesinin Kaldırılması

Kayan zemin kitlesi miktarının az, kalınlığının fazla olmadığı durumlarda uygulanan bir yöntemdir. Diğer yöntemlerle ekonomik yönden kıyaslanarak uygulanıp uygulanmayacağına karar verilir [10, 11, 20].

2.7.2.3. Topuğa Yük Koyma (Ağırlık Yapıları)

Kaydırıcı kuvvetlerin önüne geçmek, etkilerini azaltmak için ilk yapılan iş topuğa ek bir yük koyarak hareketi durdurma. Bundan sonra, hareket eden kitlenin, kısmen ya da tamamen alınıp, başka yere taşınmasına çalışılır. Hareket eden alanda kara yolu, demiryolu varsa bunlar ya düzeltilip kullanılır ya da bırakılıp yeni yol açılır. Eğer yeni yol için başka bir çözüm yoksa heyelan bölgesi köprü yapılarak geçilir; Bütün bu çözümler için ayrıntılı çalışma, maliyet analizi ve zamanlama esastır.

Heyelanları önlemede en çok kullanılan yöntem topuğu ek bir yük koyma diğer bir deyişle bir ağırlık yapısı yapmadır.

Topuğa yük koymanın en basit şekli, buraya kuru taş duvar yapmaktır. Daha iyisi beton, betonarme istinat duvarı yapma, beton ayaklar inşa etme ya da ahşap, beton, çelik kazık ya da palplanşlar çakmadır.

Bu tür yapılar iyi boyutlandırıldığı, yeteri kadar derine indirildiği, alt taraflarında kazılar yapılmadığı sürece yarar sağlamaktadır; aksi halde kaydırıcı kuvvetler bunları da bozmakta ve yıkmaktadır.

Burada, kayma yüzeyi derinliğinin, yüzey ve yeraltı su durumunun ve miktarının, doğru olarak bilinmesi projelendirme için ilk koşuldur.

2.7.3. Dayanma Yapıları

Kaymaya neden olan kuvvetler, karşı koyucu kuvvetlerden fazla ise, herhangi bir dayanma yapısı ile ek mukavemet sağlamak suretiyle stabilite artırılması ve kaymanın önlenmesi olasıdır. Dayanma yapılarının kaymayı önlemede uygulama alanları sınırlıdır. Yüzeysel kaymalarda drenaj sistemleri ile birlikte önleme yöntemi olarak kullanılması yarar sağlar. Bu yapıların temelleri muhakkak kayma yüzeyi altındaki sağlam tabakaya yerleştirilmelidir. Fakat bu işlem sırasında yeni oyulmaların ve kaymaların olabileceği gözden uzak tutulmamalıdır.

Eskiden beri kullanılan dayanma yapıları, etekte taş dolgu, istinat ve kafes duvarları, kazık ve palpaşlardır.

2.7.3.1. Etekte Taş Dolgu

Topuk kısmında oluşturulacak dolgular, kontrol ve önleme yöntemi olarak kullanılabilirler. Uygulama amacı, topukta destek sağlayarak şev zemini kayma mukavemetini arttırmaktır. Dönel kayma tipi heyelanlarda etek kısımlarında kabarmalar oluşur. Bu kısımlarda yapılacak dolgular ile kaymaya karşı mukavemet artırılır. Dolgu yerlerinin iyi belirlenememesi kaydırıcı kuvvetler oluşturur. Bu tip dolgular aynı zamanda oyulmaya karşı şev topuğunu da korurlar.

2.7.3.2. İstinat ve Kafes Duvarları

Bu tür duvarlar, heyelanı etekte durdurmak ve yapının hemen altında oluşacak oyulmaları önlemek amacı ile kullanılırlar. Yüzeysel kayma uygulanmalarında iyi sonuçlar elde edilebilir.

İstinat duvarları, aralarında belli bir kot farkı bulunan zeminlerin tutulmasında kullanılır. Dayanma yapıları çeşitli malzeme ve değişik geometride inşa edilebilir.

Kafes duvarlar, prefabrike elemanlardan yapılan sandığın içinin taş veya zeminle doldurulması ile oluşturulur. Uygulama kolaylığı, tabii drenaja olanak sağlamaları, küçük oturmalarından zarar görmemeleri, bakımların kolay olması ile tercih edilir.

2.7.3.3. Kazık ve Palplanşlar

Kazık perde, heyelan önleme yöntemi olarak uygulandığında iyi sonuçlar alınmaktadır. Yanal yüklerin etkisi altındaki kazıklar, arasındaki ve etrafındaki zeminin hareketi ile kazık dibinin altında oluşan kaymalarda etkisiz kalmaktadır. Şev yüzeyine uzun zaman aralığında iki, üç seri kazık çakılmasının yararlı olduğu uygulamalarda görülmüştür. Titreşimlerden etkilenen zeminlerde çakma kazığın kullanılmayacağı açıktır.

Palplanş perdeleri geçici bir çözüm olarak heyelan önleme çalışmalarında kullanılır. Palplanşların stabilitesinin sağlanması için ankraj bölgesinin kayma yüzeyinin dışına çıkarılması gerekmektedir. Bu ise ankrajın çok uzaklara yerleştirilmesine yol açar ki, bu da palplanş uygulamasını ekonomik olmaktan genellikle uzaklaştırır.

2.7.4. Diğer Yöntemler

Çimento, bitümlü emülsiyonlar vb. kimyasal maddelerin enjeksiyonu granüler zeminlerde veya boşluklu, çatlaklı kayaç zeminlerde iyi sonuçlar vermektedir. Yöntemin etkili olabilmesi için kayma yüzeyi bölgesinin enjeksiyondan etkilenmesi gereklidir. Maliyetinin çok yüksek olduğu açıktır.

İnce kumlu siltli zeminlerin dondurulması da özel bir yöntemdir. Maliyeti çok yüksek olup, şevde don devamı süresinde sertleşme sağlayarak stabiliteyi sağlar.

Killi zeminlerde pişirme ile yamaç stabilizasyonunun sağlandığı Güney Amerika'da uygulanmış bir yöntemdir.

Elektro-Ozmos yöntemi ile killi zeminlerde baz değişimi sağlanarak, kil bünyesi olumlu yönde etkilenir. Kilin bağladığı su miktarı azaltılarak kayma mukavemeti artırılır.

Şev ağaçlandırmaları sık kullanılan bir yöntemdir. Yüzeyin kurutulması, yüzeysel suların uzaklaştırılması, kuruma ve büzülme çatlaklarının oluşumunun engellemesi bu yöntemle sağlanır [10, 11, 20].

2.7.4.1. Zemin Kimyasal Stabilizasyonu

Zeminlerin çimento ve diğer kimyasal maddelerle stabilizasyonu ancak granüler zeminlerde veya boşluklu çatlaklı ve fisürlü zeminlerde mümkün olmaktadır. Kimyasal stabilizasyonun başarısı heyelan kütleindeki özellikle kayma yüzeyi boyunca meydana gelecek kayma direnci değişimine bağlıdır. Kayma direncinde bir artma olmamışsa stabilizasyon etkisiz kalmış demektir. Bu bakımdan kayma yüzeyi etrafındaki malzemenin stabilize edilmiş olması lazımdır. Killer, prensip olarak geçirgenlikleri çok düşük olduğundan bu şekilde stabilize edilemezler. Kimyasal stabilizasyon son derece pahalı bir yöntemdir ve fiyatının önceden tayini imkansızdır.

2.7.4.2. Patlayıcı Madde Kullanmak

Bazı hallerde kayma yüzeyini patlayıcı madde ile kırarak şevin stabilitesinin artırılması düşünülür. Bu daima münakaşalı ve şüpheli bir yöntemdir. Ayrıca plastik zeminlerde devamlı bir faydası olmaz. Kayma yüzeyleri nispeten düz olan ve altında sert kaya tabakaları bulunan heyelanlarda olumlu sonuç verir. Sert kaya tabakasında patlayıcı madde yerleştirmekle,

- a. Kaya üzerindeki tabaka gevşetilerek yeraltı suyu azaltılır.
- b. Düz olan kayma yüzeyi kırılacağından üzerindeki kil malzeme kaya parçaları ile karışır ve malzemenin sürtünme direnci artar. Etkisi çok kere geçicidir. Patlama ile meydana gelen çatlaklar zamanla kille dolar ve kayan kütle hacmi bozulmuş kaya ile artacağından heyelan daha da büyümüş olur. Ayrıca çevresine zarar verebileceğinden kullanılma yerleri sınırlıdır.

2.7.4.3. Şevlerin Ağaçlandırılması

Şev hareketleri genellikle şev üzerindeki bitkilerin (ağaç veya çim örtü) bozulmasına sebep olur. Şevin yeniden ağaçlandırılması şev stabilitesi açısından önemli bir

çalışmadır. Ağaçlandırma çalışmalarına en azından şev kısmen stabilize edildikten, yüzeyin düzeltilmesi ve çatlakların tıkanmasından sonra, başlanır. Derin olmayan sığ heyelanlarda başarılı olmaktadır. Genellikle ağaç yetiştirmede iki amaç vardır.

- a. Yüzey tabakasının kurutulması
- b. Kökler vasıtasıyla konsolidasyonu hızlandırmak

Şev stabilizasyonunda kullanılacak en uygun ağaçlar su ihtiyacı ve buharlaştırdığı su miktarı en yüksek olanlardır. Ağaçlandırmada, ağaçların zemin yapısına etkisi de göz önüne alınmalıdır. Örneğin ladin gibi sığ kökleri olan ve nisbeten çabuk büyüyen ağaçlar yetiştirilmemelidir. Şev üzerindeki yükü arttırarak ters etki yaparlar.

Ağaçlandırmadan sonra şev yüzeyi çimle kaplanmalıdır. Böylece şev yüzeyindeki kuruma ve büzülme çatlaklarının oluşumu önlenir ve ayrıca yüzeysel suların doğrudan doğruya şev yüzeyinden uzaklaştırılması sağlanır.

2.8. Sonuçlar

Bu bölümde şev stabilitesi ve heyelanlarla ilgili literatür bilgileri toplanmış ve sunulmuştur. Şev ve heyelanlarla ilgili terimler açıklanmış, şev hareket tipleri ve heyelanların literatürden alınan sınıflandırma sistemleri anlatılmıştır. Şev kaymasının nedenleri incelenmiş, şev stabilitesi analiz yöntemleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Şev stabilitesi incelenmesi sırasında yapılan arazi ve laboratuvar çalışmaları anlatılmıştır. Son olarak heyelan kontrol ve önleme yöntemleri sunulmuştur.

3. BÖLÜM

STABLE VS 4 ŞEV STABİLİTESİ BİLGİSAYAR PROGRAMI TANITIMI

3.1. Giriş

Günümüzde şev stabilitesinin önemi mühendislik yapılarında giderek artmaktadır. Şev stabilitesi çalışmalarında mühendislik yapılarının güvenlik faktörü açısından emniyetli tarafta kalıp can ve mal güvenliğini sağlaması amaçlanır.

Şevler yerçekimi kuvvetleri ve su akım kuvvetlerinin etkisi altında kayarlar. Şev stabilite analizi barajlarda meydana getirilecek bir şevin güvenli olarak açlandırılması ve dolgu malzemesi seçimi olarak anlaşılır. Şevler zemin kitlesinde ya kayma gerilmelerinin artması veya zeminin kayma direncinin azalması sonucu kayarlar. Kayma gerilmelerinin artmasına; şevin yüklenmesi, şev açısının arttırılması, şev topuğunun kazı, oyulma ve benzeri olaylar ile kohezyonlu zeminlerde zeminin su muhtevasının artması, deprem, titreşimler, boşluk suyu basıncının oluşması örnek olarak verilebilir.

Şev stabilitesi ile ilgili birçok yöntem ileri sürülmüştür. Şev stabilitesi analiz yöntemlerinin önemli bir kısmını oluşturan limit denge yöntemleri Coulomb göçme kriterini esas olarak, göçme yüzeyinin doğrusal çizgi, dairesel yay, logaritmik spiral ve diğer yüzeylerden birisini kabul etmektedir. Gerilme dağılışı ile stabilite araştırmaları ise elastisite teorisine dayanmaktadır. Ancak bu yöntemlerin elle çözümlenmesinin zorluğu gelişen teknoloji ve bilgisayar kullanımı dikkate alındığında artık sorun teşkil etmektedir. Bunun için son yıllarda şev stabilitesi analiziyle ilgili birçok program yapılmıştır. Bu programlardan bazıları Feadam, Heave, Slope/w, Slide, Talren, Turnen, Stable Vs4 dır. Bunlardan günümüz şev stabilitesi problemlerinde en çok kullanılan Stable Vs 4 programıdır.

Stable; şev stabilitesi problemlerini çözmek için iki boyutlu limit denge yöntemini esas alarak hazırlanmış bir bilgisayar programıdır. "Fortran" diliyle yazılmıştır. Güvenlik faktörünü gözönünde bulundurarak dilimleme metoduyla hesaplama yapmaktadır. Kısmi nokta metodu kullanılarak yapılan Stable Vs4 versiyonunda şekil değiştirmeli, referans noktalı sisteme uyarlanmıştır. Bu metodun programa uyarlanması tasarlanmış düşüm yüzeylerin analizlerine ve bu yüzeylere ait dairesel şekillerin oluşturulmasına yardımcı olmuştur. Stable; tasarlanmış yüzeyler için kritik yüzeylerin ve bunlara karşılık gelen güvenlik faktörlerinin tekli ve rastgele tekniğini göstermektedir. Bu teknik dairesel ve diğer yüzeyleri, bu yüzeylere ait dilimlenmiş blok karakterleri ve sonuncu olarak genelde problemlili yüzeylerin rastgele tasarlanmış şekillerini içerir.

Stable programının kapsamı şöyle sıralanabilir:

- Birbirine uymayan heterojen zemin ortamları
- Anizotropik zemin, mukavemet özellikleri
- Kaymadan ötürü artık boşluk suyu basıncı
- Statik yeraltı ve yerüstü suları
- Deprem yükleri
- Sürsaj yükleri

Probleme ait datalar doğru olarak girildiğinde program grafik destekli veri çıkışına olanak sağlamaktadır. Stable hata mesajlarını data girişlerinin programın öngördüğü direktiflere uymadığı yerlerde nokta lokasyonları ile gösterilmektedir Program, şev geometrisinin girilmesi, zemin özelliklerinin tanımlanması, varsa YASS durumunun geometriye eklenmesi ve analiz yönteminin belirlenmesi aşamalarından oluşur. Analizler, kayma dairelerinin başlangıç ve bitiş yerlerinin seçilmesi ve olası göçme yüzeylerinin derinlik ve genişliklerinin farklı rotasyonlarda denenmesi ile yapılır.

Stable Vs4 programı ile hesaplamalar yapılırken şevin üç türlü göçme ihtimali göz önüne alınmıştır.

Dönmeli Kayma; daha çok homojen tabakalarda görülür. Kayma yüzeyi daire (silindir) veya eğri şeklinde olabilir.

Ötelenme Kayması, daha çok kalınlığı az sığ bir tabakanın, yüzeye paralel daha sert bir başka tabakanın üzerine oturduğu durumlarda görülür. Bu tip kaymada şev yüzeyine paralel bir düzlemdir.

Birleşik Kayma, hem dönme hemde ötelenme vardır ve kayma yüzeyi eğri ve düzlem toplamlarından oluşur.

3.2. Stable Vs 4 Şev Stabilitesi Bilgisayar Programı Tanıtımı

Stable Vs4 programı Limit Denge Yöntemini kullanarak dolgu malzemeyi tabakalara ayırır ve blok kayma kutuları oluşturur. Kayması muhtemel ana blok belirlenir ve sonra bunun aktif ve pasif kısmında oluşacak muhtemel kayma yüzeyleri için dairesel ve random deneme kayma yüzeyleri üretilir. Ana bloğun sol ucundan başlayan belirli kayma yüzeyi oluşturacak doğru parçasının uzunluğu gelişigüzel seçilir ve bu işlem sonunda kayma $0^\circ - 45^\circ$ arasında olması için yönlendirilir. Bu deneme yanılma metodu ile uzunluk değiştirilmek kaydıyla kayma yüzeyinin yatayla yaptığı açı 45° 'ye yaklaştığı bir konum uygun bulunarak işlem tamamlanır.

Stable Vs4 programı blok kayma analizinde ikiden fazla kutu kullanmamıza fırsat vererek problemleri gerçeğine yakın şekline dönüştürüp çözmemizi kolaylaştırır. Bazı durumlarda bu oluşturulan kutuların yüksekliği sıfır alınırsa kayma yüzeyleri sadece noktalardan geçer. Bu da kayma yüzeyi boyunun bu iki nokta arasındaki mesafe olması demektir.

Kayma yüzeyleri üretilirken özellikle alt sınır önem arz etmektedir. Her zaman bu alt sınırın problemde bulunması tercih edilebilir. Belirlenen alt sınırda zemin yüzü profili gibi bir yada birden fazla doğru parçalarına ayrılır. Her birinin Sol X,Y ve Sağ X,Y değerleri soldan sağa bir sıra halinde girilir. Girilen her bir satırın en sağında Up/Down diye bir seçenek konulmuştur. Şayet bu gerçekten bir alt sınır ana kaya ise yukarıda ifade edilen Up seçilecektir. Böylece bu düzende tablo hazırlanacaktır.

Pek sıkça karşımıza çıkmasada bazı durumlarda zemin profilinin orta veya iç kısımlarında kritik bölgeler alttan ve üstten sınırlandırılabilir. İşte böyle bir problemde üst sınır değerleri girilirken Down ifadesi seçilip, alt sınırda ise daha önce belirtildiği gibi Up seçeneği seçilir.

Çözümlemesi istenen problemin geometrisi uygun bir koordinat sistemi içerisinde ve düzgün karelere ayrılmış bir plana işlenerek eksen takımları oluşturulur. (x,y) Problemin zemin yüzeyi ve farklı zemin tabakaları doğru parçaları haline dönüştürülür. Doğru parçalarına soldan itibaren önce profil yüzeyi tanımlamak kaydı ile numaralandırılır. Numara verilen doğru parçalarının X_{sol} , Y_{sol} , ve $X_{sağ}$, $Y_{sağ}$ koordinatları ile birlikte farklı zemin cinsleri belirtilerek Stable Vs4 programına aktarılır.

Farklı zemin tabakalarının parametreleri stable vs4 programında yazılır. (γ_n , γ_d , c, ϕ , r_u , U_c) Piyozometrik yüzey numaraları programa işlenir. Eğer su yüzeyi problemde bulunmuyorsa piyozometrik yüzey numarası 1 olarak alınır.

Problemin alt sınırını belirlemek için alt sınır zemin yüzü profili gibi bir yada birden fazla doğru parçalarına ayrılır. Her birinin X_{sol} , Y_{sol} , ve $X_{sağ}$, $Y_{sağ}$ değerleri soldan sağa bir sıra ile programa girilir. Girilen her satırın en sağında yukarı (Up) seçeneği seçilir.

Analiz yöntemi belirlemek için Circle (dairesel) kayma yüzeyleri bu çalışmada seçilmiştir. Stable Vs4 programında deneme kayma yüzeylerinin başlangıç nokta sayısı belirtilir. Yaptığım analizlerde 10 adet nokta sayısı seçilmiştir. Nokta sayısının 10 adet seçilmesi tüm analizlerde çok uygundur. Her başlangıç noktasının her birinden en fazla 10 adet kayma yüzeyi oluşturulabilir. Tüm Stable Vs4 analizlerinde her başlangıç noktasından 10 adet kayma yüzeyi alınmıştır. Deneme kayma yüzeylerinin başlangıç sınırı X_{sol} koordinatı programa girilir. Deneme kayma yüzeylerinin başlangıç sınırı $X_{sağ}$ koordinatı programa girilir. Deneme kayma yüzeylerinin bitiş sınırı X_{sol} koordinatı programa girilir. Deneme kayma yüzeylerinin bitiş sınırı $X_{sağ}$ koordinatı programa girilir. Eğer problemin temeli ana kaya ise minimum derinlik limiti $Y=0$ alınır. Eğer temel ana kaya değil ise derinlik limiti şev yüksekliğinin yarısı kadar alınır. Bu çalışmada $Y=0$ alınmıştır. Tanımlanan deneme kayma yüzeyi parçalarının uzunluğu şev yüksekliğinin $\frac{1}{2}$ 'si ile $\frac{1}{4}$ 'ü arasında alınır. Bu çalışmadaki analizde bu değer 25 ft olarak alınmıştır. Deneme kayma yüzeylerinin ilk başlama yüzeyi için saatin tersi yönündeki sınır açısı verilir. Bu açı 0° ile 45° arasında seçilebilir. Bu çalışmadaki analizde saatin tersi yönündeki açı 0° alınmıştır. Deneme kayma yüzeylerinin ilk başlama yüzeyi için saat yönündeki sınır açısı verilir. Bu açı 0° ile 45° arasında seçilebilir. Bu çalışmadaki analizde saat yönündeki açı 0° alınmıştır.

3.2.1. Grafik Çizimi:

Stable Vs4 ile çizimleri kolayca elde edebiliriz. Çizimlerde problemin geometrisi, yüzey yükleri ve kayma yüzeyleri net bir şekilde görünür. Bu şekillerden data girişleri çok rahat bir şekilde kontrol edebiliriz. Bazen kullanıcının girdiği yanlış datalar hata vermeyebilir. Böyle durumlarda bu tür hataları ister ekranda istersek çizilmiş çıktılarından kontrol edip düzeltebiliriz. Program tarafından bazı çizim karakterleri ve simgeler kullanılır. Bunları aşağıdaki tabloda görebiliriz.

Tablo 3.1. Yazı karakterlerindeki grafiğin özel tanımları

*	Zemin yüzeyi ve farklı tabakaların sınırlarını belirten son noktalar
L	Ana kaya sınırı son noktaları
W	Su yüzeyini belirten noktalar
1	En kritik birinci kayma yüzeyini belirten noktalar
2	En kritik ikinci kayma yüzeyini belirten noktalar
...	...
9	En kritik dokuzuncu kayma yüzeyini belirten noktalar
0	En kritik onuncu kayma yüzeyini belirten noktalar
..	Geri kalan kayma yüzeylerini belirten noktalar
S	Kayma yüzeyi denemelerini belirten noktalar
/	Yüzey yük yerlerini belirten noktalar

Üniform olarak bulunan yayılı yükler bulunduğu yerde ‘/’ işareti ve numaralarla belirtilir. Yükün uygulama eğimi ise verilmez. Yüzeysel yayılı yüklerin sol ve sağ uç kısımlarındaki eğri işaretinin ‘/’, üst kısımlarındaki rakam 2/3 sol ucu, alt kısımdaki rakam 2/3 sağ ucu temsil eder. Çizilmiş olarak elde edilen grafikler genellikle girdilerin programa nasıl, uygun ve doğru verilip verilmediğini kontrol etmemize, değiştirilip basite indirgenmiş parametre ve şekillerin bir sonraki çalışmalarımızda uygulanabilirliği hususunda son derece yararlı bilgiler verir.

3.2.2. Analiz Komutları:

Input/Edit Data: Data girişi yapılır.

Graph Profile: Profil grafiğini gösterir. Eğer data hatalı girilmişse parofil grafiğinde yapılan hatalar görünür ve datada gerekli düzeltmeler yapılarak sağlıklı bir analiz yapmaya olanak sağlar.

Analyze Profile: Analiz yöntemi seçilir.

View/Edit Result: Sonuçlar ekranda görülür. İstendiğinde yazıcıya gönderilir. Sonuçlar incelenerek başlangıç, bitiş değerleri ve başlangıç açısı uygun şekilde değiştirilerek en kritik kayma yüzeyinin güvenlik sayısı belirlenir.

Quit: Programdan çıkılır.

Work File: Kaydedilecek dosyanın adı yazılır.

Engineer: Programlayıcı mühendis

Slope Location: Eğim açısı

Analysis Title: Yapılacak analizin adı yazılır.

Pg-Up, Pg-Down: Genel sınırlar ve zemine ait özel bilgiler girilir.

Strength Anisotrophy: Anizotropik zemin datası için bilgiler girilir.

Water Surface: Su yüzeyi bilgileri girilir

Boundary Loads: Çubuk yüzeyleri girilir

Earthquake Loads: Deprem yükleri girilir

Tieback Loads: Topuk yükleri girilir

Trial Surface Generation Limits: Deneme yüzeylerinin genel sınırlarını verir.

Specific Failure Surface: Seçilen başarısız özel yüzeyleri verir.

Number of Initiation Points: Başlangıç nokta sayısını verir.

Number of Surfaces to be Generated From Each Initiation Point: Her başlangıç noktasından kaç yüzeyin oluşturulacağını verir.

Coordinate of Leftmost Initiation Point: Başlama noktası Xsol koordinatı girilir.

Coordinate of Rightmost Initiation Point: Başlama noktası Xsağ koordinatı girilir.

X Coordinate of Left Termination Limit: Bitiş sınırının Xsol koordinatı girilir.

X Coordinate of Right Termination Limit: Bitiş sınırının Xsağ koordinatı girilir

Minimum Elevation of Surface Development: Minimum derinlik limiti. Temel ana kaya ise $Y=0$ alınır. Eğer temel ana kaya değil ise minimum derinlik limiti şev yüksekliğinin yarısı kadar alınır.

Lenght of Segments Defining Surfaces: Tanımlanan yüzey parçalarının uzunluğu girilir. Bu doğru parçalarının uzunluğu şev yüksekliğinin $\frac{1}{2}$ 'si ile $\frac{1}{4}$ 'ü arasında bir değer almalıdır.

Counterclockwise Direction Limit for Surface Initiation: Başlama yüzeyi için saatin ters yönündeki sınır açısı girilir.

Clockwise Direction Limit for Surface Initiation: Başlama yüzeyi için saat yönündeki sınır açısı girilir.

Run Analysis: Analiz yapılır ve analiz sonucu deneme yüzeyleri grafiği otomatik çizilir. En kritik kayma yüzeyi kalın çizgi ile belirtilir.

3.2.3. Problem Limitleri

Stable Vs4 programında girilen veriler problem limitleri ile sınırlandırılır. Problem limitleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.2. Problem Limitleri

Veri	Maksimum Sayı
Sınır yüzeyleri (Toplam)	100
Piyozometrik yüzey (Toplam)	10
Bir tek su yüzeyini belirten noktalar	40
Kayma yüzeyini belirten noktalar	100
Yüzey sınırları çizimi	20
Üniform yayılı yüzey yükü	10
Zemin Cinsi (Toplam)	20
Anizotropik zemin cinsi	10
Anizotropik zemin cinsindeki açı değişimleri	10
Blok kayma yüzeyindeki kutular	10

Programı birçok piyezometrik yüzey ilavesi yapılabilir. Böylece yeraltı suyu yüzeyinden ayrı bulunan basınçlı veya basınçsız su yüzeylerinde kullanılır.

4. BÖLÜM

G.B.B. SARISALKIM BARAJI ŞEV STABİLİTESİNİN STABLE VS 4 BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE ARAŞTIRILMASI

4.1. Giriş

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi tarafından Gaziantep İli Şahinbey İlçesi Sarısalkım Köyünde etüt ve proje çalışmalarına yeni başlanan Sarısalkım toprak dolgu barajının stabilitesinin araştırılması amaçlanmıştır. Baraj kesitinin geometrik şekli, kret kotu ve gövde yüksekliği bölgedeki su gereksinimine göre belirlenmiş bulunmaktadır. Çevrede çeşitli arazi ve sondaj çalışmaları yapılarak uygun nakliye mesafeleri ve kullanılacak dolgunun geoteknik özelliklerine göre üç tip zemin çeşidi belirlenmiştir. Tez çalışmasında baraj dolgusundaki şev stabilitesinin araştırılması amacıyla Stable Vs4 bilgisayar programı kullanılmıştır. Uygulamanın birinci kısmında arazi ve sondaj çalışmaları ile baraj dolgusu için belirlenen üç tip zemin çeşidi kullanılarak baraj dolgusunda oluşabilecek kayma yüzeyleri ve koordinatları Stable Vs4 programı ile bulunmuş ve bunlara bağlı olarak güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre bulunan kayma yüzeylerinde şev stabilitesine deprem etkisi araştırılmış yine aynı kayma yüzeyine deprem+boşluk suyu basıncı etkisi araştırılmıştır.

Uygulamanın ikinci kısmında ise baraj dolgusundaki üç tip zemin çeşidinden sadece barajın mansap kısmındaki zeminin karakteristik özellikleri değiştirilerek baraj dolgusunun stabilitesinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla seçilen zeminin dane birim hacim ağırlığı sabit tutulmuş kohezyon, içsel sürtünme açısı, boşluk suyu basıncı değişimlerinin kayma yüzeyleri ve güvenlik sayısına etkisi incelenmiştir. Bu sonuçlara göre bulunan en kritik kayma yüzeylerinde şev stabilitesine deprem etkisi araştırılmış yine aynı kayma yüzeyine deprem+boşluk suyu basıncı etkisi araştırılmıştır.

4.2. G.B.B. Sarısalkım Barajı Tanıtımı

Gaziantep ili Şahinbey ilçesi Sarısalkım köyünde Gaziantep Büyükşehir Belediyesi tarafından proje çalışmaları ihale edilmiş ve halen projelendirme çalışmaları devam eden bu baraj karma tipte toprak dolgu baraj olarak inşa edilmesi düşünülmektedir. Sarısalkım barajı için projelendirilen baraj tipini kısaca açıklayalım.

Sarısalkım barajı zonlu toprak dolgu olarak projelendirilmektedir. Su tutma ve sulama ve sel baskınlarını önleme amacıyla kullanılacak olan bu baraj öncelikle maliyetinin az olmasından dolayı homojen gövdeli olarak düşünülmüş fakat çevrede tek tip geçirimsiz malzemenin bulunmaması sebebiyle vazgeçilmiştir. Barajın homojen gövdeli yapılmamasında yine rezervuarın uzun süre dolu tutularak malzemenin doygun hale gelmesinden sonra ani boşalmalarda, şevlerin kaymaması için çok yatık tertip edilmeleri gerektiğinden, mansapta öngörülen bir kaya topuk ve bunun gövde tarafındaki yüzünde yer alacak filtre, sızma hattını aşağı çekerek drene edeceğinden ve gövde yüksekliğinin genelde 30 metreden sonra kullanılmamasından etkili olmuştur. Genelde bu tip gövdelerin uygulama alanları daha ziyade sel kapanları, geçici batardolar vs. olmaktadır. Zonlu Toprak Dolgu barajlarda çeşitli dolgu malzemesi belirli amaçlarla gövdenin değişik bölgelerine yerleştirilmişlerdir. Sarısalkım Barajında gövdede teşkil edilecek, malzeme zonları çekirdek dolgusu, menba ve mansap kabuk dolguları, filtre dolguları, riprap (taş imla), mansap şevi koruma örtüsüdür. Bunları kısaca açıklayacak olursak;

Çekirdek dolgusu, kil özelliğinde bir malzemedan oluşan bu dolgu gövdenin geçirimsizliğini sağlar. Merkezi veya memba yönünde eğik olarak düzenlenirler. Çekirdeğin daha karmaşık geometride teşkil edildiği ve beton, palplanş vs. gibi değişik malzemeler kullanılarak geçirimsizliğin sağlandığı uygulamalar varsa Sarısalkım barajında bunlar uygulanmamıştır. Çekirdek şevlerinin eğimi doğal olarak çekirdeğin kalınlığına bağlıdır. Kalınlığın tesbit edilmesinde ise kullanılan malzemenin özellikleri, yakın çevrede malzemenin yeteri kadar bulunup bulunmaması, sağlanması istenen ekonomi ve depremsellik vs. gibi faktörler rol oynar. Merkezi çekirdek uygulanması halinde, özel bir durum söz konusu değilse şev eğimleri 1/0.5-1/0.3 (düşey/yatay) değerleri arasında düzenlenir.

Memba ve mansap kabuk dolguları, geçirimli ve yarı geçirimli özelliktedirler. Memba dolgusunda, rezervuarın ani boşalma durumunda çabuk drene olması için daha çok geçirimli malzeme tercih edilir. Aksi takdirde düşey ve yatay drenaj tabakaları düzenlenmelidir. Mansap dolgusunun yarı geçirimli olması halinde, sızma hattının (freatik hat) yükselmemesi ve çekirdekten oluşacak genelde önemsiz sızıntıların tabandaki yatay drenaj tabakasına kolayca aktarılması için bir düşey drenaj tabakasının düzenlenmesi uygun olacaktır. Düşey drenaj tabakası aynı zamanda mansap dolgusunu filtrelerden geçiş zonu görevini de üstlenecektir.

Filtre dolguları çekirdekten sızıntı ile kil malzemenin sürüklenmemesi için mansap filtreleri koruyucu görev yaparlar. Memba filtresi ise rezervuarın boşalma durumu için gereklidir. Filtrelerde dane çaplarına göre tedrici bir geçiş sağlamak için ince filtre (kum) ve bunun mansabında kalın filtre (kum ve çakıl) kullanılır. Filtre kalınlıklarını rezervuar su basıncı tayin eder, fakat ekseriyetle 3 veya 4 m kalınlık 30 m den yüksek barajlar için yeterlidir. Düşey filtre tabakaları yukarıdan aşağıya doğru artan kalınlıkta da düzenlenebilir.

Taş imla gövdenin memba şevinde dolgunun su dalgaları etkisi ile yıkanmasının önlenmesi amacıyla konulan bir örtü tabakasıdır. Dalga yüksekliğine göre kayaların çapı ve tabakanın kalınlığı tayin edilirse de genelde 0,5-1.0 m çapında kayaları 1.0 m tabaka kalınlığında düzenlemek yeterli emniyeti sağlayacaktır. Memba dolgusunda kaya kullanılmayıp, kum ve çakıl gibi daha ince malzeme söz konusu ise, memba dolgusunun dalga etkisi ile riprap kayalarının arasından dışarı sürüklenmesini önlemek için riprapın altında 30-50 cm kalınlığında çok iri çakıllardan oluşan bir geçiş tabakası sermek gerekir. Ekonomik nedenler ile riprap tabakası rezervuardaki minimum su seviyesinin bir miktar altına kadar devam ettirilmelidir.

Mansap şevi koruma örtüsü, toprak mansap dolgusu kullanılması halinde, mansap şevi yağmur sularının erozyonuna maruz kalacaktır. Bunu önlemek amacı ile mansap şevinin üzerinde 0.5-1.00 m kalınlığında bir kaya örtü tabakası gerekir. İklimin uygun olması durumunda bir çimen veya çalı bitki örtüsü de bu fonksiyonu yerine getirebilir.

Sarısalkım Barajında kabuk zonları toprak, kum, çakıl (nehir alüvyonu, teras depozitleri) ve benzeri nisbeten ince daneli malzemelerden oluşturulması

düşünülmektedir. Toprak dolgu gövdesi eğik çekirdekli, kil çekirdeğin memba ve mansap yüzlerinde kabuk dolgularının belirlediği tipte filtreler kullanılacaktır. Çekirdeğin her iki tarafında çekirdeği destekleyen kabuk dolguları olacaktır. Merkezi kil çekirdeğin kalınlığına göre mansap şevinin biraz daha az eğimli düzenlenmesi düşünülmektedir.

Memba kabuk dolgusu yarı geçirimli düşünüldüğü için, rezervuarın ani seviye düşüşlerine karşı yatay drenler tertip edilecektir. Mansap kabuk dolgusunda yine yarı geçirimli düşünüldüğü için, kaba filtrenin mansabında bir düşey dren yer alacaktır. Mansap kabuk dolgusu altında teşkil edilecek yatay dren zeminden ve filtrelerden sızacak suları mansaba geçirecektir. Bu yatay dren yamaçlarda da öngörülmektedir.

4.3. G.B.B Sarısalkım Barajı İle Analiz Bilgileri

Tasarlanan baraj tipinin seçimini yapabilmek için gövdede kullanılması düşünülen malzemenin yeterli miktarda, ekonomik mesafeler içerisinde bulunup bulunmadığının bilinmesi gereklidir. Ülkemizde bu konunun iyi araştırılmamasından dolayı, kati proje safhasında baraj tipinin değiştirilmesi zorunluluğunun ortaya çıkması ile çok karşılaşılmıştır. Bu doğal yapı malzemelerinin fiziksel özelliklerinin bilinmesi de tasarımın doğru yapılabilmesi için çok önemli bir faktördür.

4.3.1. Baraj Dolgusu Geometrik Özellikler

Baraj dolgusunun yüksekliği 40.68 metre, dolgu taban genişliği 324.45 metre, kret uzunluğu 372 metre, rezervuar alanı $3.64 \times 10^3 \text{ m}^2$, rezervuar hacmi $57.60 \times 10^6 \text{ m}^3$ olarak planlanmaktadır.

4.3.2. Baraj Ana Kaya Yeri ve Özellikleri

Gaziantep İli Şahinbey İlçesi Sarısalkım Köyü yakınındaki Barajın inşa edilmesi düşünülen bölgede ilk aşamada projelendirmeye esas teşkil edecek gözlemsel saha etütlerine dayalı jeolojik ve jeoteknik araştırmalar yapılmıştır. Araştırma çalışmalarından sağlanan verilerin değerlendirilmesi sonucunda, barajın oturacağı zeminin mühendislik özellikleri, taşıma gücü ve oturma sorunları, stabilite problemleri

ile olası sorunların çözümü için gerekli önlemler belirlenecektir. Proje alanındaki zemin birimlerinin cinsi, kalınlığı, dokanak ilişkileri, jeolojik ve jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla gözlemsel arazi etütleri yapılarak klas oranları ilk etapta tesbit edilmiştir.

Toprak	%5
Küskü	%10
Yumuşak Kaya	%15
Sert Kaya	%40
Çok Sert Kaya	%30

Gaziantep İli Şahinbey İlçesi sarısalkım Köyü ve yakın çevresinde gözlenen başlıca formasyonlar; Tersiyer yaşlı kalkerler, karasal birimler, bazalt, piroklastik kayaçlar ve kuvaterner yaşlı eski alüvyondan oluşur.

Çevrede büyük bir kesimi kaplayan ve Orta-Üst Müyosen yaş aralığında kesiksiz ve düzenli bir istif sunan birimler, tabanda krem renkli, ince-orta tabaklı çok az çört ve tebeşir ara seviyeleri içeren killi kireç taşı, gri-bej renkli, orta-kalın tabakalı yer yer çok kalın tabakalı, çok bol bentik fosilli kireç taşı başlar. Yukarıya doğru resifal karakterli, beyazımsı krem-kirli sarı renkli, orta-kalın tabakalı, yer yer tabakasız kireç taşları ve orta-kalın tabakalı çört yumrulu ve bol fosil kavkılı kireçtaşlarına geçiş gösterir.

Karasal birimler, çakıltaşı, kumtaşı, şeyl, çamurtaşı aralanmalı akarsu çökelleri ile kumtaşı, çakıllı kireç kireç taşı, şeyl ve tüfitli göl çökellerinden meydana gelir.

Bölgede bulunan bazalt miyosen yaşlı, birim genel olarak bazaltik lavlardan oluşmaktadır. Koyu gri ve siyahımsı renkli, gözenekli, gözenekleri kalsit dolgululu olan bu birim yer yer aglomera ve tuf ara yüzeylenmeleri içermektedir. Yaklaşık kalınlığı 0-50 m arasında değişen Şelmo formasyonu ve kendisinden daha yaşlı birimler üzerine aşıl uyumsuzlukla gelen bazalt birimi stratşgrafik konumuna göre Üst Miyosen yaşlıdır.

Çevrede kuvaterner alüvyon bulunmaktadır. Akarsu yataklarında ve yüksek tepelerle çevrilivadilerde gevşek tutturulmuş çakıl, kum, kilden oluşan bu birim, Sarısalkım Köyü güney doğusundan yüzeylenmektedir.

İnceleme alanının tümünde bazalt birimi yüzeylenmektedir. Yoldemir (1987) tarafından Yavuzeli Bazaltı olarak adlandırılan bu birim, koyu gri-siyahımsı renkli sert, dayanımlı, birim genel olarak gözenekli ve gözenekleri kalsit dolgulu olup lav akıntısından oluşmuştur. Lav akıntılarının arasında yer yer aglomera ve tuf ara seviyeleri gözlenmektedir. Bu formasyon yer yer 0-20 cm kalınlığa sahip koyu kahverengi, çakıllı kumlu kil birimi tarafından örtülür.

İnceleme alanının temel zeminini oluşturan bazaltlar içerdiği çatlak sistemlerinin nitelik ve niceliğine koşut olarak yer altı suyu hareketlerine izin verebilir. Ancak baraj alanında yapılan kazı gözlemlerine göre ve hidrojeolojik gözlemlere göre yer altı suyu ile karşılaşılması beklenmemektedir.

Bazalttan oluşan inceleme alanında yamaçlardaki arazi eğimi 15° - 20° civarındadır. Değerlendirme sonuçlarına göre inceleme alanında heyelan, kaya düşmesi, çığ, taşkın v.b. sorunlar beklenmez. Proje alanında barajın oturacağı anakaya bazalttan oluşur. Bu bağlamda, baraj yüksek taşıma gücüne sahip kaya birimleri üzerine oturmaktadır. Kaya birimlerine oturan baraj için emniyetli taşıma gücü değeri konservatif bir değer olarak, $q_{em}=200$ kPa alınabilir. Bu değer baraj altında beklenen statik gerilme $q=100$ kPa değerinden çok yüksek olduğundan bazalt birimine oturacak barajda oturma ve taşıma gücü problemleri beklenmez.

4.3.3. Dolguda Kullanılacak Malzeme ve Geoteknik Özellikleri

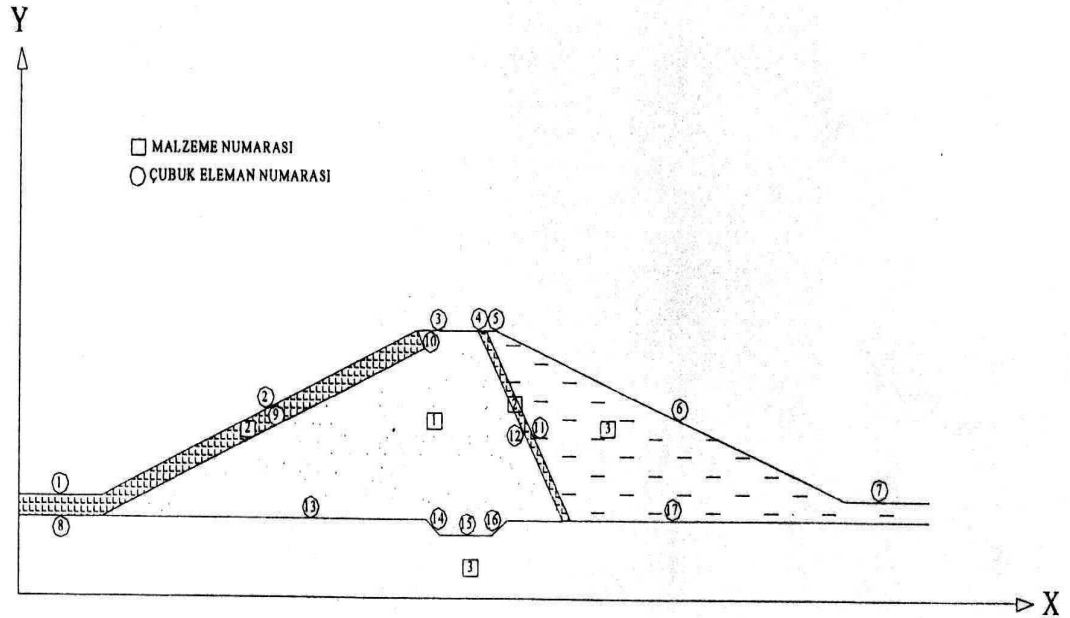
Dolguda kullanılacak malzeme için ekonomik taşıma mesafeleri içerisinde araştırmalar sürmektedir. Sarısalkım barajında üç tip malzeme kullanılması düşünülmektedir. Bu malzemeler mansap, memba ve çekirdek dolgularını oluşturacaktır. Çevrede duyulan su ihtiyacına göre baraj geometrisi tasarlandığından ve kullanılacak dolgu malzemeleri henüz tespit edilemediğinden dolayı bizim araştırmalarımızda dolguda kullanılacak üç tip zeminin geoteknik özelliklerini kendimiz belirledik.

	<u>No.1</u>	<u>No.2</u>	<u>No.3</u>
Dane Birim Hacim Ağırlık (t/m^3)	2.65	2.60	2.60
Kohezyon (t/m^2)	6	0.00	0.00
İçsel Sürtünme Açısı (Derece)	20	38	33
Boşluk Suyu Basıncı (t/m^2)	0.00	0.00	0.00

4.4. G.B.B Sarısalkım Barajı Stabilite Analizleri

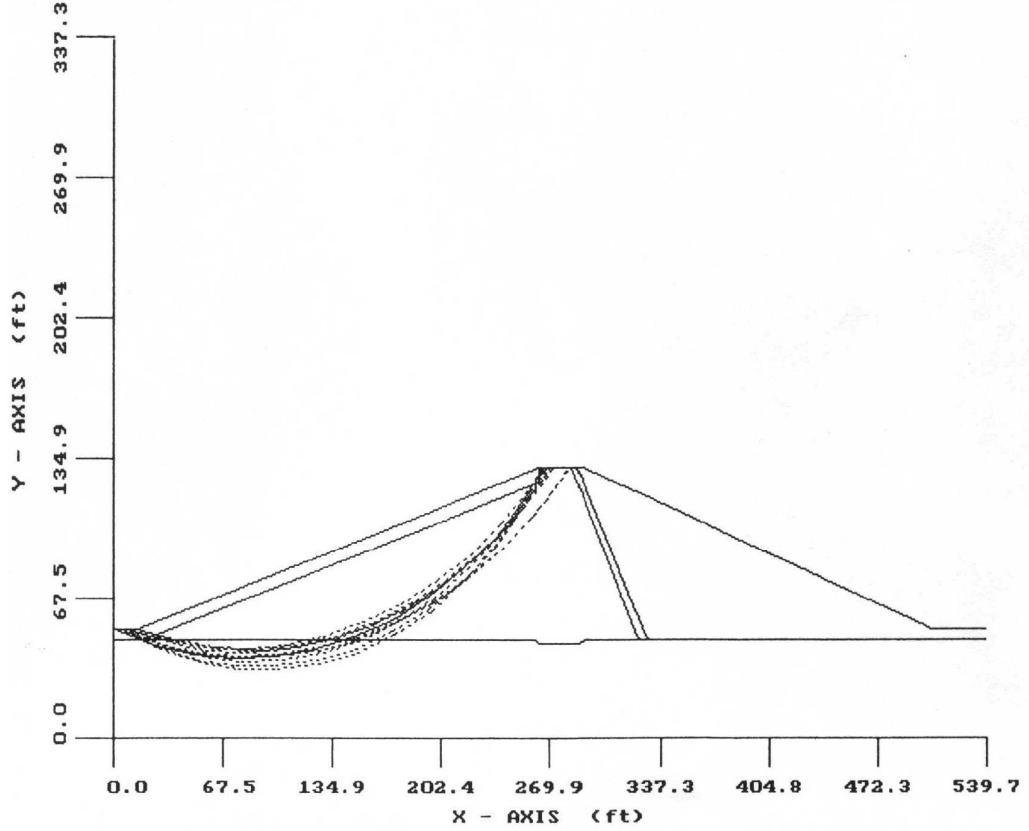
4.4.1. Baraj Dolgusunun Stable Vs4 Programı ile Analizi

Barajda dolgusunda kullanılacak dolgu malzemesi ve bunların karakteristik özellikleri ile baraj geometrisi belirlendikten sonra Stable Vs4 programına ilk aşamada sınır koordinatları Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi çubuk numarasına göre girilir. Sonra dolgu tabanındaki malzeme özelliğine göre taban eleman tanımlanır. Bu çalışmada taban malzemesi, bazalt olarak tespit edildiği için rijit olarak kabul edilmiştir. İkinci aşamada dolgu malzemesinin karakteristik özellikleri programda istenilen İngiliz birim sistemine uygun girilerek analiz yapılır.



Şekil 4.1. G.B.B. Sarısalkım Barajı Malzeme ve Çubuk Numaraları

Analiz beş aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada dolguda kullanılan üç tip malzemeye göre en kritik 10 adet kayma yüzeyi ve bu kayma yüzeylerine karşılık gelen güvenlik sayıları tespit edilmiştir. Bulunan kayma yüzeyleri Şekil 4.2.'deki gibidir. Analiz sonuçları ise Ek 1.'de verilmiştir.



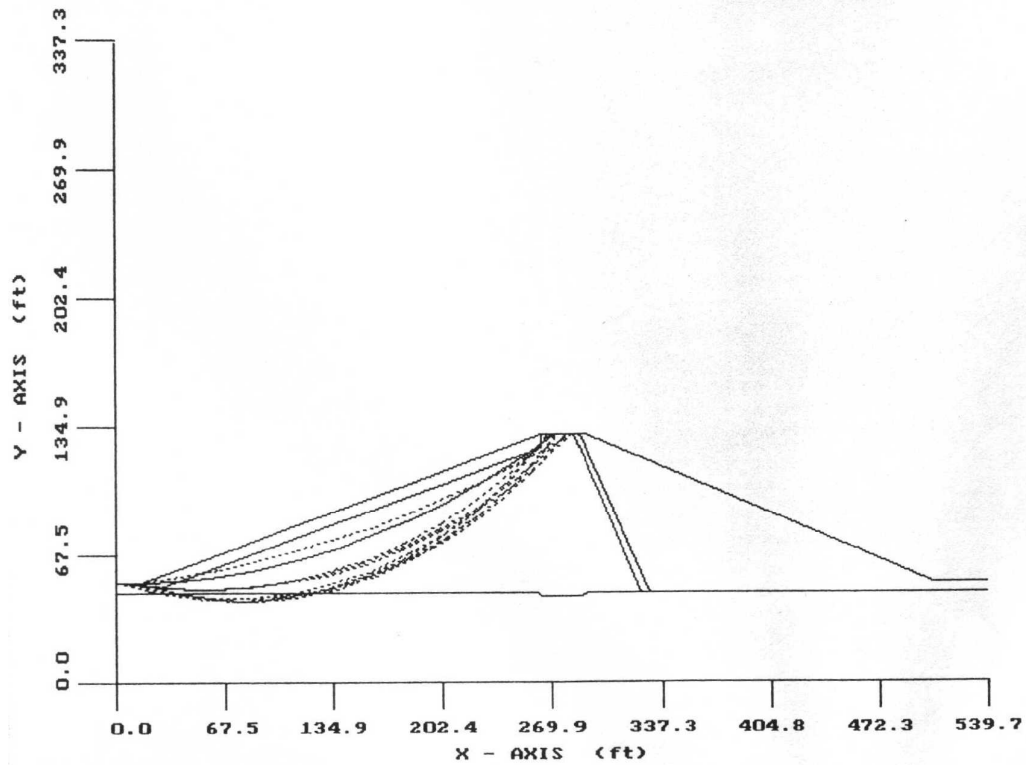
Şekil 4.2. G.B.B. Sarısalkım Barajı En Kritik 10 Adet Kayma Yüzeyleri Koordinatları

İkinci aşamada G.B.B. Sarısalkım Barajında kullanılan 1 nolu dolgu malzemesinin kohezyon değerlerinin değiştirilmesi ile hesaplanan en kritik 10 adet kayma yüzeyi koordinatları ve bu kayma yüzeylerine karşılık gelen güvenlik sayıları tespit edilmiştir. Bulunan kayma yüzeyleri Şekil 4.3.'deki gibidir. Analiz sonuçları ise Ek 2.'de verilmiştir.

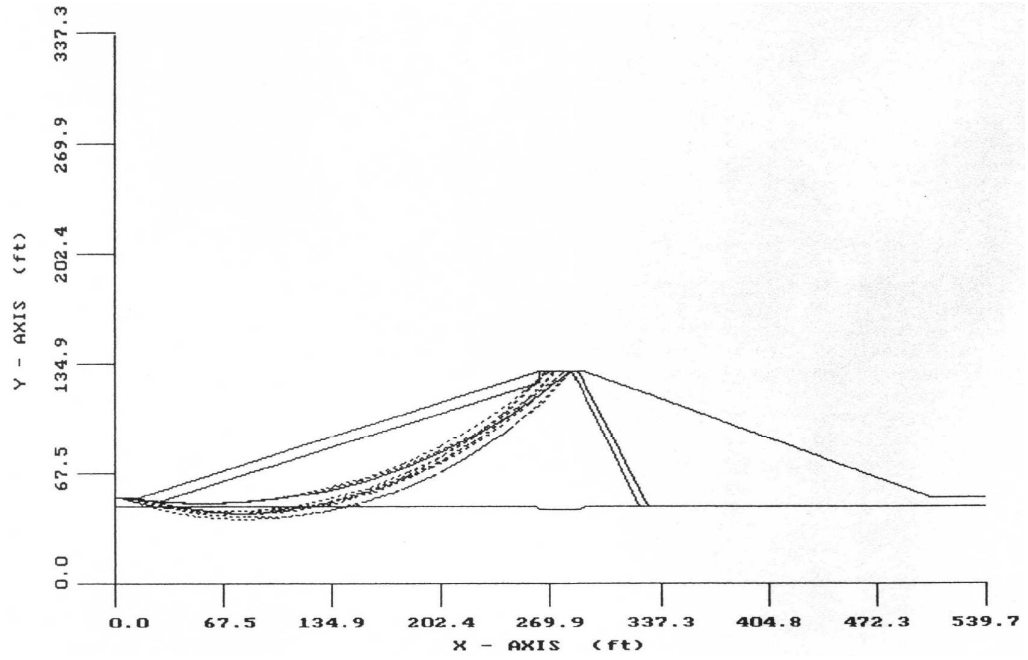
Üçüncü aşamada G.B.B. Sarısalkım Barajında kullanılan 1 nolu dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısı değerlerinin değiştirilmesi ile hesaplanan en kritik 10 adet kayma yüzeyi koordinatları ve bu kayma yüzeylerine karşılık gelen güvenlik sayıları tespit edilmiştir. Bulunan kayma yüzeyleri Şekil 4.4.'deki gibidir. Analiz sonuçları ise Ek 3.'de verilmiştir.

Dördüncü aşamada G.B.B. Sarısalkım Barajında kullanılan 1 nolu dolgu malzemesinin boşluk suyu basıncı değerlerinin değiştirilmesi ile hesaplanan en kritik 10 adet kayma yüzeyi koordinatları ve bu kayma yüzeylerine karşılık gelen güvenlik sayıları tespit edilmiştir. Bulunan kayma yüzeyleri Şekil 4.5.'deki gibidir. Analiz sonuçları ise Ek 4.'de verilmiştir.

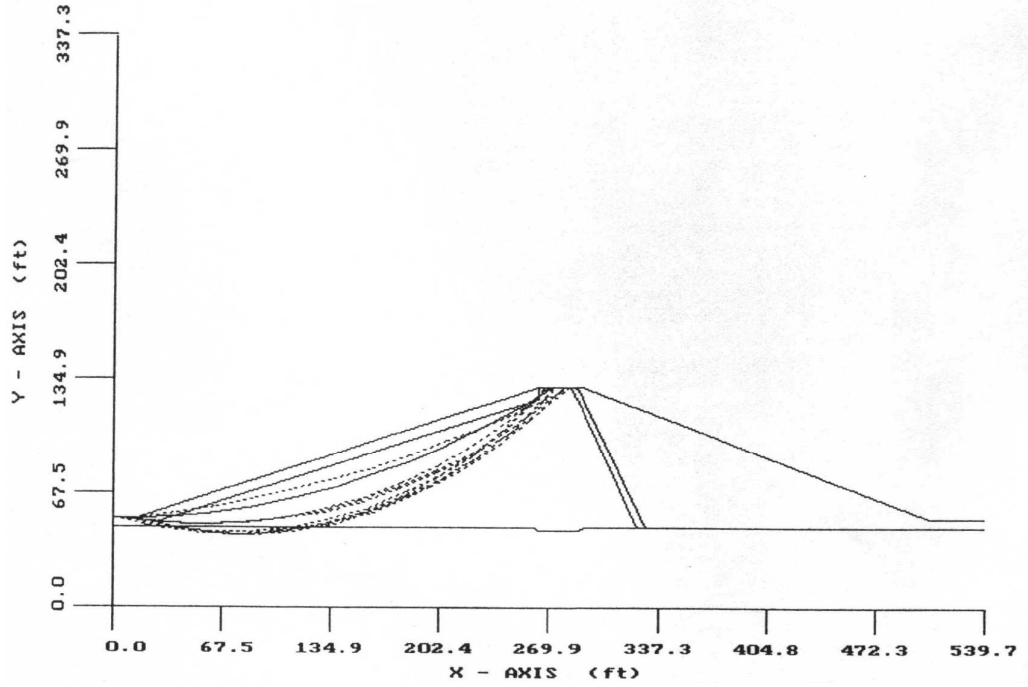
Son aşamada ise G.B.B. Sarısalkım Barajında kullanılan 1 nolu dolgu malzemesinin deprem yükü etkisi ile boşluk suyu basıncının aynı anda etki ettiği duruma karşılık gelen güvenlik sayısı tespit edilmiştir. Hesaplanan analiz sonuçları ise Ek 5.'de verilmiştir.



Şekil 4.3. G.B.B. Sarısalkım Barajı Kohezyon Değerlerinin Değiştirilmesi ile Hesaplanan En Kritik 10 Adet Kayma Yüzeyleri Koordinatları



Şekil 4.4. G.B.B. Sarısalkım Barajı İçsel Sürtünme Açısı Değiştirilmesi ile Hesaplanan En Kritik 10 Adet Kayma Yüzeyleri Koordinatları



Şekil 4.5. G.B.B. Sarısalkım Barajı Dolgu Malzemesinin Boşluk Suyu Basıncının Değiştirilmesi ile Hesaplanan En Kritik 10 Adet Kayma Yüzeyi Koordinatları

4.5. G.B.B. Sarısalkım Barajı Stabilite Analizleri Genel Değerlendirmesi

Toprak dolgu barajların tasarımında şev stabilitesi önemli bir yer tutmaktadır. Dolguda kullanılacak malzemenin fiziksel özelliklerine doğru bir şekilde karar verdikten sonra, şevlerin ekonomik güvenilir sınırlar içerisinde tasarlanması kolaylaşır.

Toprak ve kaya dolgu barajlarda şev emniyetine etki eden faktörlerden olan dolgunun karakteristik değerleri;

- | | |
|------------------------------|---------------------------------|
| 1. Dane Birim Hacim Ağırlığı | (γ , t/m ³) |
| 2. Kohezyon | (c, t/m ²) |
| 3. İçsel Sürtünme Açısı | (ϕ , derece) |

Güvenlik sayısının artması veya azalması bu parametrelerle yakından ilgilidir. Dolgunun karakteristik değerleri yanında, topuğa yakın bölgede malzeme artışı, şev üstündeki yük artışı, çekme çatlaklarına su dolması, boşluk suyu basıncındaki artış, deprem ve diğer titreşim ivmeleri, su seviyesinin ani olarak düşmesi ve giderek kırılması gibi dış etmenlerde şevlerin stabilitesinde etkilidir.

Stable Vs4 bilgisayar programına data girişi yapılan dolgunun geometrik yapısı, kullanılan dolgu malzemesinin geoteknik özelliklerine yapılan analizde program bize kayma yüzeyleri ve bunlara bağlı güvenlik sayılarını vermiştir. Yapılan hesaplamalara göre minimum güvenlik sayısı 2.42 olarak bulunmuştur. Bu güvenlik sayısı toprak dolgu barajda şev stabilitesi açısından kabul edilebilir ve güvenli tarafta kalmaktadır.

Dolguda kullanacağımız malzemelerin geoteknik özelliklerini değiştirip yaptığımız analizler sonucunda, içsel sürtünme açısının alt sınırlarında güvenlik sayısı 1.554 olarak hesaplanmıştır. Bu değer istenilen güvenlik sayısına karşılık gelmediği açıktır. Kohezyon değerini değiştirdiğimizde yine kohezyon değerinin alt sınırlarında güvenlik sayısı 1.226 olarak hesaplanmıştır. Bu değerde toprak dolgu barajlar açısından güvenli değildir. Boşluk suyu basıncında yaptığımız değişikliklerde ise artırılan boşluk suyu basıncına karşılık gelen güvenlik sayılarının sürekli düştüğü ve en küçük olarak 1.464 güvenlik sayısı hesaplanmıştır. Buda toprak dolgu barajlar için istenilen güvenlik sayılarına karşılık gelmemektedir.

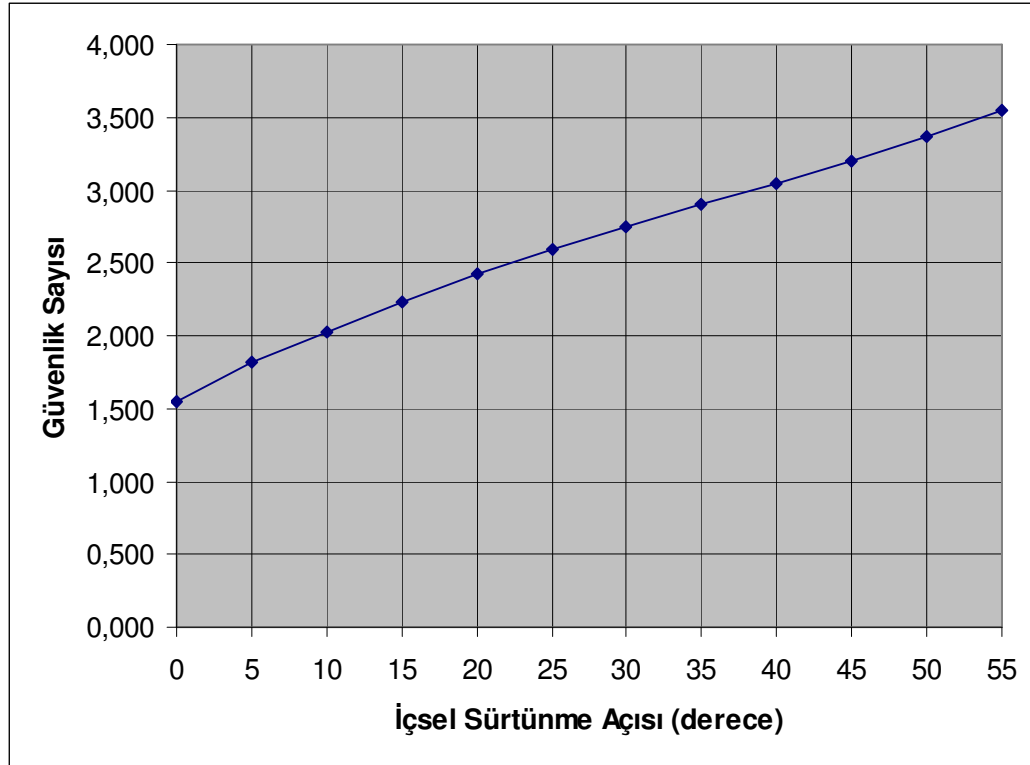
Dolgu barajlarda dolgunun karakteristik değerlerinin her birinin ayrı ayrı şev emniyetine etkisi ve her birine ait yapılan Stable Vs4 analizleri irdelenerek aşağıda verilmiştir.

4.5.1. İçsel Sürtünme Açısının Artırılması İle Güvenlik Sayısı Değişiminin İncelenmesi

Dolgunun karakteristik değerlerinden olan içsel sürtünme açısı (ϕ) dışındaki değerleri sabit kalmak şartıyla ϕ değerleri belirli bir değerden başlanmak üzere artırılarak buna karşı gelen F (güvenlik sayısı) değerleri Stable Vs4 programı ile hesaplanmış olup, F/ ϕ grafiği çizilmiştir. Tablo 4.1. 'de $\phi=0$ derecede $F=1.554$ iken $\phi=55$ derecede $F=3.554$ 'e yükselmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi $Tg\alpha$ değerleri sabit kalmakta ve güvenlik sayısı değerleri belirli bir değerden başlayarak lineer olarak artmaktadır. F değerleri ϕ değerleri ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Tablo 4.1.'de içsel sürtünme açısının alt sınır değerlerine karşılık gelen güvenlik sayıları dolgu barajlarda istenilen güvenlik sayılarını vermeyeceği açıktır.

Tablo 4.1. Artırılan İçsel Sürtünme Açılarına Karşılık Gelen Güvenlik Sayısı Değerleri

Sıra No	ϕ (Derece)	F (Güvenlik Sayısı)
1	0.0	1.554
2	5.0	1.818
3	10.0	2.024
4	15.0	2.233
5	20.0	2.420
6	25.0	2.588
7	30.0	2.743
8	35.0	2.898
9	40.0	3.043
10	45.0	3.199
11	50.0	3.367
12	55.0	3.547



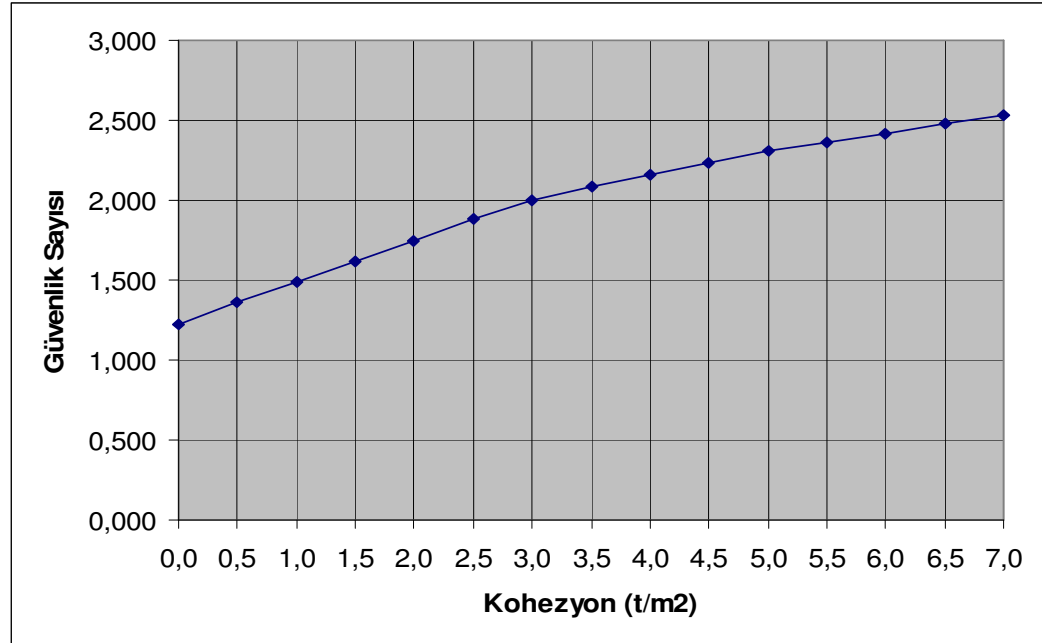
Şekil 4.6. İçsel Sürtünme Açısının Güvenlik Sayısı ile Değişimi

4.5.2. Kohezyonun Artırılması İle Güvenlik Sayısı Değişiminin İncelenmesi

Dolgu barajlarda dolgunun kohezyon değeri dışındaki karakteristik değerleri sabit kalmak şartıyla, kohezyon artırılıp buna karşı gelen F (güvenlik sayısı) değerleri Stable Vs4 programı ile hesaplanmış ve F/c grafiği çizilmiştir. F/c grafiği incelendiğinde güvenlik sayısı giderek azalan eğimlerle artmakta, belirli bir değerden sonrada sabit kalmaktadır. Tablo 4.2.'de $\Delta F_1=0.133$ 'ten $\Delta F_2=0.051$ 'e kadar düşmekte ve bundan sonraki değerlerde ise $\Delta F=0$ 'a yaklaşmaktadır. Tablo 4.2.'de görüldüğü gibi kohezyon değerinin küçük olması dolgu barajlarda güvenlik sayısını yetersiz kılmaktadır.

Tablo 4.2. Artırılan Kohezyon Değerine Karşılık Gelen Güvenlik Sayısı Değerleri

Sıra No	c, t/m ² (Kohezyon)	F (Güvenlik Sayısı)
1	0.00	1.226
2	0.50	1.359
3	1.00	1.491
4	1.50	1.622
5	2.00	1.750
6	2.50	1.878
7	3.00	2.005
8	3.50	2.089
9	4.00	2.162
10	4.50	2.235
11	5.00	2.304
12	5.50	2.363
13	6.00	2.420
14	6.50	2.476
15	7.00	2.532



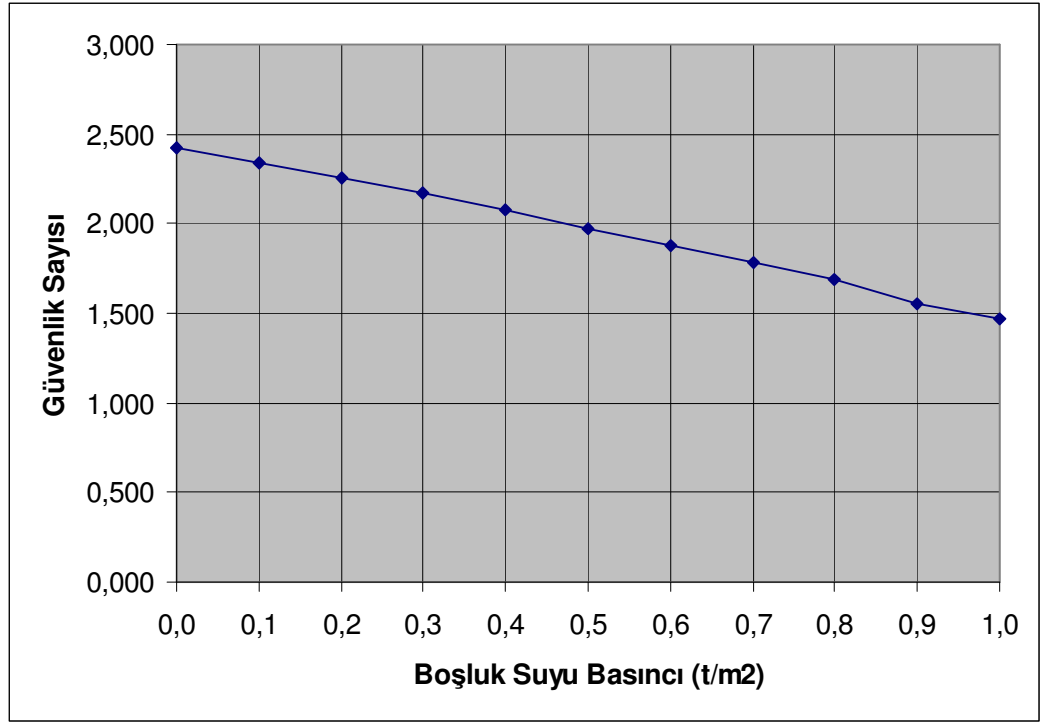
Şekil 4.7. Kohezyon Değerinin Güvenlik Sayısı ile Değişimi

4.5.3. Boşluk Suyu Basıncının Artırılması İle Güvenlik Sayısı Değişiminin İncelenmesi

Şev stabilitesinde, güvenlik sayısını etkileyen toprak dolgunun karakteristik değerlerinin yanında boşluk suyu basıncıda çok önemlidir. Boşluk suyu basıncının dışındaki dolgunun karakteristik değerleri sabit kalmak şartıyla boşluk suyu basıncı değerleri artırılmış ve güvenlik sayısı değişimleri Stable Vs4 programı ile hesaplanmıştır. Bu hesap dahilinde boşluk suyu basıncı ile güvenlik sayısı değişimi grafiği çizilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, boşluk suyu basıncı arttıkça güvenlik sayısı lineer olarak azalmaktadır. Tablo 4.3.'de görüldüğü gibi boşluk suyu basıncı arttıkça, güvenlik azalmaktadır.

Tablo 4.3. Artırılan Boşluk Suyu Basıncılarına Karşılık Gelen Güvenlik Sayısı Değerleri

Sıra No	r_u (%)	F (Güvenlik Sayısı)
1	0.0	2.420
2	0.10	2.338
3	0.20	2.254
4	0.30	2.168
5	0.40	2.072
6	0.50	1.977
7	0.60	1.882
8	0.70	1.787
9	0.80	1.693
10	0.90	1.566
11	1.00	1.464



Şekil 4.8. Boşluk Suyu Basıncının Güvenlik Sayısı ile Değişimi

4.5.4. Deprem ve Boşluk Suyu Basıncı Etkisi Altında Güvenlik Sayısı Değişiminin İncelenmesi

Stable Vs4 programı ile yapılan analizlerde deprem etkisi ve boşluk suyu basıncı birlikte alındığında güvenlik sayısı $F=1.466$, sadece deprem etkisi altında ise $F=1.794$ hesaplanmıştır.

Yapılan bu analizler gösteriyor ki; Sarısalkım toprak dolgu barajının en kritik durumu deprem etkisi ve boşluk suyu basıncının aynı anda mevcut olması durumunda meydana gelmektedir.

4.6. Sonuçlar

Geoteknik mühendisliğinde dolgu baraj yapılarının projelendirilmesinde bilgisayar programı kullanılması oldukça yaygınlaşmıştır.

Dolgu barajların stabilite analizlerini yaparken, zeminin yaklaşık ve ortalama en gerçekçi fiziki özelliklerini kullanacak bir program hazırlamak veya mevcut programlar ile bilgisayarlardan yararlanmak uygundur. Fakat zeminin özelliklerini doğru olarak değerlendirecek bir arazi ve laboratuvar çalışması yapıp, zeminin yerindeki özelliklerini ve mukavemetini aksettirmek şarttır. Aksi takdirde, bilgisayar yanlış bilgileri kullanır ve yanlış sonuçlar verir.

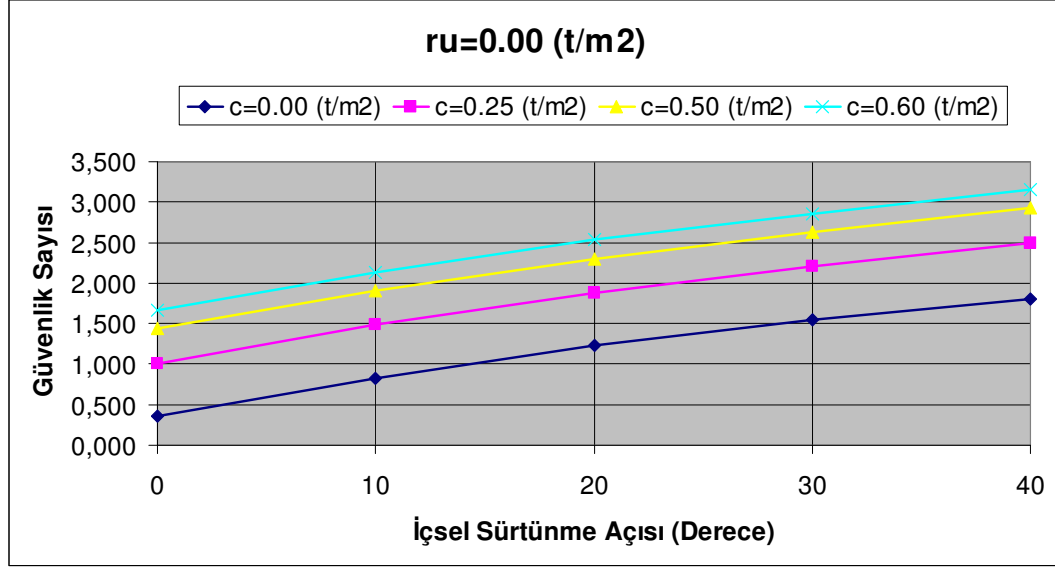
Dolgunun karakteristik değerlerinden olan içsel sürtünme açısı dışındaki değerleri sabit kalmak kaydıyla içsel sürtünme açısı değerleri belirli bir değerden sonra artırılarak buna karşı gelen güvenlik sayısı değerleri Stable Vs4 programı ile hesaplanmıştır. İçsel sürtünme açısı arttıkça, eğim sabit kalmakta ve güvenlik sayısı artmaktadır. Güvenlik sayısı belirli bir değerden başlayarak lineer olarak artmıştır. İçsel sürtünme açısının küçük değerlerine karşılık gelen güvenlik sayıları dolgu barajlarda istenilen güvenlik sayılarını vermemiştir.

Dolgu barajlarda dolgunun kohezyon değeri dışındaki karakteristik değerleri sabit kalmak şartıyla, kohezyon artırılıp buna karşı gelen güvenlik sayısı Stable Vs4 programı ile hesaplanmıştır. Kohezyon artırıldığında güvenlik sayısı giderek azalan eğimlerle artmakta, belirli bir değerden sonrada sabit kalmaktadır. Kohezyon değerinin küçük olması dolgu barajlarda güvenlik sayısını yetersiz kılmıştır.

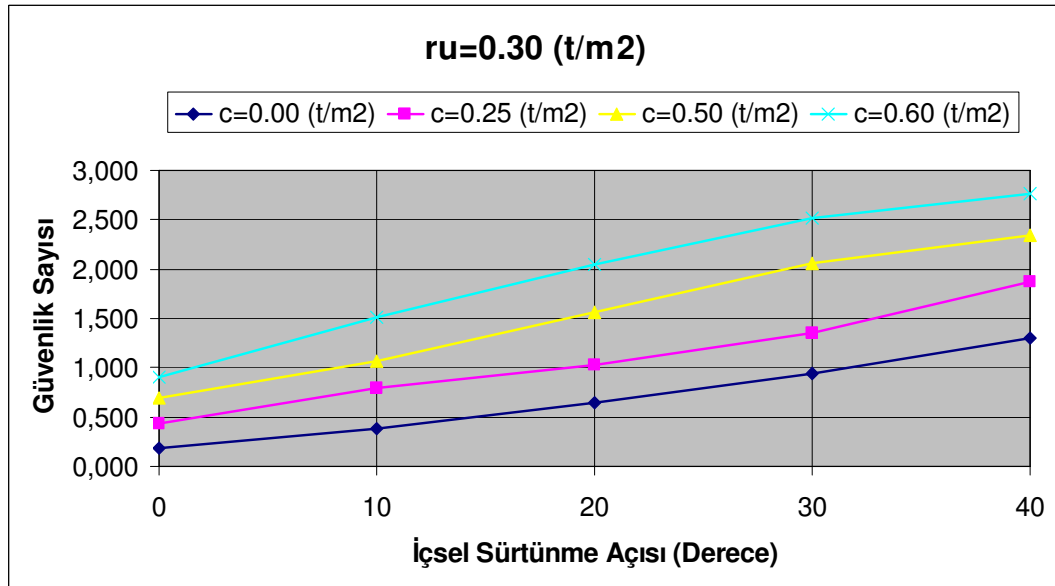
Örnekteki toprak dolgu barajın en kritik durumu deprem ve boşluk suyu basıncının aynı anda mevcut olması durumunda meydana gelmiştir.

Yapılan analizlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması için Şekil 4.9. ve 4.10'da ki grafikler çizilmiştir. Bu grafikte şevin stabilitesine etki eden dolgunun karakteristik özelliklerinden içsel sürtünme açısı, kohezyon ve boşluk suyu basınçlarının güvenlik sayısı üzerindeki etkisi karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Güvenlik sayısı hesaplanırken içsel sürtünme açısının değişen değerlerine karşılık, boşluk suyu basıncı sıfır alınarak Şekil 4.9. elde edilmiştir. Şekil 4.10.'da ise aynı parametrelerin boşluk suyu basıncının

0.30 olan değerine karşı gelen güvenlik sayıları elde edilmiştir. Şekildende görüldüğü gibi boşluk suyu basıncının artması baraj güvenliğini azaltmaktadır. Boşluk suyu basıncının sıfır olduğu durumda içsel sürtünme açısı ve kohezyonun artması baraj güvenliğini arttırmaktadır.



Şekil 4.9. G.B.B. Sarısalıkım Barajının Stabilité Analizinin Sonuçları ($r_u=0.00$)



Şekil 4.10. G.B.B. Sarısalıkım Barajının Stabilité Analizinin Sonuçları ($r_u=0.30$)

Dolgu barajlardaki dolgunun karakteristik değerleri istenilen güvenlik sayılarını sağlayacak şekilde seçilmelidir. Dolgunun karakteristik değerlerinin yanında boşluk suyu basıncıda şev emniyetine önemli derecede etki ettiği görülmektedir. Bu nedenle dolgu inşaatı sırasında dolguya yerleşecek zeminin su muhtevası optimum değerde olacak şekilde sıkıştırılmalıdır. Ayrıca inşaat sırasında yağışların olabileceği göz önünde bulundurularak dolguda kullanılacak zeminin suya olan hassasiyeti laboratuvar şartlarında dolguda kullanılmadan önce deneyler yapılarak gerekli tedbirlerin alınması sağlanmalıdır.

5. BÖLÜM

GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Kitle hareketleri şeklinde genel olarak adlandırılan heyelanlara ait birçok araştırmacı tarafından değişik tanımlamalar yapılmış olmakla beraber bu tanımlar aslında birbirlerinden çok farklı değildir. Basit olarak düzensiz bir geometriye sahip doğal şevlerin (yamaç) kayma hareketine heyelan, insanlar tarafından mühendislik amaçlı yapılan ve belirli geometrisi olan yapay eğimli yüzeylere de şev denilmektedir. Toprak, taş veya bunların karışımından oluşan bir zeminin ya da çeşitli kayaçların, bir yüzey üzerinde, aşağıya ve dışarıya hissedilebilir bir şekilde hareket etmesine Heyelan denir [8]. Belirli bir zaman içinde yamacın ilk geometrisini gözle görülür bir şekilde kaybetmesine, üzerindeki ya da önündeki mühendislik yapılarının güvenliğinin kaybolmasına veya işlevini yitirmesine sebep olan kütle hareketidir (TSE 8853). Bu tanımlardan yola çıkarak heyelan tanımlaması şu şekilde yapılabilir. Heyelan; Doğal kaya, zemin, yapay dolgu veya bunların bir ya da birkaçının bileşiminden oluşan şev malzemesinin, yerçekimi, jeoloji, ve su içeriği gibi doğal faktörler ile doğal olmayan çeşitli faktörlerin etkisi altında eğim yönünde çoğunlukla dairesel yada düzlemsel hareketiyle sonuçlanan bir sürece verilen isimdir.

Hareketin hızı ve büyüklüğü yamaç eğimi ve su miktarı ile orantılıdır. Doğal afetler içinde yaratmakta olduğu olumsuz etkilerden dolayı önemli bir yer tutan heyelanlar, etkin oldukları bölgede yerleşim yerlerine can ve mal kaybı şeklinde zarar vermekle beraber aynı zamanda kara-demiryolları, bahçe veya ekili alanlar gibi ekonomik yapıları da etkilemeleri bakımından önemlidirler. Ülkemizde özellikle Batı Karadeniz, Doğu Karadeniz, Marmara bölgeleri yoğunlukta olmak üzere birçok bölgede heyelanlar meydana gelmekte bunlardan bazıları ciddi sosyal ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Heyelanlar veya kütle hareketleri, kaya, zemin veya her ikisinin karışımından oluşmuş malzeme içerisinde meydana gelmekle beraber suni şevler de (yapay dolgular gibi) heyelan potansiyeli yaratmaları bakımından önemlidir. Heyelanlar tek bir hareket

şeklinde meydana gelebildikleri gibi küçük ölçekli birden fazla heyelan aynı anda hareket ederek büyük ölçekte bir hareket meydana getirebilmektedir. Özellikle küçük ölçekli oturmaların meydana getirdiği çatlak sistemleri yağışlı havalarda zeminin suya doygun hale gelmesine yol açmakta, böylece geniş ölçekli bir heyelan kütlesi içerisinde daha küçük ölçekli heyelanlar oluşmaktadır. Ani ve sürpriz nitelikli hiçbir yamaç hareketi yoktur. En hızlı heyelanlar da daha öncesinden işaretlerini verir, geleceklerini duyururlar. Bütün bunlara rağmen heyelanların acılara neden olması, tehlike işaretlerinin zamanında görülmeşiştir [8] .

Doğal ya da yapay şevlerin analizi için birçok yöntem ileri sürülmüştür. Bu yöntemler arasında uygulamada ve kullanım alanında bazı farklar olmasına rağmen hemen hepsinde ortak özellik, bilinen veya kabul edilen kritik kayma yüzeyinde kayma kütlesinin dengesinin araştırılmasıdır. Şev stabilite çalışmalarının amacı yapılar, kazılarda ve dolgularda çözüme güvenli ve ekonomik yoldan ulaşmaktır. Şev stabilite araştırmaları limit denge yöntemi ve gerilme dağılışı ile stabilite inceleme yöntemleri olmak üzere iki grupta toplanabilir.

Şev stabilitesi analiz yöntemlerinin önemli bir kısmını oluşturan limit denge yöntemleri Coulomb göçme kriterini esas olarak, göçme yüzeyinin doğrusal çizgi, dairesel yay, logaritmik spiral ve diğer yüzeylerden birisini kabul etmektedir. Hesap başlangıcında şevin serbest cisim diyagramı üzerinde bilinen veya kabul edilmiş olan kuvvetler gösterilir, denge konumu için zeminin geçerli kayma direnci bulunur. Kayma direncinin hesaplanmasında zeminin geçerli kayma mukavemeti ile tahmin edilen mukavemet karşılaştırılarak güvenlik sayısı değeri elde edilir. Tüm mühendislik problemlerinde olduğu gibi, şevlerin stabilitelerinde de bir güvenlik sayısı geçerlidir. Elde edilen güvenlik sayısı, bir şevin stabil olup olmadığının veya ne kadar stabil olduğunun göstergesidir.

Gerilme dağılışı ile stabilite araştırmaları elastisite teorisine dayanmaktadır. Zeminlerin elastik, homojen ve izotrop olduğu kabulleri yapılır. Kayma anında zemin içinde oluşan gerilmeler ve bu gerilmelerin dağılışı ile ilgili araştırmalarla sonuca gitmeye çalışılır. Sonuçta pratikte kullanılmayan uzun ve karışık formüllerle karşılaşılır. Yapılan hatanın belirlenmesi bile güçtür. Bu yüzden teorik araştırmalar olarak kalmıştır.

Şev stabilitesi problemlerinin çözümü çok karmaşık ve uzun işlemler gerektirmektedir. Günümüzde her alanda baş gösteren ve çok büyük kolaylıklar sağlayan bilgisayar programları şev stabilitesi analiz yöntemleri içinde yıllardır yaygın kullanılmaktadır. Biz mühendislere düşen ise bu programlarda yararlanıp işlem kolaylığı sağlamak ve çıkan sonuçları analiz etmek ve yorumlamaktır. Şev stabilitesi analizinde kullanılan ve gün geçtikçe farklı versiyonları ile kendini geliştiren Stable programı bu alanda kendini kanıtlamış bir bilgisayar programıdır.

Stable Vs4 şev stabilitesi problemlerini çözmek için iki boyutlu limit denge yöntemini esas alarak hazırlanmış bir bilgisayar programıdır. "Fortran" diliyle yazılmıştır. Güvenlik faktörünü gözönünde bulundurarak dilimleme metoduyla hesaplama yapmaktadır. Kısmi nokta metodu kullanılarak yapılan Stable versiyonunda şekil değiştirmeli, referans noktalı sisteme uyarlanmıştır. Bu metodun programa uyarlanması tasarlanmış düşüm yüzeylerin analizlerine ve bu yüzeylere ait dairesel şekillerin oluşturulmasına yardımcı olmuştur. Stable; tasarlanmış yüzeyler için kritik yüzeylerin ve bunlara karşılık gelen güvenlik faktörlerinin tekli ve rastgele tekniğini göstermektedir. Bu teknik dairesel ve diğer yüzeyleri, bu yüzeylere ait dilimlenmiş blok karakterleri ve sonuncu olarak genelde problemlili yüzeylerin rastgele tasarlanmış şekillerini içerir.

Stable Vs4 programı Limit Denge Yöntemini kullanarak dolgu malzemeyi tabakalara ayırır ve blok kayma kutuları oluşturur. Kayması muhtemel ana blok belirlenir ve sonra bunun aktif ve pasif kısmında oluşacak muhtemel kayma yüzeyleri için dairesel ve random deneme kayma yüzeyleri üretilir. Ana bloğun sol ucundan başlayan belirli kayma yüzeyi oluşturacak doğru parçasının uzunluğu gelişigüzel seçilir ve bu işlem sonunda kayma $0^{\circ} - 45^{\circ}$ arasında olması için yönlendirilir. Bu deneme yanılma metodu ile uzunluk değiştirilmek kaydıyla kayma yüzeyinin yatayla yaptığı açı 45° 'ye yaklaştığı bir konum uygun bulunarak işlem tamamlanır.

Bu tez çalışması kapsamında Gaziantep Büyükşehir Belediyesi tarafından Gaziantep İli Şahinbey İlçesi Sarısalkım Köyünde etüt ve proje çalışmalarına yeni başlanan Sarısalkım toprak dolgu barajının stabilitesi araştırılmıştır. Dolguda kullanılacak malzeme için ekonomik taşıma mesafeleri içerisinde araştırmalar sürdüğü için memba,

mansap ve çekirdek kısmında kullanılacak üç tip dolgu malzemesinin geoteknik özelliklerini kendimiz belirledik.

Tez çalışmasında baraj dolgusundaki şev stabilitesinin araştırılması amacıyla Stable Vs4 bilgisayar programı kullanılmıştır. Uygulamanın birinci kısmında baraj dolgusu için belirlenen üç tip zemin çeşidi kullanılarak baraj dolgusunda oluşabilecek kayma yüzeyleri ve koordinatları Stable Vs4 programı ile bulunmuş ve bunlara bağlı olarak güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre bulunan kayma yüzeylerinde şev stabilitesine deprem etkisi araştırılmış yine aynı kayma yüzeyine deprem+boşluk suyu basıncı etkisi araştırılmıştır.

Uygulamanın ikinci kısmında ise baraj dolgusundaki üç tip zemin çeşidinden sadece barajın mansap kısmındaki zeminin karakteristik özellikleri değiştirilerek baraj dolgusunun stabilitesinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla seçilen zeminin dane birim hacim ağırlığı sabit tutulmuş kohezyon, içsel sürtünme açısı, boşluk suyu basıncı değişimlerinin kayma yüzeyleri ve güvenlik sayısına etkisi incelenmiştir. Bu sonuçlara göre bulunan en kritik kayma yüzeylerinde şev stabilitesine deprem etkisi araştırılmış yine aynı kayma yüzeyine deprem+boşluk suyu basıncı etkisi araştırılmıştır.

İçsel sürtünme açısı arttıkça, eğim sabit kalmakta ve güvenlik sayısı artmaktadır. Güvenlik sayısı belirli bir değerden başlayarak lineer olarak artmıştır. İçsel sürtünme açısının küçük değerlerine karşılık gelen güvenlik sayıları dolgu barajlarda istenilen güvenlik sayılarını vermemiştir.

Kohezyon arttırıldığında güvenlik sayısı giderek azalan eğimlerle artmakta, belirli bir değerden sonrada sabit kalmaktadır. Kohezyon değerinin küçük olması dolgu barajlarda güvenlik sayısını yetersiz kılmıştır.

Dolgunun karakteristik değerlerinin yanında boşluk suyu basıncıda şev emniyetine önemli derecede etki ettiği görülmektedir. Bu nedenle dolgu inşaatı sırasında dolguya yerleşecek zeminin su muhtevası optimum değerde olacak şekilde sıkıştırılmalıdır. Ayrıca inşaat sırasında yağışların olabileceği göz önünde bulundurularak dolguda kullanılacak zeminin suya olan hassasiyeti laboratuvar şartlarında dolguda kullanılmadan önce deneyler yapılarak gerekli tedbirlerin alınması sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Demiryürek, Ü., A., Şev Kayma Potansiyelinin İncelenmesi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran, 2002.
2. Siyahi, G., B., Deprem Etkisindeki Şevlerde Stabilitenin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Temmuz, 1994.
3. Kara, H., B., Heyelanlar ve Devebağirtan Heyelanları Üzerine Bir Araştırma, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1980.
4. Blong, R., J., A Numerical Classification of Selected Landslides of the Debris Slide- Avalanche –Flow Type Engineering Geology, 7, 99-114, 1973.
5. Walker, B., Feel, R., Soil Slope Instability and Stabilisation Proc. University of New South Wales, Sydney, 1987.
6. Skempton, A., W., Soil Mechanics in Relation to Geology, Proc. Yorkshire Geological Society 29(1), 33-62, 1953.
7. Önalp, A., İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, Cilt 2, K.T.Ü. Yayın no:3, 1983.
8. Erguvanlı, K., Mühendislik Jeolojisi, syf 196-211, SeçYayını, İstanbul, 1995.
9. Varnes, D., J., Slope Movement Types and Processes Transportation Research Board, Special Report, 176, 11-33, 1978.
10. Atalay, F., İ., Bekaroğlu, .N., Heyelanlar ve Mühendislik Uygulamaları, K.G.M. Yayınları Yayın No: 200, Ankara, 1973.
11. Kumbasar, V., ve Kip, F., Zemin Mekaniği Problemleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1992.
12. Fellenius, B., Calculation of the Stability of Earth Dam, Trans. 2nd. Congr. On. Large Damas, Washington, 4, 445-459, 1936.

13. Bishop, A., W., The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes
Geotechniques, 5, 7-17, 1955.
14. Taylor, D., W., Fundamentals of Soil Mechanics, John Wiley and Sons, Inc.,
N.Y., 406-479, 1948.
15. Spenser, E., A., Method of Analysis of the Stability of Embankments, 1967.
16. Janbu, N., Bjerrum, L., ve Kjaernsl, B., Veiledning Ved Losning Av
Fundamentering Soppgaver, Norwegian Geotechnical Institute, Pub. No.16,
Oslo, 1956.
17. Janbu, N., Application of Composite Slip Surfaces for Stability Analysis,
European Conference on Stability of Earth Slopes, Stockholm Sweden, 1954.
18. Lowe, I., and Karafiath, L., Stability of Earth Dams Upon Drawdown, Proc., 1.
Panamerica Conf. On Soil Mech. And Found. Eng., Mexico City, 1960.
19. Morgenstern, N., R., ve Price, V., E., The Analysis of The Stability of General
Slip Surfaces, Geotechnique, XV, 79-93, Nonlinear Failure Criterion
International Journal, 1965.
20. Utku T., Teori ve Tatbikatta Heyelanlar, KGM, Ankara, 1975.
21. Kumbasar, V., Ülker, R., Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi Dayanma Yapıları
Semineri, Cilt 1, DSİ, syf 25-35.
22. Popescu, M., From Landslide Causes to Landslide Remediation Proc., 7 ISL 1:,
97-114, 1997.
23. Fang, H., Y., ve Hirst, T., J., Application of Plasticity Theory to Slope Stability
Problems, Highway Research Record No.323, 26-38, 1970.
24. Finn, W., D., L., Earthquake Stability of Cohesive Slopes, Journal of The Soil
Mechanics and Foundations Division, ASCE, 92 No.SM1, 1-11, 1966.

25. Fredlund, D., G., Slope Stability Analysis, Computer Documentation, No: CD-4, Dept.of Civil Eng. Univ.of Saskatchewan, Saskatoon, 1974.
26. Hausmann, M., R., Engineering Principles of Ground Modification, McGraw Hill Publishing Company, Singapore, 1990.
27. Lambe, T., W., ve Whitman, R., V., Soil Mechanics, John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y., 353-373, 1979.
28. Lok, Y., Stability of Slopes Anisotropic Soils, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, SM4, 85-106, 1965.
29. Mizuno, E., ve Chen, W.F., Analysis of Soil Response with Different Plasticity Models, In: R.N.Yong and E.T.Selig (Editors), Limit Equilibrium, Plasticity and Generalised Stress-Strain Applications in Geotechnical Engineering ., ASCE, New York, N.Y., 115-138, 1980.
30. Özden, K., Betonarme İstinat Duvarları, İ.T.Ü. Yayınları, İstanbul, 1982.
31. Schoklitsch, A., Temel İnşaatı, Kısım I, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul, 1982.
32. Seed, H., B., ve Goodman, R., E., Earthquake Stability of Slopes of Cohesive Soils, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 90, 43, 74, 1964.
33. Seed, H., B., ve Sultan, H., A., Stability Analysis for a Sloping Core Embankment Proc. ASCE, J.Soil Mech. Found. Eng.Div., 93, 69-84.
34. Skempton, A., W., Long-Term Stability of Clay Slopes, Geotechnique, 1964.
35. Smitbhan, N., Chen, W., F., ve Fang, H., Y., Slope Stability of Layered Soils Proc.4th Southeast Asia Conference on Soil Engineering, Malaysia, 11-26, 1975.
36. Spencer, E., Circular and Logarithmic Spiral Slip Surfaces Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 95, SM1, 227-234, 1969.

37. Terzaghi, K., Teory to practice in soil Mechanics, Wiley , NewYork, 1960.
38. Terzaghi, K., ve Ralph, B., P., Soil Mechanics J. Wiley and Sons, New York inc., Chapman and Hall, London, 1972.
39. Unal, G., Şev Stabilitesinin Güvenilirlik Açısından Farklı Yöntemlerle İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, Anadolu Üniversitesi Araştırma Projesi, Proje no:990232, Eskişehir, 2002.
40. Önalp, A., İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları, Trabzon, 1982.
41. Tuna, A., Şevlerin Stabilitesi, Fırat Üniversitesi Yayınları, Elazığ, 1980.
42. Terzaghi, K., Soil Mechanics in Engineering, Second Edition, NewYork, 1967.
43. Emiroğlu, M., E., Toprak Dolgu Barajlarda Kayma Düzlemlerinin Analitik Olarak Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1992.
44. Özal, K., Küçük Toprak Barajların Planlama Projelendirme, İnşaat ve Aşamaları, Ankara, 1996.
45. Craig, R., F., Soil Mechanics Fourth Edition, Educational Low-Priced Books Scheme, Great Britain, 1987.
46. Diniz, A., R., Dolgu Barajlarda Geçirimli Geçirimsiz Malzeme Parametrelerinin Bulunması, STABLE ve Tünel Sınıflandırmaları Bilgisayar Programları, Konya, 1995.
47. Tuna, A., Toprak Dolgu Barajların Yapı Malzemesi Dolgu Tipleri, Fırat Üniversitesi Yayınları, Elazığ, 1983.
48. Baylar, A., ve Emiroğlu, M., E., Bingöl Gülbahar Barajı Gövde Stabilitesi Üzerine Bir Çalışma, Güneydoğu Anadolu Projesi 1. Mühendislik Kongresi, 29 Mayıs–1 Haziran, syf 62-73, 1996.

EKLER

Ek 1. G.B.B. Sarısalkım Barajının Stable Vs4 Bilgisayar Programı ile Şev Stabillitesi Analizi

**** PCSTABL4 ****

By

Purdue University

Modified by

Peter J. Bosscher

University of Wisconsin-Madison

--Slope Stability Analysis—

Simplified Janbu Method of Slices

Or Simplified Bishop Method

Boundary Coordinates (Sınır Koordinatları)

7 Top Boundaries

14 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type
1	0.00	52.50	14.76	52.50	2
2	14.76	52.50	264.12	131.24	2
3	264.12	131.24	283.81	131.24	1
4	283.81	131.24	287.58	131.24	2
5	287.58	131.24	290.37	131.24	1
6	290.37	131.24	506.92	52.50	1
7	506.92	52.50	539.72	52.50	1
8	0.00	47.57	18.05	47.57	3
9	18.05	47.57	264.12	123.86	1
10	287.58	131.24	324.82	47.57	1
11	18.05	47.57	261.66	47.57	3
12	261.66	47.57	264.12	45.93	3
13	288.73	45.93	292.00	47.57	3
14	292.00	47.57	539.72	47.57	3

Isotropic Soil Parameters (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type (s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	120.4	124.3	1230.0	20.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Searching Routing 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	539.72	0.00

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

100 Trial Surface Has Been Generated.

10 Surface Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X= 0.00 ft.

And X= 14.76 ft

Each Surface Terminates Between X= 264.12 ft.

And X= 283.81 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation

At Which A Surface Extends Is Y= 0.00 ft.

25.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

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

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

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	1.64	52.50
2	25.60	45.36
3	50.18	40.81
4	75.11	38.89
5	100.10	39.64
6	124.87	43.03
7	149.13	49.04
8	172.62	57.59
9	195.07	68.59
10	216.23	81.91
11	235.85	97.41
12	253.71	114.90
13	267.17	131.24

*** 2.420 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	6.56	52.50
2	30.29	44.63
3	54.76	39.50
4	79.65	37.19
5	104.64	37.72
6	129.42	41.09
7	153.64	47.26
8	177.01	56.14
9	199.22	67.61
10	219.98	81.54
11	239.03	97.74
12	256.11	116.00
13	267.41	131.24

*** 2.493 ***

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	6.56	52.50
2	30.95	47.02
3	55.76	43.94
4	80.75	43.29
5	105.69	45.08
6	130.33	49.30
7	154.45	55.89
8	177.81	64.80
9	200.18	75.94
10	221.37	89.21
11	241.17	104.48
12	259.38	121.61
13	267.80	131.24

*** 2.513 ***

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.20	52.50
2	32.45	46.41
3	57.18	42.79
4	82.16	41.68
5	107.12	43.10
6	131.81	47.02
7	155.98	53.41
8	179.38	62.20
9	201.78	73.30
10	222.94	86.61
11	242.66	101.98
12	260.73	119.26
13	270.96	131.24

*** 2.529 ***

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	4.92	52.50
2	28.15	43.25
3	52.33	36.92
4	77.11	33.60
5	102.11	33.35
6	126.95	36.15
7	151.26	41.98
8	174.68	50.75
9	196.84	62.32
10	217.42	76.51
11	236.10	93.12
12	252.61	111.90
13	265.80	131.24

*** 2.545 ***

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	3.28	52.50
2	26.73	43.83
3	51.03	37.95
4	75.84	34.92
5	100.84	34.79
6	125.69	37.57
7	150.04	43.21
8	173.58	51.64
9	195.98	62.74
10	216.94	76.37
11	236.17	92.34
12	253.43	110.43
13	268.95	131.24

*** 2.554 ***

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	3.28	52.50
2	27.36	45.77
3	51.97	41.40
4	76.89	39.42
5	101.89	39.87
6	126.73	42.72
7	151.17	47.96
8	175.00	55.53
9	197.98	65.37
10	219.90	77.38
11	240.57	91.46
12	259.77	107.46
13	282.22	131.24

*** 2.556 ***

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	3.28	52.50
2	27.43	46.05
3	52.09	41.90
4	77.02	40.10
5	102.02	40.66
6	126.85	43.57
7	151.29	48.82
8	175.13	56.34
9	198.15	66.08
10	220.16	77.95
11	240.94	91.84
12	260.33	107.63
13	283.22	131.24

*** 2.560 ***

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.12	52.50
2	37.49	46.90
3	62.28	43.74
4	87.27	43.04
5	112.21	44.82
6	136.85	49.06
7	160.95	55.72
8	184.27	64.72
9	206.59	75.99
10	227.68	89.41
11	247.34	104.85
12	265.38	122.16
13	273.14	131.24

*** 2.563 ***

Ek 2. Dolgunun Karakteristik Değerlerinden Kohezyon Değerinin Arttırılması
Sonucu Hesaplanan Güvenlik Sayısı Stable Vs4 Analizi

Isotropic Soil Parameters (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	0.0	20.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

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

Failure Surface Specified By 12 Coordinate

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	14.76	52.50
2	39.72	53.89
3	64.59	56.49
4	89.30	60.29
5	113.79	65.29
6	138.02	71.47
7	161.91	78.81
8	185.42	87.31
9	208.49	96.94
10	231.07	107.68
11	253.10	119.50
12	272.64	131.24

***** 1.226 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)**

Isotropic Soil Parameters (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	102.5	20.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.20	52.50
2	33.06	49.81
3	58.04	49.06
4	83.02	50.26
5	107.82	53.38
6	132.31	58.42
7	156.33	65.34
8	179.74	74.11
9	202.40	84.67
10	224.18	96.95
11	244.93	110.89
12	264.55	126.39
13	269.79	131.24

*** 1.359 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	205.0	20.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.20	52.50
2	33.06	49.81
3	58.04	49.06
4	83.02	50.26
5	107.82	53.38
6	132.31	58.42
7	156.33	65.34
8	179.74	74.11
9	202.40	84.67
10	224.18	96.95
11	244.93	110.89
12	264.55	126.39
13	269.79	131.24

*** 1.491 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	307.5	20.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.20	52.50
2	33.06	49.81
3	58.04	49.06
4	83.02	50.26
5	107.82	53.38
6	132.31	58.42
7	156.33	65.34
8	179.74	74.11
9	202.40	84.67
10	224.18	96.95
11	244.93	110.89
12	264.55	126.39
13	269.79	131.24

*** 1.622 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	410.0	20.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	6.56	52.50
2	31.42	49.86
3	56.40	48.98
4	81.39	49.86
5	106.25	52.51
6	130.86	56.92
7	155.09	63.05
8	178.84	70.88
9	201.97	80.37
10	224.37	91.46
11	245.93	104.12
12	266.54	118.27
13	282.84	131.24

*** 1.750 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	512.5	20.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	6.56	52.50
2	31.42	49.86
3	56.40	48.98
4	81.39	49.86
5	106.25	52.51
6	130.86	56.92
7	155.09	63.05
8	178.84	70.88
9	201.97	80.37
10	224.37	91.46
11	245.93	104.12
12	266.54	118.27
13	282.84	131.24

*** 1.878 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	615.0	20.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	6.56	52.50
2	31.42	49.86
3	56.40	48.98
4	81.39	49.86
5	106.25	52.51
6	130.86	56.92
7	155.09	63.05
8	178.84	70.88
9	201.97	80.37
10	224.37	91.46
11	245.93	104.12
12	266.54	118.27
13	282.84	131.24

*** 2.005 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	717.5	20.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	1.64	52.50
2	26.09	47.29
3	50.90	44.22
4	75.89	43.35
5	100.85	44.66
6	125.61	48.15
7	149.96	53.80
8	173.73	61.55
9	196.73	71.35
10	218.78	83.13
11	239.72	96.79
12	259.38	112.23
13	277.61	129.33
14	279.32	131.24

*** 2.089 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	820.0	20.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	1.64	52.50
2	26.09	47.29
3	50.90	44.22
4	75.89	43.35
5	100.85	44.66
6	125.61	48.15
7	149.96	53.80
8	173.73	61.55
9	196.73	71.35
10	218.78	83.13
11	239.72	96.79
12	259.38	112.23
13	277.61	129.33
14	279.32	131.24

*** 2.162 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	922.5	20.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	1.64	52.50
2	26.09	47.29
3	50.90	44.22
4	75.89	43.35
5	100.85	44.66
6	125.61	48.15
7	149.96	53.80
8	173.73	61.55
9	196.73	71.35
10	218.78	83.13
11	239.72	96.79
12	259.38	112.23
13	277.61	129.33
14	279.32	131.24

*** 2.235 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1025.0	20.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	3.28	52.50
2	27.43	46.05
3	52.09	41.90
4	77.02	40.10
5	102.02	40.66
6	126.85	43.57
7	151.29	48.82
8	175.13	56.34
9	198.15	66.08
10	220.16	77.95
11	240.94	91.84
12	260.33	107.63
13	278.13	125.18
14	283.22	131.24

*** 2.304 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1127.5	20.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	3.28	52.50
2	27.43	46.05
3	52.09	41.90
4	77.02	40.10
5	102.02	40.66
6	126.85	43.57
7	151.29	48.82
8	175.13	56.34
9	198.15	66.08
10	220.16	77.95
11	240.94	91.84
12	260.33	107.63
13	278.13	125.18
14	283.22	131.24

*** 2.363 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	20.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	1.64	52.50
2	25.60	45.36
3	50.18	40.81
4	75.11	38.89
5	100.10	39.64
6	124.87	43.03
7	149.13	49.04
8	172.62	57.59
9	195.07	68.59
10	216.23	81.91
11	235.85	97.41
12	253.71	114.90
13	267.17	131.24

*** 2.420 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1332.5	20.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	1.64	52.50
2	25.60	45.36
3	50.18	40.81
4	75.11	38.89
5	100.10	39.64
6	124.87	43.03
7	149.13	49.04
8	172.62	57.59
9	195.07	68.59
10	216.23	81.91
11	235.85	97.41
12	253.71	114.90
13	267.17	131.24

*** 2.476 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1435.0	20.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	4.92	52.50
2	28.15	43.25
3	52.33	36.92
4	77.11	33.60
5	102.11	33.35
6	126.95	36.15
7	151.26	41.98
8	174.68	50.75
9	196.84	62.32
10	217.42	76.51
11	236.10	93.12
12	252.61	111.90
13	265.80	131.24

*** 2.532 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Ek 3. Dolgunun Karakteristik Değerlerinden İçsel Sürtünme Açısının Arttırılması
Sonucu Hesaplanan Güvenlik Sayısı Stable Vs4 Analizi

Isotropic Soil Parameters (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	0.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

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

Failure Surface Specified By 13 Coordinate

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	6.56	52.50
2	31.42	49.86
3	56.40	48.98
4	81.39	49.86
5	106.25	52.51
6	130.86	56.92
7	155.09	63.05
8	178.84	70.88
9	201.97	80.37
10	224.37	91.46
11	245.93	104.12
12	266.54	118.27
13	282.84	131.24

***** 1.554 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)**

Isotropic Soil Parameters (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	5.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	1.64	52.50
2	26.09	47.28
3	50.90	44.22
4	75.89	43.35
5	100.85	44.66
6	125.61	48.15
7	149.96	53.80
8	173.73	61.55
9	196.73	71.35
10	218.78	83.13
11	239.72	96.79
12	259.38	112.23
13	277.61	129.33
14	279.32	131.24

*** 1.818 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	10.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	1.64	52.50
2	26.09	47.28
3	50.90	44.22
4	75.89	43.35
5	100.85	44.66
6	125.61	48.15
7	149.96	53.80
8	173.73	61.55
9	196.73	71.35
10	218.78	83.13
11	239.72	96.79
12	259.38	112.23
13	277.61	129.33
14	279.32	131.24

*** 2.024 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	15.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	3.28	52.50
2	27.43	46.05
3	52.09	41.90
4	77.02	40.10
5	102.02	40.66
6	126.85	43.57
7	151.29	48.82
8	175.13	56.34
9	198.15	66.08
10	220.16	77.95
11	240.94	91.84
12	260.33	107.63
13	278.13	125.18
14	283.22	131.24

*** 2.233 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	20.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	1.64	52.50
2	25.60	45.36
3	50.18	40.81
4	75.11	38.89
5	100.10	39.64
6	124.87	43.03
7	149.13	49.04
8	172.62	57.59
9	195.07	68.59
10	216.23	81.91
11	235.85	97.41
12	253.71	114.90
13	267.17	131.24

*** 2.420 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	25.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	4.92	52.50
2	28.15	43.25
3	52.33	36.92
4	77.11	33.60
5	102.11	33.35
6	126.95	36.15
7	151.26	41.98
8	174.68	50.75
9	196.84	62.32
10	217.42	76.51
11	236.10	93.12
12	252.61	111.90
13	265.80	131.24

*** 2.588 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	30.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	4.92	52.50
2	28.15	43.25
3	52.33	36.92
4	77.11	33.60
5	102.11	33.35
6	126.95	36.15
7	151.26	41.98
8	174.68	50.75
9	196.84	62.32
10	217.42	76.51
11	236.10	93.12
12	252.61	111.90
13	265.80	131.24

*** 2.743 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	35.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	0.00	52.50
2	22.16	40.93
3	45.67	32.41
4	70.10	27.11
5	95.02	25.10
6	119.98	26.43
7	144.54	31.08
8	168.27	38.96
9	190.74	49.93
10	211.54	63.79
11	230.31	80.30
12	246.71	99.17
13	260.46	120.05
14	265.84	131.24

*** 2.898 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	40.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	0.00	52.50
2	22.16	40.93
3	45.67	32.41
4	70.10	27.11
5	95.02	25.10
6	119.98	26.43
7	144.54	31.08
8	168.27	38.96
9	190.74	49.93
10	211.54	63.79
11	230.31	80.30
12	246.71	99.17
13	260.46	120.05
14	265.84	131.24

*** 3.043 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	45.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.20	52.50
2	29.69	39.72
3	52.81	30.23
4	77.08	24.22
5	101.97	21.83
6	126.93	23.10
7	151.45	28.02
8	174.97	36.47
9	197.01	48.27
10	217.09	63.18
11	234.76	80.86
12	249.66	100.93
13	261.46	122.97
14	264.42	131.24

*** 3.199 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	50.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	8.20	52.50
2	29.69	39.72
3	52.81	30.23
4	77.08	24.22
5	101.97	21.83
6	126.93	23.10
7	151.45	28.02
8	174.97	36.47
9	197.01	48.27
10	217.09	63.18
11	234.76	80.86
12	249.66	100.93
13	261.46	122.97
14	264.42	131.24

*** 3.367 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	55.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

Failure Surface Specified By 15 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	1.64	52.50
2	21.52	37.33
3	43.48	25.39
4	67.01	16.96
5	91.56	12.23
6	116.54	11.31
7	141.37	14.24
8	165.46	20.93
9	188.24	31.24
10	209.17	44.91
11	227.75	61.63
12	243.56	81.00
13	256.21	102.56
14	265.41	125.81
15	266.64	131.24

*** 3.547 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Ek 4. Dolgunun Karakteristik Değerlerinden Boşluk Suyu Basıncının Arttırılması
Sonucu Hesaplanan Güvenlik Sayısı Stable Vs4 Analizi

Isotropic Soil Parameters (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	20.0	0.00	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.00	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.00	0.0	1

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	1.64	52.50
2	25.60	45.36
3	50.18	40.81
4	75.11	38.89
5	100.10	39.64
6	124.87	43.03
7	149.13	49.04
8	172.62	57.59
9	195.07	68.59
10	216.23	81.91
11	235.85	97.41
12	253.71	114.90
13	267.17	131.24

*** 2.420 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parameters (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 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 Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	20.0	0.10	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.00	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.00	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	3.28	52.50
2	27.43	46.05
3	52.09	41.90
4	77.02	40.10
5	102.02	40.66
6	126.85	43.57
7	151.29	48.82
8	175.13	56.34
9	198.15	66.08
10	220.16	77.95
11	240.94	91.84
12	260.33	107.63
13	278.13	125.18
14	283.22	131.24

*** 2.338 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	20.0	0.20	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.00	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.00	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	3.28	52.50
2	27.43	46.05
3	52.09	41.90
4	77.02	40.10
5	102.02	40.66
6	126.85	43.57
7	151.29	48.82
8	175.13	56.34
9	198.15	66.08
10	220.16	77.95
11	240.94	91.84
12	260.33	107.63
13	278.13	125.18
14	283.22	131.24

*** 2.254 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	20.0	0.30	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.00	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.00	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	1.64	52.50
2	26.09	47.28
3	50.90	44.22
4	75.89	43.35
5	100.85	44.66
6	125.61	48.15
7	149.96	53.80
8	173.73	61.55
9	196.73	71.35
10	218.78	83.13
11	239.72	96.79
12	259.38	112.23
13	277.61	129.33
14	279.32	131.24

*** 2.168 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	20.0	0.40	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.00	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.00	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	1.64	52.50
2	26.09	47.28
3	50.90	44.22
4	75.89	43.35
5	100.85	44.66
6	125.61	48.15
7	149.96	53.80
8	173.73	61.55
9	196.73	71.35
10	218.78	83.13
11	239.72	96.79
12	259.38	112.23
13	277.61	129.33
14	279.32	131.24

*** 2.072 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	20.0	0.50	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.00	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.00	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	1.64	52.50
2	26.09	47.28
3	50.90	44.22
4	75.89	43.35
5	100.85	44.66
6	125.61	48.15
7	149.96	53.80
8	173.73	61.55
9	196.73	71.35
10	218.78	83.13
11	239.72	96.79
12	259.38	112.23
13	277.61	129.33
14	279.32	131.24

*** 1.977 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	20.0	0.60	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.00	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.00	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	1.64	52.50
2	26.09	47.28
3	50.90	44.22
4	75.89	43.35
5	100.85	44.66
6	125.61	48.15
7	149.96	53.80
8	173.73	61.55
9	196.73	71.35
10	218.78	83.13
11	239.72	96.79
12	259.38	112.23
13	277.61	129.33
14	279.32	131.24

*** 1.882 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	20.0	0.70	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.00	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.00	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	1.64	52.50
2	26.09	47.28
3	50.90	44.22
4	75.89	43.35
5	100.85	44.66
6	125.61	48.15
7	149.96	53.80
8	173.73	61.55
9	196.73	71.35
10	218.78	83.13
11	239.72	96.79
12	259.38	112.23
13	277.61	129.33
14	279.32	131.24

*** 1.787 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	20.0	0.80	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.00	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.00	0.0	1

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	1.64	52.50
2	26.09	47.28
3	50.90	44.22
4	75.89	43.35
5	100.85	44.66
6	125.61	48.15
7	149.96	53.80
8	173.73	61.55
9	196.73	71.35
10	218.78	83.13
11	239.72	96.79
12	259.38	112.23
13	277.61	129.33
14	279.32	131.24

*** 1.693 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	20.0	0.90	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.00	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.00	0.0	1

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	6.56	52.50
2	31.42	49.86
3	56.40	48.98
4	81.39	49.86
5	106.25	52.51
6	130.86	56.92
7	155.09	63.05
8	178.84	70.88
9	201.97	80.37
10	224.37	91.46
11	245.93	104.12
12	266.54	118.27
13	282.84	131.24

*** 1.566 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Isotropic Soil Parametres (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	20.0	1.00	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.00	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.00	0.0	1

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	6.56	52.50
2	31.42	49.86
3	56.40	48.98
4	81.39	49.86
5	106.25	52.51
6	130.86	56.92
7	155.09	63.05
8	178.84	70.88
9	201.97	80.37
10	224.37	91.46
11	245.93	104.12
12	266.54	118.27
13	282.84	131.24

*** 1.433 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Ek 5. Deprem Etkisi Altında Hesaplanan Güvenlik Sayısı Stable Vs4 Analizi

Boundary Coordinates (Sınır Koordinatları)

7 Top Boundaries

17 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type
1	0.00	52.50	14.76	52.50	2
2	14.76	52.50	264.12	131.24	2
3	264.12	131.24	283.81	131.24	1
4	283.81	131.24	287.58	131.24	2
5	287.58	131.24	290.37	131.24	1
6	290.37	131.24	506.92	52.50	1
7	506.92	52.50	539.72	52.50	1
8	0.00	47.57	18.05	47.57	3
9	18.05	47.57	264.12	123.86	1
10	264.12	131.24	264.12	123.86	1
11	287.58	131.24	329.74	47.57	1
12	283.81	131.24	324.82	47.57	1
13	18.05	47.57	261.66	47.57	3
14	261.66	47.57	264.12	45.93	3
15	264.12	45.93	288.73	45.93	3
16	288.73	45.93	292.00	47.57	3
17	292.00	47.57	539.72	47.57	3

Isotropic Soil Parameters (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	20.0	0.0	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.0	0.0	1

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	539.72	0.00

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient Of 0.100 Has Been Assigned

A Vertical Earthquake Loading Coefficient Of 0.000 Has Been Assigned

Cavitation Pressure = 0.0 psf

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

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced Along The Ground Surface
Between X = 0.00 ft

And Y = 14.76 ft

Each Surface Terminates Between X = 264.12 ft

And Y = 283.81 ft

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A
Surface Extends Is Y = 0.00 ft

25.00 ft Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

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 14 Coordinate

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	3.28	52.50
2	27.43	46.05
3	52.09	41.90
4	77.02	40.10
5	102.02	40.66
6	126.85	43.57
7	151.29	48.82
8	175.13	56.34
9	198.15	66.08
10	220.16	77.95
11	240.94	91.84
12	260.33	107.63
13	278.13	125.18
14	283.22	131.24

*** 1.794 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

Ek 6. Deprem + Boşluk Suyu Basıncı Etkisi Altında Hesaplanan Güvenlik Sayısı
Stable Vs4 Analizi

Boundary Coordinates (Sınır Koordinatları)

7 Top Boundaries

17 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type
1	0.00	52.50	14.76	52.50	2
2	14.76	52.50	264.12	131.24	2
3	264.12	131.24	283.81	131.24	1
4	283.81	131.24	287.58	131.24	2
5	287.58	131.24	290.37	131.24	1
6	290.37	131.24	506.92	52.50	1
7	506.92	52.50	539.72	52.50	1
8	0.00	47.57	18.05	47.57	3
9	18.05	47.57	264.12	123.86	1
10	264.12	131.24	264.12	123.86	1
11	287.58	131.24	329.74	47.57	1
12	283.81	131.24	324.82	47.57	1
13	18.05	47.57	261.66	47.57	3
14	261.66	47.57	264.12	45.93	3
15	264.12	45.93	288.73	45.93	3
16	288.73	45.93	292.00	47.57	3
17	292.00	47.57	539.72	47.57	3

Isotropic Soil Parameters (İzotropik Zemin Parametreleri)

3 Type(s) Of Soil

Soil Type No.	Total UnitWt (pcf)	Saturated Unit Wt (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez Surf No.
1	120.4	124.3	1230.0	20.0	0.50	0.0	1
2	134.0	136.0	0.0	38.0	0.00	0.0	1
3	122.0	125.0	0.0	33.0	0.00	0.0	1

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	539.72	0.00

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient Of 0.100 Has Been Assigned

A Vertical Earthquake Loading Coefficient Of 0.000 Has Been Assigned

Cavitation Pressure = 0.0 psf

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

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced Along The Ground Surface
Between X = 0.00 ft

And Y = 14.76 ft

Each Surface Terminates Between X = 264.12 ft

And Y = 283.81 ft

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A
Surface Extends Is Y = 0.00 ft

25.00 ft Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

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 14 Coordinate

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	1.64	52.50
2	26.09	47.28
3	50.90	44.22
4	75.89	43.35
5	100.85	44.66
6	125.61	48.15
7	149.96	53.80
8	173.73	61.55
9	196.73	71.35
10	218.78	83.13
11	239.72	96.79
12	259.38	112.23
13	277.61	129.33
14	279.32	131.24

*** 1.466 *** (Minimum Güvenlik Sayısı)

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Antalya’da doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Gaziantep’de tamamladı. 1999 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 2004 yılında bölüm üçüncüsü olarak mezun oldu. Aynı yıl Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2004 yılında T.C.K. 6. Bölge Müdürlüğü Kayseri-Malatya bölünmüş devlet yolunda şantiye şefi olarak, 2005-2006 yıllarında Gaziantep TOKİ Karataş şantiyesinde şantiye şefi olarak görev aldı. 2007 yılında Gaziantep Su ve Kanalizasyon İdaresi (GASKİ) Genel Müdürlüğü Etüt ve Plan Daire Başkanlığına İnşaat Mühendisi olarak atandı. Halen aynı yerde görevine devam etmektedir.

Adres:

Gaski Genel Müdürlüğü

Etüt ve Plan Daire Başkanlığı

Keşif İhale Şube Müdürlüğü Kat:3

Şehitkamil/Gaziantep

Tel:0342 211 13 00-3822

e-posta:ercinoz@hotmail.com