

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TOPRAK DOLGU BARAJLARDA KAYMA
DÜZLEMLERİNİN ANALİTİK OLARAK TAYİNİ**

M.Emin EMİROĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Bu Tez, Tarihinde Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından
Oybirliği / Oy çokluğu ile Başarılı / Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

(İmza)

(İmza)

(İmza)

Danışman

Prof.Ahmet TUNA

T. C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK DOLGU BARAJLARDA KAYMA
DÜZLEMLERİNİN ANALİTİK OLARAK TAYİNİ

M. Emin EMİROĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

1992
ELAZIĞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOFRAK DOLGU BARAJLARDA KAYMA DÜZLEMLERİNİN ANALİTİK OLARAK TAYINI

M.Emin EMİROĞLU

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

1992, Sayfa : 118

Mühendislik yönünden şevlerin stabilitesi, başlıca yol, demiryolu, köprü, bina, toprak barajların ve arkasında su tutan dolguların inşasında önemli yer tutar.

Özellikle modern yol ve baraj inşaatlarının artmasıyla şevlerde stabilite konusu, daha sık karşılaşılan bir problem olmuştur.

Dolgu barajların ve karayollarındaki yarma ve dolguların şevlerinin stabilitesi için; şevlerin kayma yüzeyi genellikle dairesel kabul edilir. Farklı metotlar uygulanarak kayma yüzeyinin şekline, denemeler yaparak karar verilebilir.

Şevlerin stabilite analizinde dolgudan ve temelden geçen farklı kayma yüzeyi daireleri seçilir. Böylece minimum güvenlik faktörü çeşitli kayma yüzeylerinde denemeler yaparak , kritik kayma yüzeyi ile birlikte tayin edilir.

Kayma yüzeyi, kaymada minimum güvenlik faktörünü veren yüzeydir. Böylece kritik yüzeye , belirli hesaplar neticesinde, karar verilir. Kayma yüzeyinde analiz yapılırken dilim metodu veya sürtünme dairesi metodu kullanılır. Bununla beraber dilim metodu diğer metotlara göre şevlerin stabilitesi çözümlerinde genellikle daha çok kullanılır.

Bu araştırmada sızma, sızma çizgisi ve toprak dolgu barajlarda akım ağı ve toprak dolgu barajlar hakkında bilgiler tetkik edilmiştir.

Yine bu araştırmada kayma yüzeyi denklemi, zeminlerdeki kırılma teorilerinden; yararlanılarak ,

$$y = \frac{L}{\delta \cdot \theta} \ln \frac{\cos \left(45 + \frac{\varnothing_e}{2} - \theta \right)}{\cos \left(45 + \frac{\varnothing_e}{2} + \frac{\delta \cdot \theta}{L} x - \theta \right)}$$

şeklinde elde edilmiştir . Bu denklemdeki " δ " değeri , düzeltme faktörü olarak adlandırılmış ve değerinin elde edilmesi için birçok sayıda kaymış şev üzerinde deneme yapılarak δ değerlerine ait grafik ve tablo hazırlanmıştır. Böylece elde edilen denklem, şevlerin stabilitesine uygulanacak duruma getirilerek gerçek kayma yüzeyi ve güvenlik katsayılarının kolayca temin edilmesi sağlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER : Şevlerin stabilitesi, baraj, sızma, kayma yüzeyi, güvenlik faktörü, kayma.

SUMMARY

Masters Thesis

**MATEMATICAL ANALYSIS OF SHEAR SURFACES
IN THE EARTH FILLING DAMS**

M.Emin EMİROĞLU

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

1992, Page : 118

In engineering the stability of slopes takes a great place mainly on the construction of roads, railways, dams, bridges, building, earth dams and behind them water holding fills.

Stability problem of slopes is more often encountered today as a result of increasing number of modern highway and dam constructions.

For the slope stability analysis of the filling dams, highway fillings and excavations, the shear surface of slopes is usually chosen as circular. In case of presence of different layers, the shape of shear surface can be determined arbitrarily.

In the slope stability analysis shear surfaces are various circular shear surfaces which pass through the foundations and fills, so minimum safety factor is obtained by trial and error method at the chosen circular shear surface.

Shear surface which has minimum safety factor moreover the sliding, is thus critical shear surface. Analysis of any shear surface is carried out by the slice or circular friction method. However, slice method provides more general solutions than others.

In this text, some researches were done on seepage, line of seepage, filling and flow net in filling dams.

Nevertheless, in this research, " Slide Surface Equation " to be benefited from refraction theories in grounds,

$$y = \frac{L}{\delta \cdot \theta} \ln \frac{\cos \left(45 + \frac{\phi_e}{2} - \theta \right)}{\cos \left(45 + \frac{\phi_e}{2} + \frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x - \theta \right)}$$

had been made available in from. In this equation " δ " theory of value. As proofreading factor has been classified, to be found the other, a great deal number of slided, to have experiment made over things, belongs " δ " theory of values graph and painting had been prepared.

Thus, to be found equation, will be carried out the things to stabilize condition to be tulcen, reality slide surface and confidence of coefficients is assured could have been provided easily.

KEY WORDS : Stability of slopes , dam , seepage , shear surface , safety factor , slide.

TEŐEKÜR

Çalışma ve araőtırmalarım boyunca, benden değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof.Ahmet TUNA' ya en içten teőekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	I
SUMMARY	III
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
TABLolar LİSTESİ	XII
SİMGELER	XIII
1. GİRİŞ	1
2. DOLGU BARAJLARDA SIZMA	4
2.1. Sızma	4
2.2. Darcy Kanunu	5
2.3. Sınır Şartları	6
2.3.1. Geçirimsiz yüzeyler	7
2.3.2. Rezarvuarın sınırı	8
2.3.3. Sızma yüzeyi	9
2.3.4. Sızma çizgisi	9
2.4. Geçirimsiz Bir Temel Üzerindeki Toprak Dolgu Barajlarda Sızma Miktarları	11
2.4.1. Dupuit' in çözümü	12
2.4.2. Van İterson ve Schaffernak çözümü	12
2.4.3. Casagrande çözümü	14
2.4.4. Pavlovsky çözümü	16
2.5. Akım Ağları ile Sızma Miktarlarının Tayini	19

2.6. Toprak Dolgu Barajlarda Akım Ağı ve Sızma Çizgisinin	
Geometrik Şekli	21
2.7. Toprak Dolgu Barajlarda Sızma Kontrolü	25
2.8. Sızmanın Azaltılması	26
3. DOLGU BARAJLAR	28
3.1. Dolgu ve Masif Barajların Seçimine Tesir Eden Faktörler	29
3.2. Dolgu Baraj Yapı Malzemesi ve Dolgu Tipleri	31
3.2.1. Dolgu baraj yapı malzemesinin karakteristiği	31
3.2.2. Toprak dolgu barajlarda kullanılan malzeme tipleri	32
3.3. Dolgu Baraj Tipleri	44
3.3.1. Sadece geçirimsiz materyalin mevcut hali	45
3.3.2. Üniform olmayan materyalin mevcut hali	47
3.3.3. Özel geçirimsiz çekirdek ve yüzeyli dolgu baraj	49
3.4. Temel Tipleri	50
3.4.1. Kaya temel	50
3.4.2. Geçirimli temel	51
3.4.3. Geçirimsiz temel	51
3.4.4. Geçirimli tabakalar üzerinde bulunan geçirimsiz tabakalar	52
3.4.5. Çok tabakalı temeller	52
3.5. Baraj Enkesitinin Tayini	53
3.5.1. Hidrolik barajlarda çekirdeğin projelendirilmesi	58
3.6. Toprak Dolgu Barajların Yıkılma Sebepleri	60
4. ŞEVLERİN STABİLİTESİ	62
4.1. Dünyada ve Türkiye' de Şev Kaymaları	62
4.1.1. Şevlerin stabilitesine etki eden faktörler	63
4.2.1. Stabilitate analizinin temel ilkeleri	64

	<u>Sayfa No</u>
4.2.2. Analiz metotlarını sınıflandırma	65
4.2.3. Kayma yüzeyi tipleri	66
4.2.4. Kritik kayma yüzeyinin tayini	68
4.3. Şevlerde Zeminlerin Genel Stabilite Özellikleri	72
4.3.1. Kohzyonsuz zeminlerde	72
4.3.2. Kohzyonlu zeminlerde	74
4.4. Stabilite Analiz metotları	75
4.4.1. $\emptyset = 0$ kabulü ile stabilite analizi	75
4.4.2. İsvec dilim metodu	77
4.4.3. Bishop metodu	82
4.4.3.1. α açısına ve $tg\emptyset' / G_s$ değerine bağlı olarak G_s güvenlik sayısının tayini	85
4.4.4. \emptyset dairesi metodu	86
4.4.5. Satibilite eğrileri ile çözüm	90
5. BULGULAR	95
5.1. Dolgu Şevlerinde Kayma Düzlemlerinin Analitik Olarak Tayini	95
5.2. Kaymış Şevler için Bulunan Denklemin Uygulanmasına Ait Örnekler	103
6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	115
KAYNAKLAR	117

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Akım çizgisi	7
Şekil 2.2 Akım çizgilerinde hız ve debi	7
Şekil 2.3 Sızma çizgisi ve geçirimsiz yüzeyin gösterilişi	8
Şekil 2.4. Sızma yüzeyinin şekli	10
Şekil 2.5. Akım ağı	10
Şekil 2.6 Farklı giriş ve çıkış şartları için sızma çizgisi	11
Şekil 2.7 Dupuit ' e göre serbest yüzey	11
Şekil 2.8 Van İterson ve Schoffermak çözümü için şekiller	13
Şekil 2.9 Casagrande' nin çözümü için grafik	15
Şekil 2.10 Gilboy' un önerdiği çözüm şekli için grafik	16
Şekil 2.11 Pavlovsky çözümü	17
Şekil 2.12 Geçirimsiz temel üzerindeki toprak dolgu barajlardaki sızma miktarları	20
Şekil 2.13 Blanket diyagramı	20
Şekil 2.14 Homojen bir barajda üniform akım için akım ağı	21
Şekil 2.15 Sızma çizgisinin farklı baraj kesitinde gösterilişi	22
Şekil 2.16 Parabol	23
Şekil 2.17 Drenajlı baraj kesiti için parabolün şekli	24
Şekil 2.18 Drenajsız baraj kesiti için parabolün şekli	24
Şekil 2.19 Sızmayı azaltma metodları	25
Şekil 2.20 Çekirdek ve mansap iskeletinin geçirgenliğe bağlı olarak sızma çizgilerinin mukayesesi	27
Şekil 3.1 Homojen dolgu barajların enkesit tipleri	37
Şekil 3.2. Bir toprak dolgu barajın kısımları ve tarifler	38

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.3 Geçirimsizlik tipleri	41
Şekil 3.4 Drenaj blanketi üniform baraj kesiti için sızma çizgisinin durumu	46
Şekil 3.5 Çekirdek zonlu baraj tipleri	48
Şekil 3.6 Toprak baraj malzemesi için elek analizi	53
Şekil 3.7 Çekirdeğin boyutlandırılması	60
Şekil 4.1 Kaymış bir şevde kayma yüzeyinin şekli	65
Şekil 4.2 Şev kaymaları	67
Şekil 4.3 Kayma yüzeyi tipleri	67
Şekil 4.4 Deneme dairelerinin yerleştirilmesi	68
Şekil 4.5 Kritik dairenin yerleştirilmesinde fellenius metodu	69
Şekil 4.6 Kayma dairelerinin merkezleri ve eş güvenlik sayısı eğrileri ..	70
Şekil 4.7 Toylar' a göre kritik daire merkezinin yeri	70
Şekil 4.8 Toprak altından geçen kayma dairesi	72
Şekil 4.9 Bir kum şevin stabilitesi	73
Şekil 4.10 Şev ve taban kayması	74
Şekil 4.11 Şevlerin dikliğine karar vermek için grafik	75
Şekil 4.12 $\phi =$ Kabulü ile stabilite analizi	76
Şekil 4.13 Farklı zemin tabakalarının şevi oluşturması	77
Şekil 4.14 Dilimlere ayırma ve dilime etkiyen kuvvetler	78
Şekil 4.15 Boşluk suyu basıncı oranı	81
Şekil 4.16 Bishop' a göre emniyet katsayısının tayini	82
Şekil 4.17 m_{α} değerlerini veren grafik	85
Şekil 4.18 ϕ Dairesi metodu	87
Şekil 4.19 ϕ Dairesi metodunda minimum güvenlik sayısının tesbiti ...	90
Şekil 4.20 n_d ' nin hesaplanması	91

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 4.21 Kritik dairenin durumu	91
Şekil 4.22 n_d dip faktörünün farklı değerleri için β' dan da yararlanılarak N_s' ye karar verme	92
Şekil 4.23 α ve θ değerlerine karar verme	92
Şekil 4.24 n_x değerlerinin bulunması	93
Şekil 4.25 \emptyset değerleri için β' dan yararlanılarak N_s' nin tayini	93
Şekil 5.1 Zeminlerin kırılması	95
Şekil 5.2 Şev bölgeleri	96
Şekil 5.3 Kayma düzlemlerinin tayinin	97
Şekil 5.4 δ' nin θ' ya bağlı olarak değişimi	100
Şekil 5.5 δ' nin β' ya Bağlı olarak değişimi	101
Şekil 5.6 L uzunluğunun tayini	102
Şekil 5.7 Kaymış bir şeve bulunan denklemin uygulanması	104
Şekil 5.8 Kaymış bir şeve bulunan denklemin uygulanması	106
Şekil 5.9 Homojen bir şevde kritik bölgesi ile teklif edilen kayma eğrisinin mukayesesi	108
Şekil 5.10 Kaymış bir şeve bulunan denklemin uygulanmasına ait şekil ...	110
Şekil 5.11 Kaymış bir şeve bulunan denklemin uygulanmasına ait şekil ...	112
Şekil 5.12 Kaymış bir şeve bulunan denklemin uygulanmasına ait şekil ...	114

TABLOLARIN LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 Baraj Yapı Malzemesinin Fiziki Özellikleri (Kohezyonsuz) ...	32
Tablo 3.2 Baraj Yapı Malzemesinin Fiziki Özellikleri (Kohezyonlu)	34
Tablo 3.3 Dolgu Malzemesinin Sınır Değerleri	34
Tablo 3.4 Baraj Yapı Malzemesi Olarak Zemin Tiplerinin Değerlendirilmesi	35
Tablo 3.5 Baraj Tipleri	36
Tablo 3.6 Geçirimsizlik Tipleri	42
Tablo 3.7 Şev Eğimleri	54
Tablo 3.8 Doygun Silt ve Kil Temellerdeki Dolgu Barajlar için Stabilize Dolguların Tavsiye Edilen Eğimleri	55
Tablo 3.9 Stabil Temellerde Homojen Küçük Zonlu Dolgu Barajlar için Tavsiye Edilen Şev Eğimleri	56
Tablo 3.10 Stabil Temellerde Homojen Küçük Toprak Dolgular için Tavsiye Edilen Şev Eğimleri	57
Tablo 3.11 Dolgu Barajların Yıkılma Sebepleri	61
Tablo 4.1 Kritik Daire Merkezi için Veriler	71
Tablo 5.1 δ 'nın θ 'ya Göre Değişimi	101
Tablo 5.2 δ 'nın β 'ya Göre Değişimi	101

SİMGELER

- b : Kayan Kütledeki Dilim Genişliği
 c : Kohezyon
 c' : Efektif Gerilmeler Cinsinden Kohezyon
 c_m : Harekete Geçen Kohezyon
 c_u : Drenajsız Kohezyon
 c_v : Konsolidasyon Katsayısı
 C : Kohezyon Kuvveti
 D : Derinlik Faktörü
 E_1, E_2 : Dilimdeki Yanal Kuvvetler
 f : Fonksiyon
 F : Yüzey Alan
 G' : Zeminin Su Altındaki Ağırlığı
 G_w : Su Ağırlığı
 G_s : Güvenlik Sayısı
 G_c : Kohezyona Göre Güvenlik Sayısı
 G_θ : İçsel Sürtünme Açısına Göre Güvenlik Sayısı
 H : Şevin Yüksekliği
 h : Piyezometrik Yükseklik
 h_1 : Menba Su Yüksekliği
 h_2 : Mansap Su Yüksekliği
 H_d : Dolgu Yüksekliği
 i : Hidrolik Eğim
 k : Geçirgenlik Katsayısı
 k_y : Yatak Geçirgenlik Katsayısı

k_d	: Düşey Geçirgenlik Katsayısı
k_e	: Çekirdeğin Geçirgenliği
L	: Kayma Yüzeyi Uzunluğu
L_1	: Kayma Yüzeyi Kiriş Uzunluğu
l	: Dilim Kayma Yüzeyi Uzunluğu
m	: Gilboy Katsayısı
m_1	: Menba Şevinin Kotanjantı
m_2	: Mansap " "
n	: Normal Doğrultu
n_f	: Akım Kanalının Sayısı
ndf	: Derinlik Faktörü
N	: Dilim Ağırlığı, Normal Bileşeni
nd	: Eşpotansiyel Göz Adedi
NS	: Stabilete Faktörü
r	: Yarıçap
ru	: Boşluk Suyu Basıncı Katsayısı
q	: Birim en debisi
q_u	: Serbest Basınç Direnci
S	: Kayma Kuvveti
S_a	: Akım Çizgisinin Uzunluğu
S_i	: Sızma Yüzeyinin Uzunluğu
S_r	: Sızma Kuvveti
SN	: Stabilitate Numarası
t	: Et Kalınlık
U	: Boşluk Suyu Basıncı Kuvveti
u	: Boşluk Suyu Basıncı
ϑ	: y Doğrultusunda Hız Bileşeni

- W : Dilimin Ağırlığı
 γ : Zeminin Tabii Birim Hacim Ağırlığı
 \varnothing : İçsel Sürtünme Açısı
 α : Dilim Tabanının Yatayla Yaptığı Açısı
 β : Şevin Yatayla Yaptığı Açısı
 θ : Şevin Düşeyle Yaptığı Açısı
 Φ : Hız Potansiyeli
 Ψ : Akım Potansiyeli
 Ψ_a : Kritik Daire Kirişinin Yatayla Yaptığı Açısı
 δ : Sapma Açısı
 σ : Normal Gerilme
 τ : Kayma Gerilmesi
 α_d : Deprem Katsayısı

1. GİRİŞ

Yeryüzünde serbest eğimli kısımlara " yamaç " , yapay olarak kazı veya dolgu yapılarak oluşturulan eğik yüzeylere de " şev " denir. Eğimli yüzeydeki toprak kitlesinin aşağı ve dışarıya doğru bir hareketle yer değiştirmesi olayına kayma veya heyalan adı verilir. Genel olarak heyalan deyimi doğal yamaçlar için, kayma deyimi ise yapay şevler için kullanılır. Kayma bütün kütlenin iç ve dış kısmının hareketini kapsar. Her şev, kar, don rüzgar ve yağmur gibi hava tesirlerine ve bazende , nehir veya denizin alttan oyma tesirlerine maruzdur. Bunların birleşik etkisi şevi yavaş yavaş yatıklaştırır ve uzatır. Bu durum her ne kadar jeolojik olarak gözükse de mühendislik yönünden çok önemlidir.

Suyun tesiri kayma hareketlerine bilhassa sebep teşkil eder. Kaymalar her halükarda akla uygun bir şekilde meydana gelebilirler. Bu kayma şekli yavaşça aniden veya zeminde su muhtevası artarken kayma mukavemeti azalır ve bütün tabaka ebuli kayması veya çamur akması şeklinde olabilir.

Şevlerin stabilitesi deyimi, şev yüzeyinin arkasında bulunan kitlede göçme ve yıkılma tehlikesinin olup olmadığının araştırılması anlamındadır. İnşaat mühendisliği açısından şevlerin stabilitesi, her türlü dolgu ve kazıda, yol ve demiryolları boyunca yamaçların kaymasında; Toprak Barajlarda gövdenin iki tarafına verilecek eğimin saptanmasında; kanal kazılarında ve geçici desteksiz kazılarda, açık maden işletmelerinde önemli rol oynamaktadır.

Şev stabilitesi üzerinde suyun tesiri çok önemlidir. Bu tesir dış sular halinde akan suyun şev yüzündeki malzemeyi sürüklemesi, şev topuğunu oyması, şev yüzüne basınç tatbik etmesi şeklinde ortaya çıkabilir. Hareket halindeki yeraltı suyu ise, doğurduğu sızma basıncı ile şev stabilitesini

etkileyebilir. Ayrıca yeraltı su seviyesinin değişmesi , suyun kayma mukavemeti üzerindeki tesirleri ve suyun kaldırma kuvveti de, şev stabilitesinde rol oynar.

şevlerin stabilitesi , son zamanlarda bilim ve teknolojinin gelişmesiyle önem kazanmıştır. şevlerin dengesinin bozulması problemi Türkiye' de ve diğer ülkelerde yol baraj vb. gibi inşaatların gelişmesiyle büyük önem kazanmıştır. Bu nedenle şevlerin stabilitesi üzerinde çok çalışmalar ve araştırmalar yapılmıştır.

şevlerin stabilitesinin güvenliğini tesbit etmek için birçok metod geliştirilmiştir. Bugün her türlü şev stabilitesi analizinde en çok kullanılan metod "İsveç dilim metodu " dur. Bazı uygun hallerde Ø Dairesi Metodundan elde edilmiş eğriler de kullanılmaktadır.

şevlerin stabilitesinde sızmanın büyük etkisi vardır. Kumlu ve daneli zeminlerdeki sızma, kil ve silt gibi zeminlerdeki sızmadan daha fazla olur. Bir "Toprak Dolgu Barajın" şevinin stabilitesi incelenirken sızmadan dolayı meydana gelen boşluk suyu basıncı da hesaba katılır. Bundan dolayı sızma konusunun da iyi bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

Toprak barajlar genellikle, temeli nisbeten zayıfça olan baraj yerlerinde yapılırlar, çünkü toprak baraj yükleri daha geniş sahaya yayar. Temel şartları ve mevcut malzeme gözönünde tutularak bir defa toprak baraj yapmaya karar verilirse ayrıca hangi çeşit toprak baraj yapılacağına da karar vermek gerekir. Bir toprak barajda , bazı malzeme kütleleri geçirimsizliliği sağlarken diğerleri stabilizeyi sağlar. Buna göre toprak barajlar çeşitlere ayrılır. Baraj gövdesinin menba ve mansap yüzlerinin eğimi, kullanılan malzemenin cinsine göre dikkatle seçilir.

Toprak Dolgu Barajların gövde inşaatı çakıl , kum, silt, lem kaya parçaları gibi daneli ve kohezyonlu malzemelerden oluşur.

Homojen, diyaframlı ve zonlu olarak inşa edilirler. Homojen dolgu barajlarda bütün gövde aynı malzemeden oluşur.

Diyaframlı dolgu barajlarda gövde içinde veya menba yüzeyinde geçirimsiz tabii malzeme (Örneğin kil, lehm, asfalt beton, beton , çelik malzemeden bir diyafram yerleştirilir. Diyafram eğik veya düşey bir şekilde yerleştirilebilir. Gövdenin kalan kısımları homojen malzemeden oluşur.

Zonlu dolgu barajlarda ise suda çözülmeyen her türlü kaya ve kohezyonsuz malzeme kullanılabilir. Merkezde ince malzeme dışta iri malzeme filtre kurahna göre yerleştirilir.



2. DOLGU BARAJLARDA SIZMA

2.1. Sızma

Kum veya daneli bir toprak yüzeye su döküldüğünde bu suyun bu yüzeyde kolayca sızacağı muhakkaktır. Bu özellikteki bir yere, bir baraj kurulmasından da verimli bir sonuç alınamıyacaktır. Çünkü su barajdan kolayca sızacaktır. Oysaki ince daneli bir zeminde (örneğin kil ve silt gibi) bu sızma daha zor ve daha uzun süreli olacaktır. Kısaca, sızma miktarı, diğer koşullar eşit olduğunda (örneğin hidrostatik basınç, tabaka kalınlığı ve zaman gibi) kumlu ve daneli bir zeminde, killi ve siltli zemindekenden daha fazla ve hızlı olacaktır. Böylece suyun topraktaki bu akımına " sızma " denir.

Sızma olayının günlük hayattaki kullanım alanları ile ilgili problemler üç gruba ayrılabilir.

- 1) Suyun rezervuardan dışarı sızması veya çukurlara su dolması.
- 2) Şevlerin, yarma ve temellerin stabilitesindeki " sızma basıncı ".
- 3) Üzerindeki yükün artmasına maruz kalmış ince daneli topraktaki drenaj.

Zemin mekaniğindeki bir çok problemin analizinde olduğu gibi sızma işleminin analizinde de bazı kabuller yapılmıştır. Bu kabullerin yapılması zorunludur. Örneğin sızmanın analizinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- 1) Zemin özelliklerinin (örneğin geçirimsizlik, kalınlık ve tabaka oluşumu gibi) homojen olduğu kabul edilir.

2) Gözlenebilir özelliklerin (örneğin, yatay ve düşey doğrultadaki farklılıkları, sınırsal şartlar, üniform akım) hatasız olarak ölçümlenebilir.

3) Hidrolik kanunların (örneğin hidrolik eğim, akış tipi ve süreklilik gibi) sızmanın analizinde kullanılması uygundur.

2.2. Darcy Kanunu

Akışkanlar Mekaniğinde vizkozitesiz, sıkıştırılmayan üniform akışkanlar için, bernoulli denklemini ;

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z = \text{sabit} = h$$

yukarıdaki gibidir. Burada,

P = Basınç

γ_w = Akışkanın birim hacim ağırlığı

v = Sızma hızı

g = Yerçekimi ivmesi

h = Toplam yüksekliktir.

Yeraltı sularında vizkoziteden dolayı meydana gelen enerji kaybı dikkate alınır. Böylece bernoulli denklemini aşağıdaki gibi yazılır.

$$\frac{P_A}{\gamma_w} + \frac{v_A^2}{2g} + z_A = \frac{P_B}{\gamma_w} + \frac{v_B^2}{2g} + z_B + \Delta h \quad (2.1)$$

Burada Δh , Δs boyunca akışkan üzerinde toplam yükseklik kaybını gösterir. Bu oran,

$$i = -\lim \frac{\Delta h}{\Delta s} = - \frac{dh}{ds} \quad (2.2)$$

hidrolik eğim diye isimlendirilir.

Genellikle yeraltı sularına ait problemlerde ($v^2/2g$) kinetik enerji küçük olduğundan ihmal edilebilir. Böylece yukarıdaki eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{P_A}{\gamma \omega} + Z_A = \frac{P_B}{\gamma \omega} + Z_B + \Delta h$$

ve toplam yükseklikte, akışın nüfuz ettiği nokta basit olarak,

$$h = \frac{P}{\gamma \omega} + z \quad (2.3)$$

yazılır. Henry Darcy (Harr, 1962) 1856 yılında aşağıdaki eşitliği vermiştir.

$$v = k \cdot i = -k \cdot \frac{dh}{ds} \quad (2.4)$$

Bu eşitlik "Darcy Kanunu" olarak isimlendirilir. Burada " k " permeabilite katsayısı, " i " ise hidrolik eğimdir.

2.3. Sınır Şartları

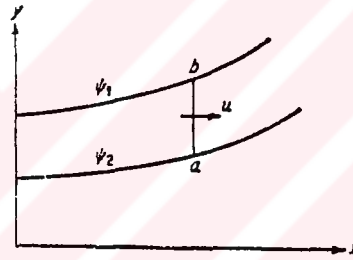
Dolgu içindeki akımın tayini için, önce sınır şartlarınının kapiler bölgenin tesirini ihmal ederek incelenmesi gerekir. Homojen zeminlerde yeraltı suyu akışı sabit olduğu takdirde, bu sınırları dört madde ile açıklayabiliriz.

2.3.1. Geçirimsiz yüzeyler

Bu yüzeylere ; eğer zemin tabakasında açıklık, yarık, boşluk yoksa, su nüfuz edemez. Dolayısıyla akımın geçirimsiz tabakaya yalnız paralel yönde bileşeni mevcuttur.

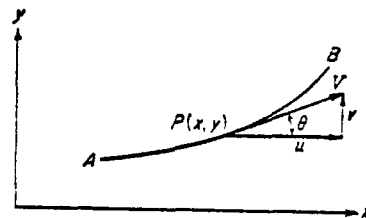
$$\frac{\delta\phi}{\delta n} = \frac{\delta\psi}{\delta t}, \quad \psi = \text{sbr.}, \quad \delta\psi = 0 \quad (2.5)$$

olur , burada (n) ve (t) teğet ve normal yön olarak tarif edilirler.



Şekil 2.1. Akım çizgilerinde hız ve debi

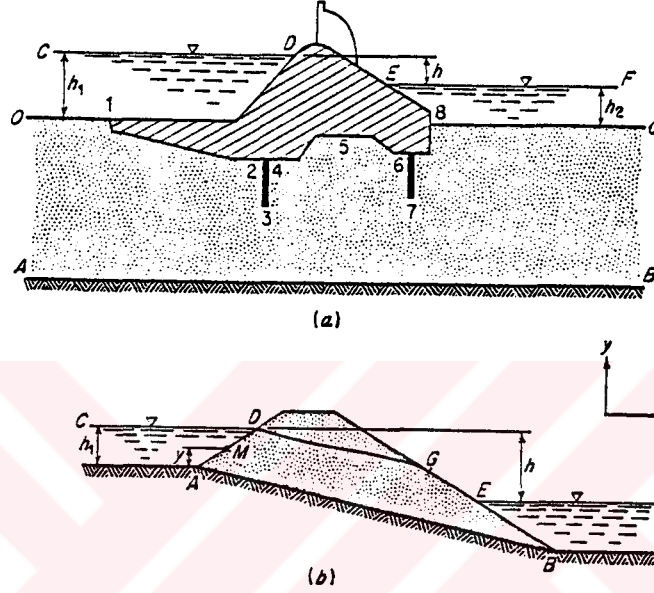
$$q = \int_{\psi_2}^{\psi_1} u \cdot dy = \int_{\psi_2}^{\psi_1} d\psi = \psi_1 - \psi_2 \quad (2.6)$$



Şekil 2.2. Akım çizgisi

$$\frac{u}{u} = \text{tg}\theta = \frac{dy}{dx}, \quad \frac{d\psi}{dx} \cdot dx + \frac{d\psi}{dy} \cdot dy = 0, \quad \psi = 0 \quad (2.7)$$

Böylece geçirimsiz tabaka akış çizgisinin meydana getirdiği yüzey olarak isimlendirilir. İki tip geçirimsiz tabaka Şekil 2.3 ' te gösterilmiştir. (Harr, 1962)



Şekil 2.3. Geçirimsiz tabaka

AB üst yüzeyi genellikle toprak veya kaya olur. Toprak üzerindeki karşılaştırmada permeabilite katsayısı (k) önemsizdir. Bu takdirde geçirimsiz tabaka en alçak akış çizgisi diye isimlendirilir. Diğer bir deyişle üst akış çizgisi geçirimsiz yapının dış hatları diye tarif edilir. Şekil 2.3.a

2.3.2. Rezervuarın sınırı

Rezervuarın sınırları boyunca basınç dağılımı hidrostatik olarak alınır (Harr, 1962). Böylece sınır boyunca herhangi bir M noktasında, Şekil 2.3.b basınç;

$$p = \gamma_w \cdot (h_1 - y) \quad (2.8)$$

olur. Genel basınç terimi yok edilirse ,

$$\phi = -k \cdot h_1 + c \quad (2.9)$$

yazılır. k , c ve h_1 sabit değerler olduğundan ,

$$\phi = \text{sabit} \quad (2.10)$$

olur. Ve böylece bütün rezervuar sınırının eş potansiyel çizgi olduğu görülür. (Harr, 1962)

2.3.3. Sızma yüzeyi

Sızma yüzeyi Şekil 2.3.b. ' de görüldüğü gibi "GE" yüzeyidir. Sızma yüzeyi sızmanın akım bölgesinde ayrıldığı sınırı ifade eder. Bu yüzeyde basınç sabit atmosfer basıncına eşittir. Sızma yüzeyi boyunca ,

$$\phi = - \frac{k \cdot p}{\gamma_w} - k \cdot y + c \quad (2.11)$$

yazılır. Böylece ,

$$\phi + k \cdot y = \text{sabit} \quad (2.12)$$

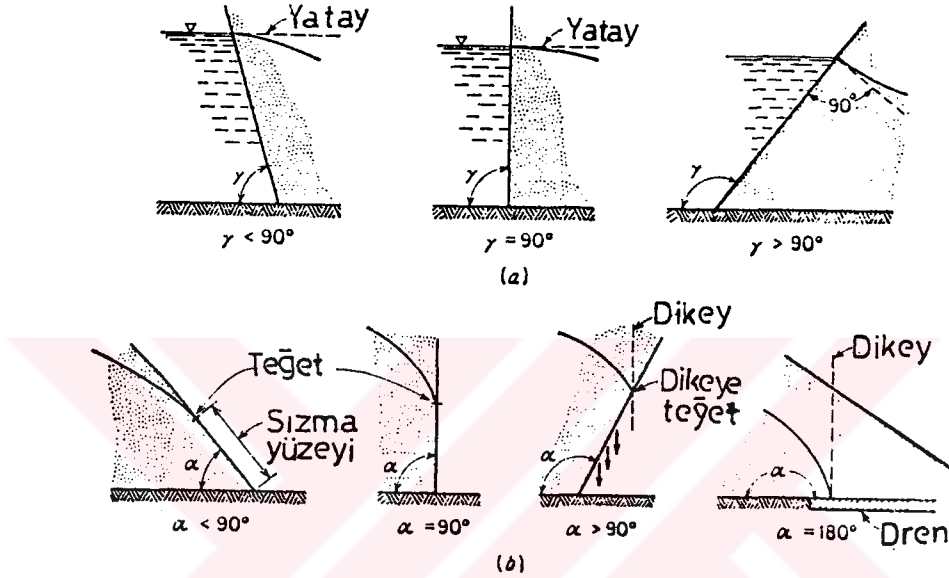
elde edilir.

2.3.4. Sızma çizgisi

Serbest yüzey akım bölgesinin üst akım çizgisidir. Bu yüzey akımın yer aldığı doygun bölge ile akımın olmadığı bölgeyi birbirinden ayırır. Şekil 2.3' te

Sızma çizgileri ile eşpotansiyel çizgiler birbirini izler ve kesişirler. Gerçi her ikisi , yani sızma çizgisi ve sızma yüzeyi aynı denklemde sağlanabilirler. Sızma çizgisi bir akış çizgisidir. Sızma yüzeyi ise akış çizgisi değildir.

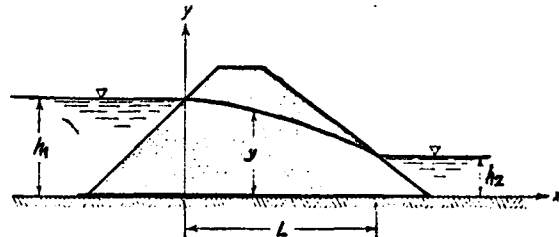
Farklı giriş ve çıkış şartları için sızma çizgisi Şekil 2.6 ' da verilmiştir.



Şekil 2.6 Farklı giriş ve çıkış şartları için sızma çizgisi

2.4. Geçirimsiz Bir Temel Üzerindeki Toprak Dolgu Barajda Sızma Miktarları

Bu kısımda geçirimsiz temel üzerindeki homojen toprak barajların serbest yüzey ve debilerinin tayini için bir çok çözüm verilmiştir. Bu metotların herbiri Dupuit (Harr, 1962) teorisine göre tesbit edilmiştir.



Şekil 2.7 Dupuit' e göre serbest yüzey (Harr, 1962)

2.4.1. Dupuit' in çözümü

Dupuit kabülü ile barajın herhangi bir düzey kesitinden geçen birim en debisi;

$$q = -k \cdot y \cdot \frac{dy}{dx} \quad (2.13)$$

olur. $x = 0$, $y = h_1$ ve $x = L$, $y = h_2$ sınır değerleri yerine yazılır ve integral alınırsa,

$$q = \frac{k \cdot (h_1^2 - h_2^2)}{2 \cdot L} \quad (2.14)$$

dupuit eşitliği elde edilir. 2.14 denkleminde kesinlikle belirtilmektedir ki serbest yüzey bir parabolüdür. Genellikle bu yüzey dupuit parabolü olarak tanımlanır. Bir sızma yüzeyinin veya sızma çizgisinin giriş veya çıkış şartlarının aldığı durum menba yukarısında gözlenemez. Hakikaten mansap suyunun $h_2 = 0$ sonundaki sızma çizgisinde geçirimsiz tabakalarda kesişme görülür.

2.4.2. Van İterson Schaffernak çözümü

1916 tarihinde Schaffernak ve İterson (Harr, 1962) tarafından gerçekleştirilen bir çözüm şeklidir.

Geçirimsiz bir temel üzerinde mansap tarafında su olmayan bir toprak baraj için serbest yüzeyin mansap şevini kestiği yükseklik dikkate alınırsa Şekil 2.8 ' de gösterildiği gibi , birim genişlikten geçen debi ,

$$q = k \cdot y \cdot \frac{dy}{dx} = k \cdot a \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (2.15)$$

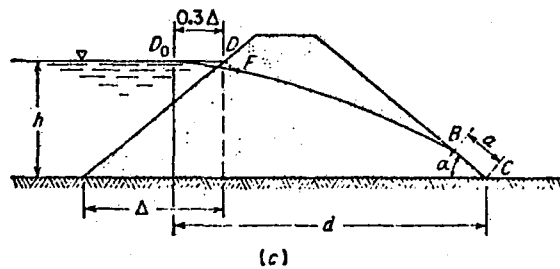
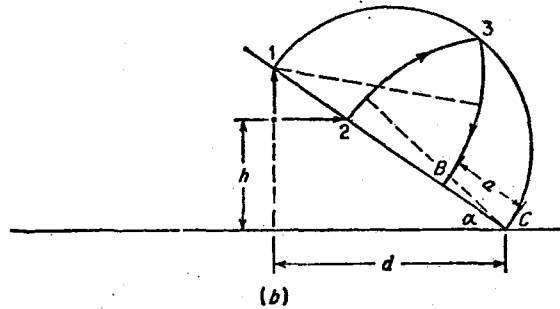
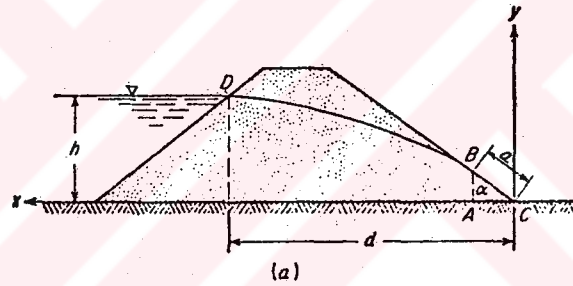
olur. Burada a , sızma yüzeyinin uzunluğudur.

$$\int_{a \cdot \sin \alpha}^h y \cdot dy = a \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \int_{a \cdot \cos \alpha}^d dx \quad (2.16)$$

buradan,

$$a = \frac{d}{\cos \alpha} \sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \alpha} - \frac{h^2}{\sin^2 \alpha}} \quad (2.17)$$

eşitliği elde edilir. 2.17 eşitliği bize Şekil 2.8.b. 'de gösterilen a' 'nın tesbitinde yardımcı olur.



Şekil 2.8 Van İterson ve Schoffernak çözümü için şekiller

2.4.3. Casagrande çözümü

Casagrande (Harr, 1962) aynı problemi , Schaffernak ve Van Iterson (Harr,1962) gibi hidrolik eğim değerini dy / ds olarak almıştır. Burada "s" yüzey boyunca ölçülür. Böylece 2.13 eşitliği için Casagrande çözümü aşağıdaki gibidir.

$$q = - k . y . dy/ds \quad (2.18)$$

Şekil 2.9.a ' da AB ' de 2.18 eşitliği alınırsa , sızma miktarı ;

$$q = k . a . \sin^2 \alpha \quad (2.19)$$

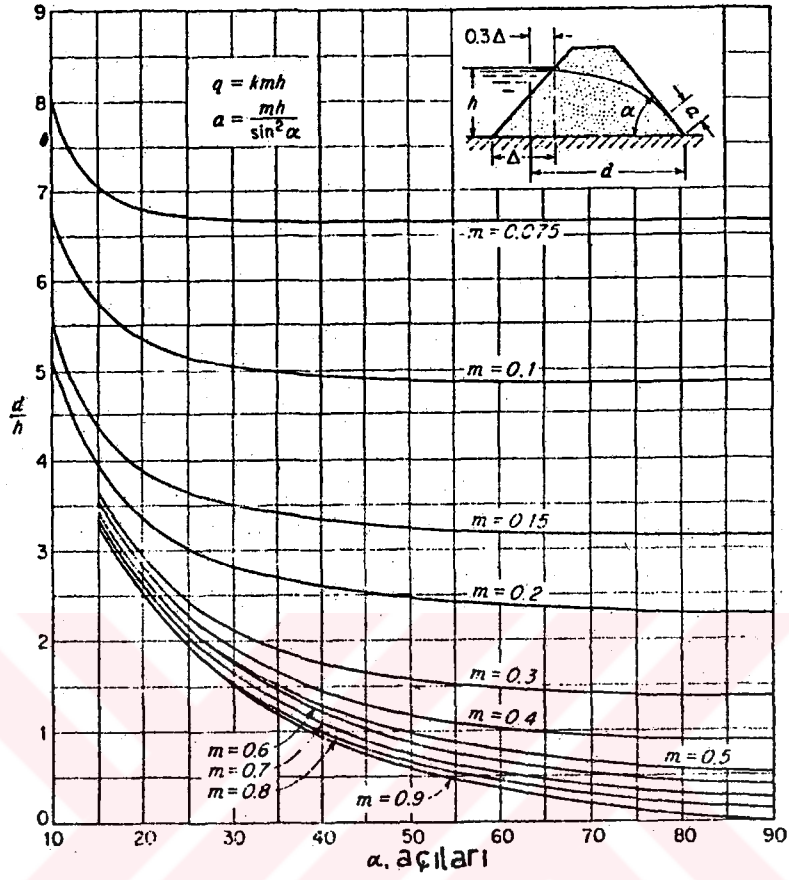
olur. 2.18 ve 2.19 eşitliklerinde sol tarafta bulunan q' lar birbirine eşit olduğundan , birbirine eşitlenip integrali alınırsa aşağıdaki bağıntı bulunur. (Harr, 1962)

$$- \int_h^{a \cdot \sin \alpha} y . dy = a . \sin^2 \alpha . \int_0^{S-a} ds \quad (2.20)$$

Burada S sızma çizgisinin uzunluğu olup , Şekil 2.9 ' da gösterilmiştir. 2.20 eşitliğinin çözümü ile aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$a = S - \sqrt{S^2 - \frac{h^2}{\sin^2 \alpha}} \quad (2.21)$$

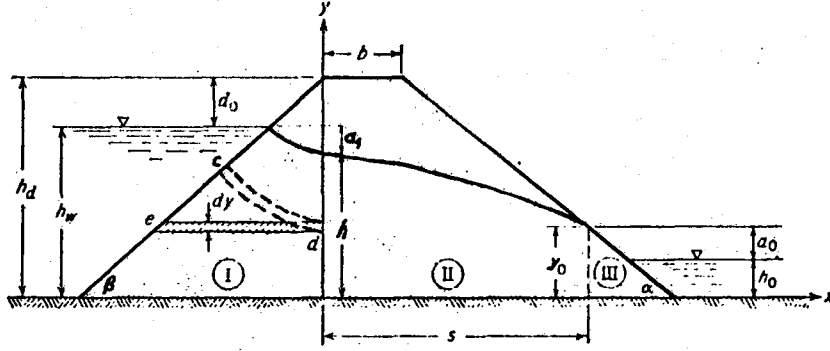
2.21 eşitliğindeki S mesafesi Şekil 2.9.a ' da ki CD_0 çizgisinden küçüktür. İlk tahminde bundan yararlanılabilir ve $S = CD_0$ alınabilir. İkinci tahminde ise $S = a + BD_0$ olduğuna karar verilebilir. Böylece S ve a için aşağıdaki değerler alınabilir.



Şekil 2.10 Gilboy'un önerdiği çözüm şekli için grafik

2.4.4. Pavlovsky çözümü

Pavlovsky Şekil 2.11 ' de görüldüğü gibi baraj en kesitinin üç bölgeye ayrıldığını düşünmüştür. I. bölgede akım çizgileri eğri şeklindedir. (Kesik çizgilerle gösterilen cd çizgisi). Bununla beraber Pavlovsky "cd" akım çizgisi yerine eşdeğer uzunlukda olan "ed" yatay akım çizgilerini dikkate almıştır. Böylece I. bölgede sadece yatay akım olduğu kabul edilir.



Şekil 2.11 Pavlovsky çözümü için şekil

Dolayısıyla , bu dilim elamanından geçen akım miktarı ;

$$dq = k \cdot \frac{a_1}{m_1 \cdot (H_d - y)} \cdot dy \quad (2.24)$$

olur. Burada $m_1 = \cot \alpha$ ve $a_1/m_1 \cdot (H_d - y)$ hidrolik eğimdir. İntegral sınırları yerlerine yazılırsa ,

$$q = k \cdot \frac{a_1}{m_1} \cdot \int_0^h \frac{dy}{H_d - y} \quad (2.25)$$

I. tabaka sızma miktarını azaltmak için bulunur,

$$\frac{q}{k} = \frac{h_w - h}{m} \cdot \ln \frac{H_d}{H_d - h} \quad (2.26)$$

II. tabaka için Pavlovsky , Dupuit ' in formülünü kullanır,

$$\frac{q}{k} = \frac{h^2 - (a_0 + h_0)^2}{2 \cdot s} \quad (2.27)$$

III. tabaka için üç durum düşünülür. Üçüncü bölge için mansap su yüksekliği " h_0 " olup olmadığına göre iki çözüm mevcuttur.

$$1. \int_0^q dq = k \cdot \frac{1}{m_1} \int_0^{a_0} dy, \quad \frac{q}{k} = \frac{a_0}{m_1} \quad (2.28)$$

Burada $m_1 = \cot x$ mansapta $h_0 > 0$ veya $h_2 > 0$,

$$\frac{q}{k} = \int_{h_0}^{y_0} \frac{dy}{m_1} + \int_0^{h_0} \frac{y_0 - h_0}{m_1 \cdot (y_0 - y)} \cdot dy \quad (2.29)$$

Buradan,

$$\frac{q}{k} = \frac{a_0}{m_1} \cdot \left(1 + \ln \frac{a_0 + h_0}{a_0} \right) \quad (2.30)$$

Şekil 2.11 'den yararlanılarak sonuç olarak,

$$S = b + m_1 \cdot [h_d - (a_0 + h_0)] \quad (2.31)$$

$$a_0 = \frac{b}{m_1} + h_d - \sqrt{\left(\frac{b}{m_1} + h_d \right)^2 - h^2}$$

2.26. ve 2.27. eşitliğinden,

$$\frac{a_0 \cdot m}{m_1} = (h_0 - h) \cdot \ln \frac{h_d}{h_d - h} \quad (2.33)$$

2.32. ve 2.33. eşitlikleri birlikte kullanılarak (a_0 ve h) bulunur ve böylece çözüm yapılacaktır.

Sonuç :

1. $h_2 = 0$ için; $q = k \cdot a_0 / m_2$ burada $m_2 = \cot x$
2. $h_2 > 0$ için; $q = k \cdot a_0 / m_2 \cdot [1 + \ln (a_0 + h_2) / a_0]$ dir.

3.

$$y_0 = \frac{b}{\cot \alpha} + h_d - \sqrt{\left(\frac{b}{\cot \alpha} + h_d\right)^2 - h^2} \quad (2.34)$$

2.5. Akım Ağları İle Sızma Miktarının Tayini

Boşluklu bir zemin ortamında sıkışmayan akışkanların permanent akımları, matematiksel olarak Laplasiyen denklemleri ile ifade edilir. Sıkışabilir bir zemindeki sızma, kabarma ve konsolidasyon meydana getirir. Laplasiyen denklemlerinin doğrudan doğruya çözümü permanent akım için çok güç olmakla beraber, çözüm çoğu kez mümkün değildir. Ayrıca çözüm için sınır şartlarının da bilinmesi gerekir.

İki boyutlu akım için grafik çözümü ilk defa Forcheimer (Sherrard, 1963) önermiştir. Akım ağları olarak bilinen bu metod yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çizimi zor olan akım ağları modellerden veya Southwell (Sherrard, 1963) tarafından teklif edilen rölaksiyon metodu ile elde edilir.

Akım ağlarından faydalanılarak sızma miktarı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır. (Sherrard, 1963)

$$Q = k \cdot \frac{n_f}{n_d} \cdot H \cdot L_b \quad (2.35)$$

Burada,

$k = \sqrt{k_{\max} \cdot k_{\min}}$ olarak geçirgenlik katsayısı.

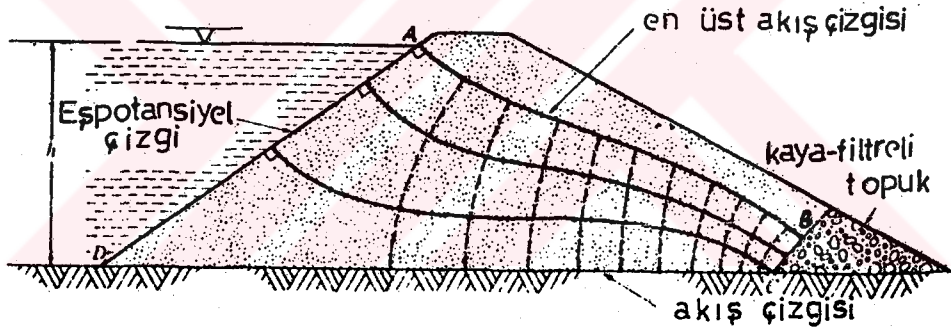
n_f = Akım kanalının sayısı.

n_d = Eşpotansiyel çizgi göz adedi.

2.6. Toprak Dolgu Barajlarda Sızma ve Sızma Çizgisinin Geometrik Şekli

Barajdaki akım ağları ; kazık temeller, bağlama ve palplanş perdelerde olduğu gibidir . Bununla beraber sınır şartları ve akım ağlarını belirtmek daha kolaydır.

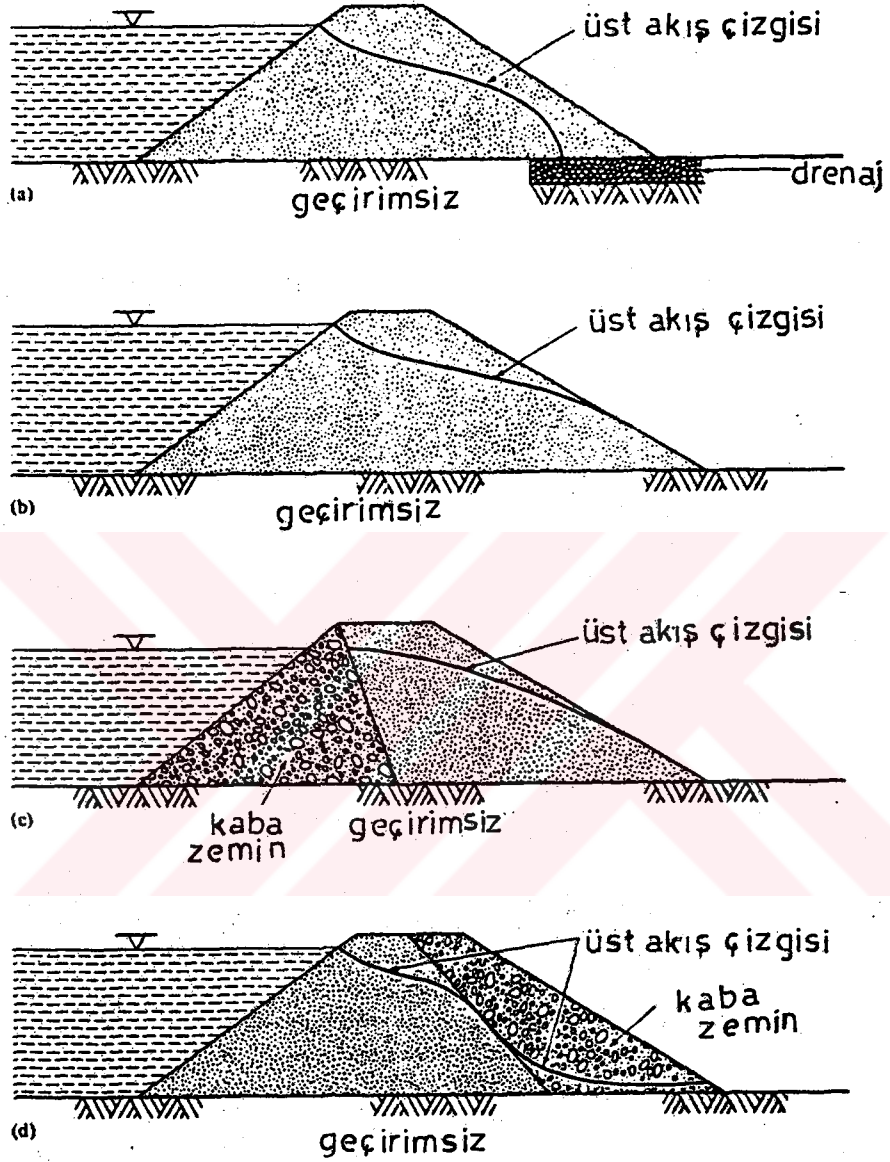
Şekil 2.14 ' teki "AD" yüzeyi menba tarafında bir eşpotansiyel çizgidir. "DC" ise bir akım çizgisidir. "AB" ile gösterilen çizgi ise akış çizgisidir. Barajdaki tüm akış ve eşpotansiyel çizgiler bu "AB" sızma çizgisinin altındadır. (John, 1982)



Şekil 2.14 Homojen bir barajda üniform akım için, akım ağının şekli

Kaya topuk filitreli barajdan başka Şekil 2.14 ' deki baraj için malzeme homojen ve izotropik dolgulu baraj da olabilir. Böylece "AB" akış çizgisi ve "AD" ise eşpotansiyel çizgi olduğuna göre Şekil 2.14 ' de bunlardan ibaret olan akım ağı gösterilmiştir.

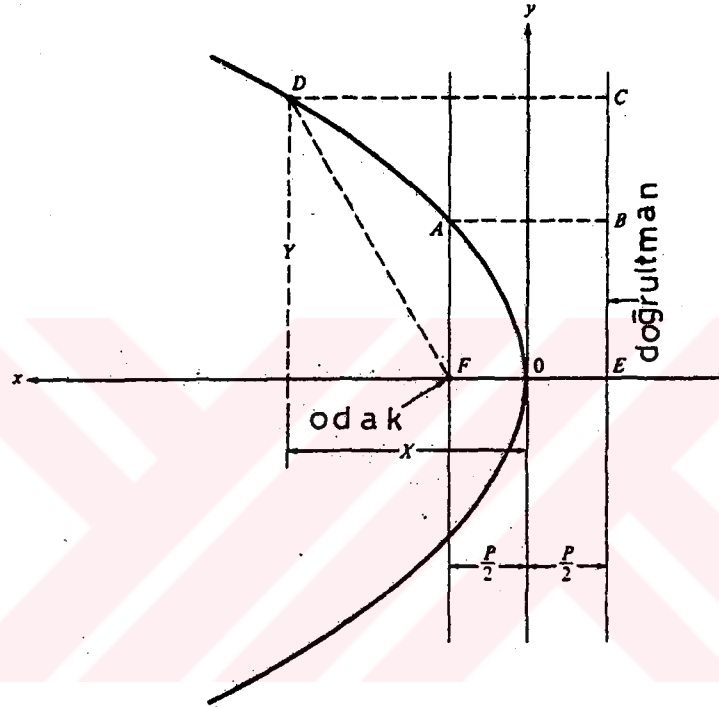
Bununla beraber menba ve mansap veya debi durumları Şekil 2.14' den farklı olabilir. Şekil 2.15 'de bir baraj kesitinin değişik şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 2.15 Sızma çizgisinin farklı baraj kesitinde gösterilişi

En yüksek akış çizgisinin şekli , uzunluğu boyunca paraboladır. Casagrande (John, 1982) akış çizgisinin bir parabol olduğunu ileri sürmüştür.

Odak noktası "F" ve "x" doğrusuna dik çizgi ise doğrultmandır. Şekil 2.16' da parabolun bazı basit karakterleri gösterilmiştir. "O" noktası parabolun tepe noktası ve "FE" uzunluğu orta noktasıdır. Böylece uzunluklar, "FA" = "AB" ve "FD" = "DC" dir.



Şekil 2.16 Parabol (John, 1982)

Eğer "O" tepe noktası X ve Y koordinatlarının orjini olursa parabolün eşitliğine karar verilebilir.

$$DC = P/2 + X \quad (2.36)$$

$$FD^2 = Y^2 + (X - P/2)^2 \quad (2.37)$$

$$DC = FD \text{ ise,}$$

$$\left(\frac{P}{2} + X\right)^2 = Y^2 + \left(X - \frac{P}{2}\right)^2 \quad (2.38)$$

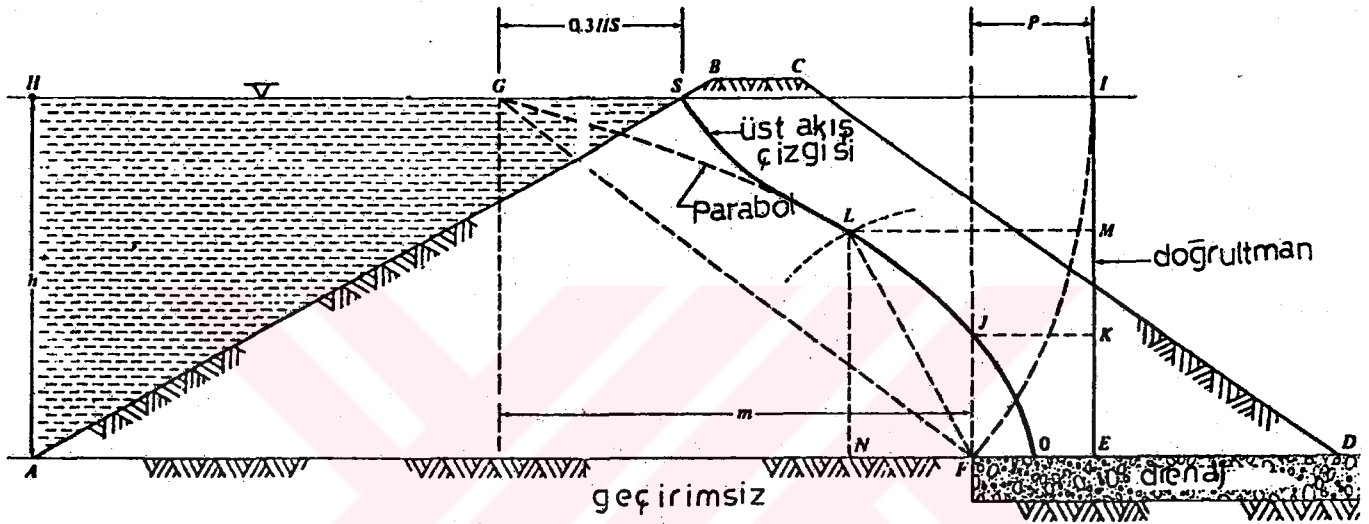
buradan,

$$Y^2 = 2 \cdot P \cdot X \quad (2.39)$$

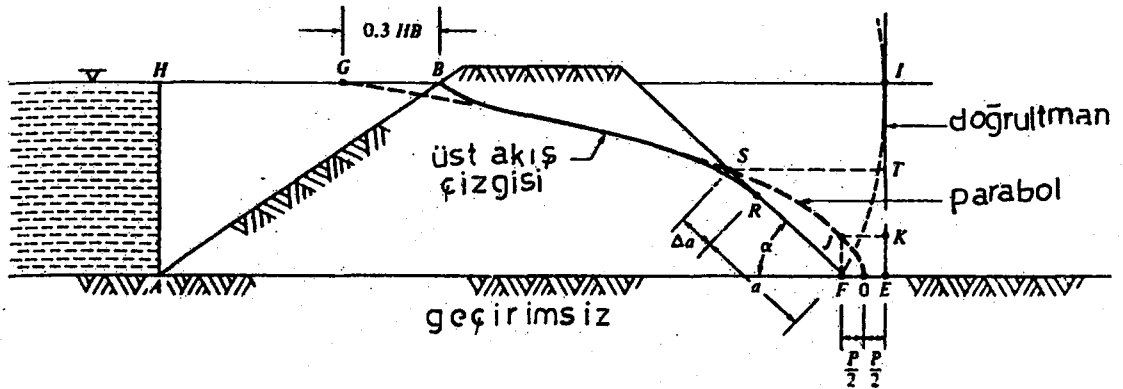
$$P = \sqrt{h^2 + m^2} - m \quad (2.40)$$

buradan X bulunur. Ve X yerine yazılırsa Y bulunur.

$$q = k \cdot (\sqrt{h^2 + m^2} - m) \quad (2.41)$$



Şekil 2.17 Drenajlı baraj kesiti için parabolün şekli



Şekil 2.18 Drenajsız baraj kesiti için parabolün şekli

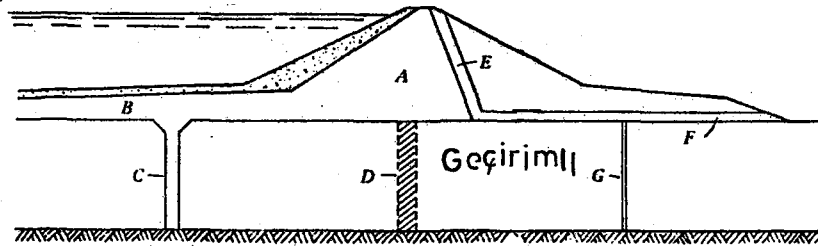
2.7. Toprak Dolgu Barajlarda Sızma Kontrolü

Sızma problemleri çözmünde üç ana metod mevcuttur. Bunlar,

1. Borulanma ve yıkılmaları önlemek için filtrelerin kullanılması
2. Sızmaların azaltılması
3. Drenaj metotları.

Sızma kontrolü için normal olarak üç metod birlikte kullanılır. Çelik ve betonarme gibi ince perdeli geçirimsiz elamanlar , geçirimsiz çekirdek, geçirimsiz menba blanketi, kısmen veya tamamen geçirimsiz menba blanketi, kil perdelerin ve beton enjekte hendeklerinin kullanılması ile sızma azaltılabilir.

Drenaj geçirimli mansap bölgesi, dren borusu, drenaj blanketi düşey toplayıcı dren, etek drenajı ve emniyet kuyuları açılarak teşkil edilir. Böylece boşluk suyu basıncı ve likitleşme azaltılarak göçmeler önlenir.Şekil 2.19' da bu metotlardan bazıları gösterilmiştir. (Hirschfeld, 1973)



Şekil 2.19 (1) Sızmayı azaltma metotları

- A - Geçirimsiz Bölge
- B - Menba Geçirimsiz Blanketi
- C - Çimento Hendeği
- D - Taş Duvar

(2) Drenaj metotları

- E - Düşey Dren
- F - Dren Blanketi
- G - Emniyet Kuyuları.

2.8. Sızmanın Azaltılması

Nisbeten geçirimsiz perdelerin kullanılması ile sızma azaltılır. Sızmayı azaltan metodlar genellikle uygun filtre ve drenaj şekilleri ile birlikte kullanılır. Şekil 2.20' de menba şev çekirdekli bir toprak barajın kesiti görülmektedir. Temel geçirimsiz ise permanent sızma halinde çekirdekten sızan su miktarı kısmen doygun bir bölgeden aşağı doğru ve daha sonra geçirimsiz temel boyunca ince bir doygun tabaka meydana getirerek çok veya az eğimli olarak mansaba doğru sızar. Eğer çekirdeğin geçirgenliği mansap bölgesi geçirgenliğinden çok küçükse bu misalde kabul edildiği gibi asıl yük kaybı barajın menba tarafında meydana gelir.

Mansap bölge sızmada nisbeten tesirsizdir. Bu tip barajların mansap bölgesi bir kaç yüz misli çekirdekten geçirimli olmalıdır. Geçirimli temelin mevcut olması halinde palplanş veya enjekte temel perdeleri ile sızma miktarı azaltılabilir. Geçirimsiz veya yarı geçirimli toprak veya kaya zeminde palplanş perdesiz inşa edilen toprak barajlarda, sızma çizgisi barajın mansap yan yüksekliğine kadar yükselir.

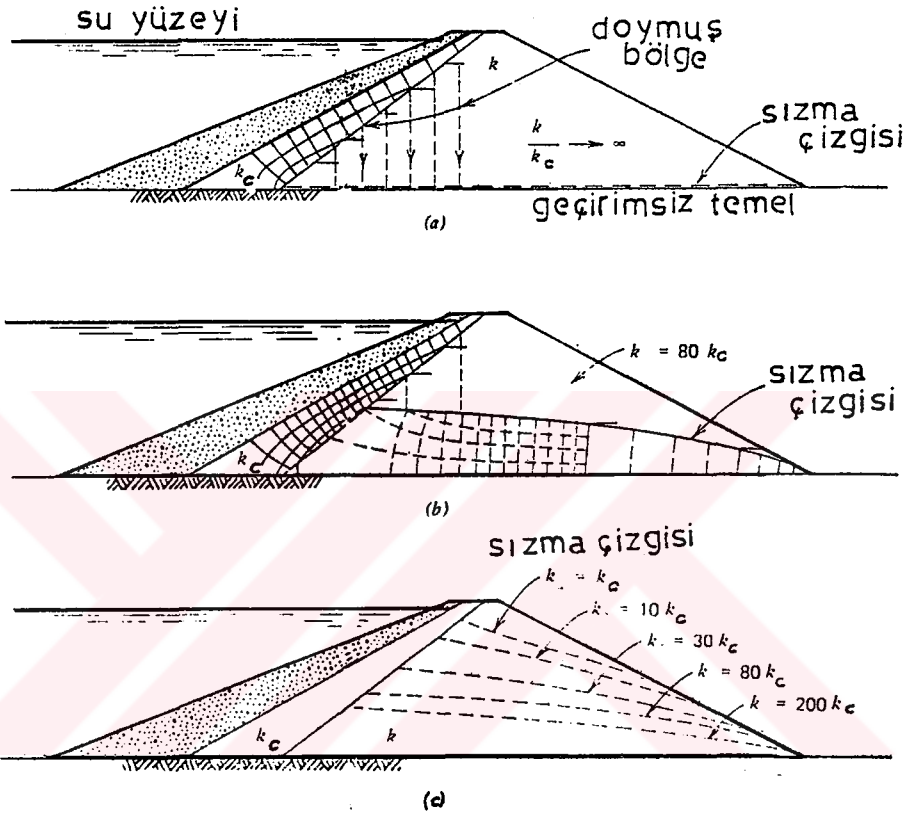
Böylece mansap şevinin stabilitesi azaldığı gibi çıkış gradyeni de büyük olmaktadır.

Sızma çizgisinin yüksekliğini ve çıkış gradyenini azaltmak için aşağıdaki metodlar kullanılır.

1. Mansap iskeleti temelden en az 100 defa daha geçirimli projelendirilir.
2. Nisbeten geçirimsiz perdelerin temele yerleştirilmesi gerekir.
3. Kil çekirdek altına beton enjekte edilir.

4. Çekirdekten itibaren menba bölgesine geçirimsiz menba blanketi teşkil edilir.

5. Drenaj kuyuları ve diğer drenaj çeşitleri tertiplenir.



Şekil 2.20 Çekirdek ve mansap iskeletinin geçirgenliklerine bağlı olarak sızma çizgilerinin mukayesesi .

(a) İdeal şart

(b) Tipik akım ağı ($k=80k_c$)

(c) Farklı k/k_c oranları için sızma çizgisi.

Enjekte temel perdeleri yardımı ile temelde meydana gelen sızmalar kontrol altına alınabilir. Bu perdelerin kalınlığı $0.2 \cdot h_1$ kadar olmaktadır. Burada h_1 menba su yüksekliğidir.

3. DOLGU BARAJLAR

Toprak barajlar , bendler ve nehir kenarında su taşmasına engel olacak seddeler dünyada yaygın olarak yapılan yapılardır. Hemen hemen dünyanın değişik kısımlarında su tutmak için birçok yapı yapılır. Bu yapılarda, iri kaya ve taş ocaklarından çıkarılan taşlardan ve killerden ve yine topraktan malzeme olarak yararlanılır.

Genellikle bir baraj inşaatında dolu savak, dip savak bend vb. işlemlerin yapılmasına ihtiyaç vardır.

Toprak dolgu baraj suyu biriktirmek gayesi için dünyanın bütün kesiminde kullanılan en yaygın bir yapı türüdür. Yapıda kilden çakıla veya kaya parçalarına kadar bütün zemin cinsleri kullanılır. Bir biriktirme tesisi genellikle baraj seddi, savak tesisleri ve su alma tesislerinden ibarettir. Dolgu, massif veya diğer tip biriktirme tesislerinden birinin seçimi temel şartları, yapı malzemesinin temini, araç ve gereçlerin durumu gibi birçok faktöre bağlıdır. Toprak dolgu barajın yeri ve yüksekliği , barajdaki su yüksekliklerine göre stabil olması, sızma kayıplarının minimum olması gibi faktörlere bağlı olması yanında ekonomik düşünceler de dikkate alınır. Ayrıca barajın yerinin tayininde vadi ve bölgenin jeolojik durumu gözönünde bulundurulur.

Bir toprak barajda, genellikle en ekonomik durumu sağlamak için kaya temel en kafi çözümdür.

3.1. Dolgu ve Massif Barajların Seçimine Tesir Eden Faktörler

3.1.1. Temel durumu

Massif baraj sağlam kaya üzerine inşa edilir.Bu nedenle sağlam zemin, ekonomik olarak ulaşılır, derinlikte değilse toprak baraj geçirimli temel üzerine inşa edilir ve sızmaya karşı gerekli tedbirler alınır. Ayrıca temel farklı malzemeden ibaretse farklı oturmalar meydana geleceğinden toprak dolgu baraj tavsiye edilmez.

3.1.2. Vadi şekli

Dar ve dik vadi enkesitlerinde vadinin hareketi neticesinde yanal basıncın tesiri nedeniyle toprak dolgu gövdesinde oturma meydana geleceğinden, dolgu barajlar inşa edilmezler.

3.1.3. Malzeme durumu

Baraj inşası için uygun ve kafi miktarda malzemenin olması gerekir. Bu nedenle beton için uygun malzeme yok veya temini güç ise dolgu barajlar

inşa edilir. Buna karşı geçirimsiz ve geçirimli materyalin kafi miktarda mevcut olmaması gibi durumlarda massif barajlar uygun olur.

3.1.4. Deprem ve savaş tehlikesi

Deprem bölgeleri için daha az tehlikeli olan massif barajlar kullanılır. Dolgu barajlar zayıf temel üzerine inşa edildiklerinden ve su sızmalarından dolayı depreme karşı dayanıksızdır.

3.1.5. Akım miktarı

Akım miktarının fazla olması halinde dolgu barajların tahliye tesisleri büyük boyutlar kazanmaktadır. Bu nedenle maliyetleri fazla olduğundan massif baraj inşa etmek uygun olur. Jeolojik, topoğrafik, petroğrafik ve hidrografik araştırmalar toprak dolgu baraj inşasına tesir eden su alma, tahliye tesislerinin durumları, enkesit tabanı ve yamaç yapısı, tabanı ve yandan sızmaların durumu barajın ekonomik olup, olmamasına tesir eder.

Özellikle temelin ve yapı malzemesinin zemin mekaniği araştırmaları hacim ağırlıkları, granülometre eğrisi, kılma şartları, kesme mukavemeti, geçirgenlik, boşluk suyu gerilmelerinin tayini bakımından önemlidir. Taban zemininin taşıma gücünün fazla olması yanında suyla çözülür malzeme bulunmaması gerekir. Ayrıca gövde ve zeminde meydana gelecek erozyona karşı tedbirler alınmalıdır. (David, 1952)

Toprak dolgu baraj her zaman büyük kütle ve malzeme seçimi için itina gerektirir. Ayrıca yapı malzemesinin optimum su muhtevası inşaatın ilerlemesi ile bağıntılıdır. Hava payı, toprak barajlar için 3-4 m alındığı halde massif barajlarda 1-1,5 m ' dir.

3.2. Dolgu Baraj Yapı Malzemesi ve Dolgu Tipleri

3.2.1. Dolgu baraj yapı malzemesinin karakteristiği

Diğer mühendislik yapılarındaki gibi barajların projelendirilmesi ön etütleri ve analitik çalışmalar ihtiva eder. Dolgu barajların en belli başlı avantajlarından biri bölgede mevcut tabii yapı malzemesinden doğrudan doğruya istifade etmektir. Bu nedenle temel ve dolguda farklı statik ve dinamik yüklere ve değişik iklim şartlarına maruz kalan ve malzeme olarak kullanılan zemin tiplerinin suda eriyen bileşikleri ihtiva etmemesi yanında jeolojik ve zemin mekaniği esaslarına göre istenilen özellikte bulunması da gerekir. Tablo 3.1 , 3.2 , 3.3 , 3.4 ' te yapı malzemelerinin karakteristik değerleri verilmektedir. (Striegler , 1969)

Tablo 3.1 : Baraj Yapı Malzemesinin Fiziki Özellikleri (kohezyonsuz)

MALZEME	γ_s gr/cm ³	k m/sn	Sıkıştırma sayısı kg/cm ²	ϕ	c kg/cm ²
Keskin kenarlı taş	2.64.. 2.65	$>10^0$	1500-3000	40°	-
Üniform çakıl	2.65	$10^0 - 10^{-2}$	1000-2000	35°-40°	-
Çakıllı kum	2.65	$10^{-1} - 10^{-2}$	800-1500	33°-36°	-
Çok ince kum	2.65-2.67	$10^{-4} - 2 \cdot 10^{-4}$	400-800	30°-34°	-
Üniform	2.65	$10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3}$	500-1000	33°-36°	-

3.2.2. Kullanılan malzeme tipleri ve dolgu baraj tipleri

Barajlar, su basınç kuvvetlerini gövde ağırlığı ile ternele aktarmaları yanında , müsaade edilmeyen sızmalara karşı da kafi miktarda geçirimsiz yapılmalıdır.

Baraj yüksekliğinin artması ile baraj yükleri büyür, projelendirme ve zon bölgelerinin seçimi gerekli emniyetin dikkate alınması ve mevcut baraj yapı malzemesi ile ilgilidir. Modern dolgu barajlar zemin mekaniği , toprak ve kaya yapı alanındaki gelişmeler ile inşaat işlerinin mekanikleşmesi neticesinde yaygınlaşmıştır. Bir baraj projesi planlanmadan önce çok geniş , arazi ve laboratuvar ön araştırması yapılır.

Bunlar su ekonomisi esasları, baraj yapılacak yerin topoğrafik jeolojik durumu , hidrolojik alanın özellikleri, yapı malzemesi elde edilecek ocakların yerleri , yapı maliyeti ve barajın ekonomiye katkısı olarak sıralanabilir.

Bütün bu faktörlere bağılı olarak mühendis ekonomik baraj tipini, barajın emniyetini ve ayrıca inşaatın teknolojisini tesbit etmekte önemli bir yer alır.

Dolgu barajları standart çözüme kavuşturmak mümkün değildir. Uygun miktarda bulunan kaya ve gevşek zeminin baraj yüklerini alacak şekilde homojen veya zonlu olarak yerleştirmek gerekir. Baraj, suyu kabartan ve kafi miktarda geçirimsiz bir yapıdır. Baraj gövdesine zemin tipleri, baraj gövdesindeki fonksiyonlarını yerine getirecek şekilde yerleştirilir. Ve barajın üst yapı şekli, topoğrafik durum, baraj yapı malzemesi, teknolojik yapı gibi faktörlerin tesiri altındadır.

Yapı tarzına göre barajlar homojen ve zonlu olmak üzere iki kısma ayrılır. Tablo 3.5

Homojen barajlar ekseri düşük geçirgenliğe haiz ince daneli zeminlerden inşa edilir. Bu barajlarda geçirimsiz çekirdek teşkil edilmez ve nisbeten küçük kayma mukavemetine haiz olduklarından dolayı şev eğimi yatık olur. Bu baraj tipi, uygun kafi miktarda yapı malzemesinin, inşa yerinden ekonomik bir mesafede bulunması halinde ekonomik olmaktadır.

Fazla geçirgenlikten dolayı sızma çizgisi homojen barajlarda gövde içerisinde bir hayli yüksekte bulunur. Böylece barajın büyük bir kısmına su kaldırma kuvveti etki eder. Ağırlık kaybından ve sızma suyu akımından dolayı bu tip barajlarda emniyet, istenmeyen yönde etkilenir. Sızma çizgisinin uygun drenaj tesisleri ile alçaltılması gerekir.

7-8 m' den daha yüksek homojen barajlar için dolgu malzemesinden daha geçirimli etek, yatay, düşey ve eğimli dren tipleri Şekil 3.1' de gösterilmiştir. Mansap tarafına inşa edilerek ;

1. Barajın mansap tarafında boşluk suyu basıncını azaltmak ve böylece mansap şevinin emniyetini kaymaya karşı artırmak,

2. Mansap tarafından suyun çıkışını kontrol altına almak ve böylece daneciklerin taşınmasını önleyerek borulanmanın gelişmesini engellemek esas alınır. Dren tesisinin boşluk suyunu azaltma kabiliyeti, dren tesisinin yeri ve uzunluğu ile ilgilidir. Diğer taraftan borulanma, dren tesisi ve dolgu malzemesi arasına filtre inşa edilerek önlenir. (Hirsch Feld, 1973)

Tablo 3.2 : Baraj Yapı Malzemesinin Fiziki Özelliği (kohezyonlu)

Malzeme	Dane İriliği %	γ_s	Su alma kabiliyeti %	k m/sn	E	ϕ	c kg / cm ²
Lem	4-20	2.68-2.74	40 - 70	10^{-8} - 10^{-10}	130-180	$25-33^\circ$	0.15 - 0.30
Lös	2-10	2.65-2.67	40 - 60	10^{-7} - 10^{-8}	100-200	$24-30^\circ$	0.10 - 0.20
Löslü lem	5-20	2.67-2.70	40 - 60	10^{-8} - 10^{-9}	140-250	$24-28^\circ$	0.15 - 0.30
Kil	>50	>2.70	>80	$<10^{-10}$	<80	$<15^\circ$	>0.50



Tablo 3.3 : Dolgu Malzemesinin Sınır Değerleri

Malzeme		Kuru Ağırlığı ton / m ³	Optimum Su Muhtevası	γ_s	Boşluk Oranı
Çakıl	İyi Tabakalı	2.10 - 2.25	0.06 - 0.04	2.65 - 2.67	0.26 - 0.18
	Kütle "	1.90 - 2.10	0.10 - 0.05		0.40 - 0.26
	Üniform "	1.80 - 1.90	0.12 - 0.08		0.47 - 0.40
Kum	İyi Tabakalı	1.80 - 2.00	0.12 - 0.08	2.65 - 2.66	0.47 - 0.32
	Kütle "	1.80	0.08		0.47
	Üniform "	1.70 - 1.85	0.05 - 0.08		0.56 - 0.43
Lös		1.70 - 1.85	0.18 - 0.13	2.65 - 2.70	0.58 - 0.36
Lem		1.75 - 1.95	0.17 - 0.10	2.68 - 2.74	0.65 - 0.40
Killi Lem		1.50 - 1.75	0.27 - 0.16	2.69 - 2.75	0.88 - 0.80
Kil		1.50	0.25	2.70 - 2.78	0.50

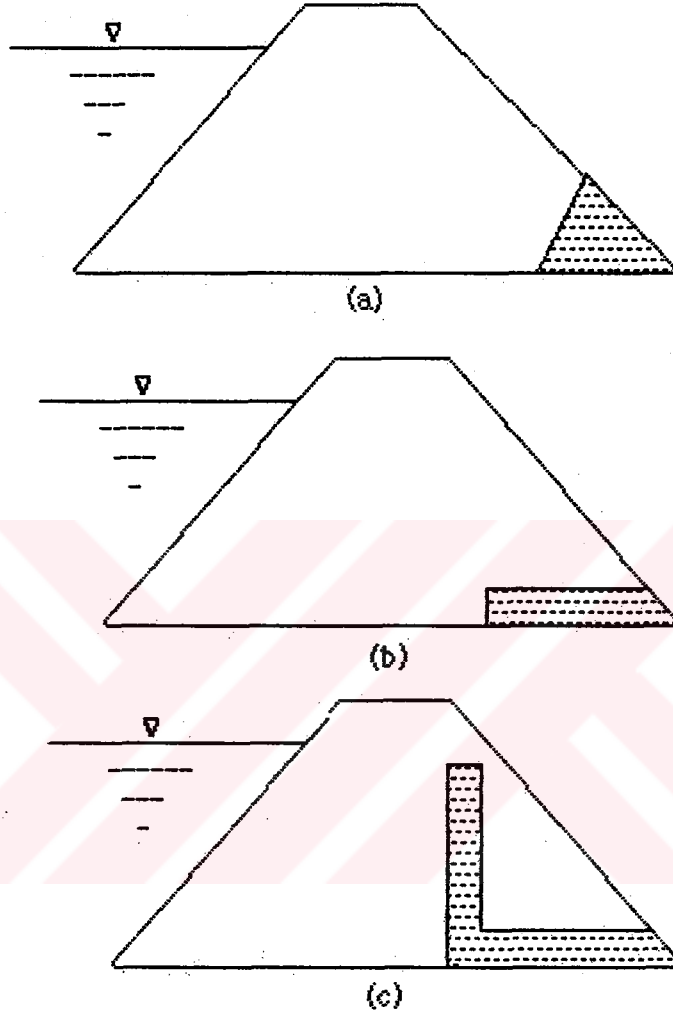
Tablo : 3.4 - Baraj yapı malzemesi olarak zemin tiplerinin değerlendirilmesi

Zemin Grubu	Özellik	Dane Değilimi	ton / m ³	Teknik Özellik	Dona Mukavemeti	Baraj Yapı Malzemesi Olarak Uygunluğu
KABA DANELİ	Blok taş veya iri çakıl		1.9 - 2.2	Uniform olmayan dane şekli ve pürüzlülüğü taşıma gücünü belirtir, geçirgenliği fazla, dona mukavim sağlam ve dane çapları 2 mm. den büyüktür.	Dona Mukavim	Kanat malzemesi olarak çok uygundur.
	Taşlı kum ve çakıl		1.8 - 2.1			Dolgu malzemesi olarak çok uygundur.
	Çakıl, kum	Yuvarlak, köşeli kum, çakıl.	1.7 - 2.0			Statik yüklerle mukavim, dinamik yüklerle değil.
	Kumlu çakıl		1.8 - 2.0	Yukarıdaki özellikte fakat farklı mukavemette.	Dona mukavim	Dolgu malzemesi olarak uygundur.
İNCE DANELİ	Lemli, çamurlu kumlu çakıl kum.	Siltli - Kumlu Çakıllı kum.	1.7 - 2.0	İyi kohezyonlu, az mukavemetli, vasat geçirimli.	Dona mukavim Su emme kabiliyeti azdır.	Dolgu malzemesi olarak uygundur.
	Löslü (lem)	(Kumlu) - Kumlu silt.	1.7 - 1.8			Oturmaya karşı tavsiye edilir.
	Çakıllı lem çakıllı kil	Kumlu siltli çakıllı kum.	1.8 - 2.0	Geçirgenliği düşük	Dona mukavim su emme kabiliyeti orta.	Özellikleri su muhtevası ile değişir, iyi sıkışır.
ORGANİK ZEMİN	Kum, lem ve kil. %30 org. muhtevası ile	Siltli kil	< 1.6	Kohezyonu yüksek, geçirgen değil	Su alma kabiliyeti yüksek.	Geçirimsiz malzeme olarak uygundur.
			1.1 - 1.4	Organik kumlu kısmın miktarı, mukavemetini belirler.		Baraj malzemesi olarak uygun değildir.

Tablo : 3.5 Baraj Tipleri

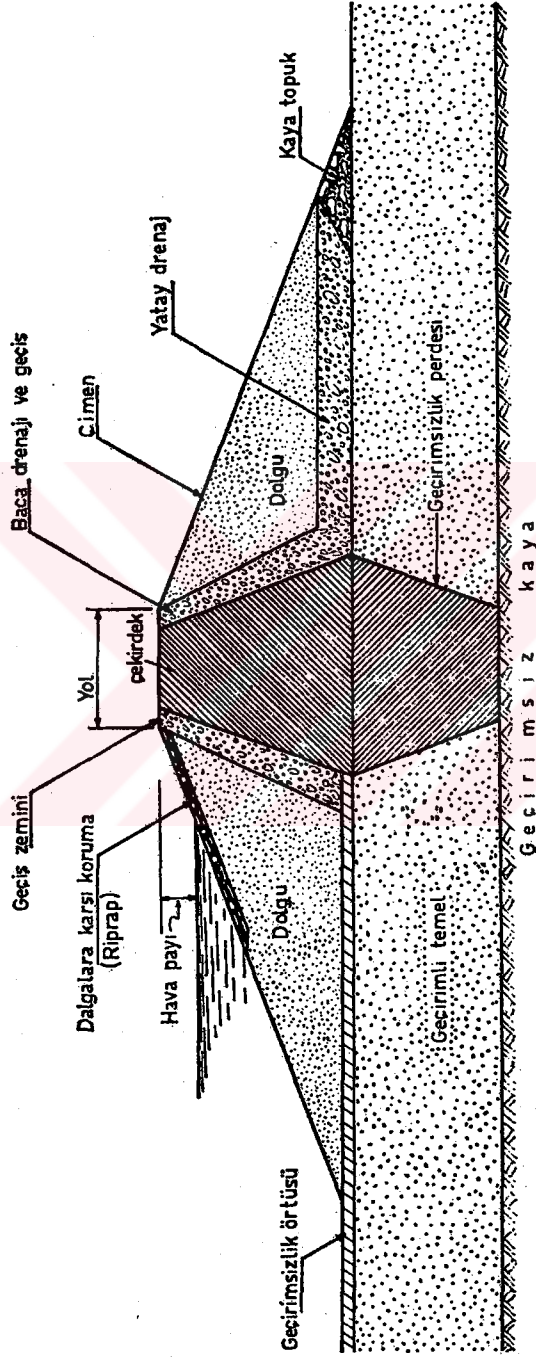
Baraj Tipi	Dolgu Malzemesi	Avantajı	Mahsurları
<p>Homojen Baraj</p> 	<p>Geçirgenliği $k < 10^{-6}$ m/sn olan ince daneli gevşek zemin kullanılır. Geçirgenlik düşey yatay doğrultuda aynıdır. Düşük kayma mukavemetine haiz zeminlerde şev yatık inşa edilir. Gövde aynı zamanda geçirimsizlik kısmında ihtiva eder.</p>	<p>Baraj inşaatı için basit teknoloji ve bilhassa yük-sekliği az olan barajlar için uygun yapı tarzı olmaktadır. Sonradan yük-seltmek için büyük zorluklar arz etmez. İnşaat esnasında basit ve iyi bir kontrol yapmak mümkündür.</p>	<p>Mansap eteğinde drenajla sızma çizgisi aşırı miktarda açılır. Bu nedenle bu kısımda $k > 10^{-6}$ m/sn'lik iri malzeme ile fazla miktarda meydana gelen sızma kaybı kontrol altına alınır. İnce daneli malzemenin inşaatı kişi tesirleri nedeniyle (don, yağış vs.) zorlaşır ve bu nedenle zaman kaybı olur. Dolgu hacmi büyüktür.</p>
<p>Zonlu Baraj</p> 	<p>Filtre prensibine göre kaya ve gevşek zeminler kullanılır. Eğimli veya merkezi çekirdek geçirimsiz elemanlar, diğer elemanlar iskelet kısmını teşkil eder. Geçirimsiz geçirimsiz zondan itibaren şev kademeli büyür.</p>	<p>Kaya dolgu iri daneli zemin mansap seviinin daha dik yapılmasını temin eder, böylece baraj hacmi küçülür. Zonlardaki farklı geçirgenlik katsayıları nedeniyle sızma çizgisi devamlı açılır.</p>	<p>Kaya ve gevşek zemin farklı yapı ve inşa metotlarına göre yerine yerleştirilir ve sıkıştırılır. Bu da inşaatın zor yapılmasına yol açar. Baraj zonlarının kalınlıklarının artması ile teknolojik mahsurlar büyür.</p>

Küçük tip barajlar için Şekil 3.1.a'daki tip barajı ile uygulanmaktadır.



Şekil 3.1 Homojen dolgu barajların enkesit tipleri

Etek drenler, ilk barajlarda etek kısımlarının yumuşama göstermesi nedeniyle kullanılmıştır. Rezervuar derinliği 15 m' yi geçtiği takdirde sızmayı daha iyi kontrol için drenleri barajın içine doğru kaydırmak tercih edilir. Değişik yükseklikteki barajlarda yatay drenaj blanketleri başarı ile kullanılmaktadır.



Şekil 3.2 Bir Toprak Barajın Kısımları ve Tarifler

Yatay drenajın belli başlı dezavantajlarından biri tabakalı bir yapı gösterdiğinden yatay yöndeki geçirgenlikler düşey yöndeki geçirgenlikten fazla olmasıdır. Böylece dolgu içinde sızan akım geçirimsiz malzemenin daha yukarı kısımlardan geçerek mansapta daha yüksek kısımlardan yüzeye çıkar. Bu durum bir çok önemli barajda vuku bulmuş ve yıkılmalara neden olmuştur. (Sherard, 1963)

Bu hususları önlemek için mansap yüzeyine geçirimli blanket yerleştirilir veya yatay drene bağlanacak şekilde düşey dren inşaa edilir. Bir çok homojen dolgu baraj enkesitinde düşey veya eğimli dren tertip edilmiştir, yalnız bu durumda dolgunun çok homojen olması gerekir. Şekil 3.1.c

Düşey drenler dünyanın en yüksek toprak dolgu barajlarında kullanılmaktadır. Bu drenlerin dane çapları 6 mm. ile 36 mm. arasında değişir ve drenler için filtreler öngörülür. Düşey drenlerin diğer avantajı normal sızmayı kontrol ettiği gibi farklı oturma çatlaklarından ileri gelen konsantre sızmalarını da kontrol altına alabilmesidir. Düşey drenler çoğu kez menba veya mansapta eğimli olarak inşa edilmektedir. Böylece sızma kontrol edilerek baraj dolu olduğu zaman mansap şev stabilitesi artırılır, ilave olarak drenler hem inşa esnasında ve hem de ani alçalma halinde boşluk suyu basıncını azaltırlar. Geçirimli drenlerin boyutlandırılması ve geçirgenliği, kabul edilen akımı taşıyacak dren sistemi olarak teşkil edilir. Eğer baraj ve temeli nisbeten geçirimsiz ve umulan sızma az ise dren fazla geçirimli malzemedan inşa edilmeyebilir. Dren malzemesinin geçirgenliği normal dolgu malzemesi geçirgenliğinin en az 100 mislinden fazla olmalıdır.

Zonlu baraj çeşitli tip baraj yapı malzemesinden ibarettir. Zonlama, zonların geçirgenliklerine bağlı olarak filtre inşa tarzına uyacak şekilde yapılır. Böylece zonlu baraj, geçirimsiz ve iskelet kısımlarından meydana gelir. İri malzemenin mansap kısma teşkili ile sızma çizgisi alçaltılır. Böylece barajın

emniyeti yükselir ve barajın hacminde bir azalma elde edilir. Buna karşı zonlardan dolayı inşa zorluğu ve ayrıca gelişmiş bir teknolojiye duyulan ihtiyaç zonlu barajların mahsurlarını meydana getirir.

Kaya dolgu barajlar , dolgu barajların dolgu hacmini küçültmek için kafi miktarda kayanın bulunması halinde inşa edilirler. İklimden etkilenmeyen modern inşa makinalarının kullanılması halinde kaya dolgu barajlar kısa zamanda inşa edilir.

Barajların zonlara ayrılması aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

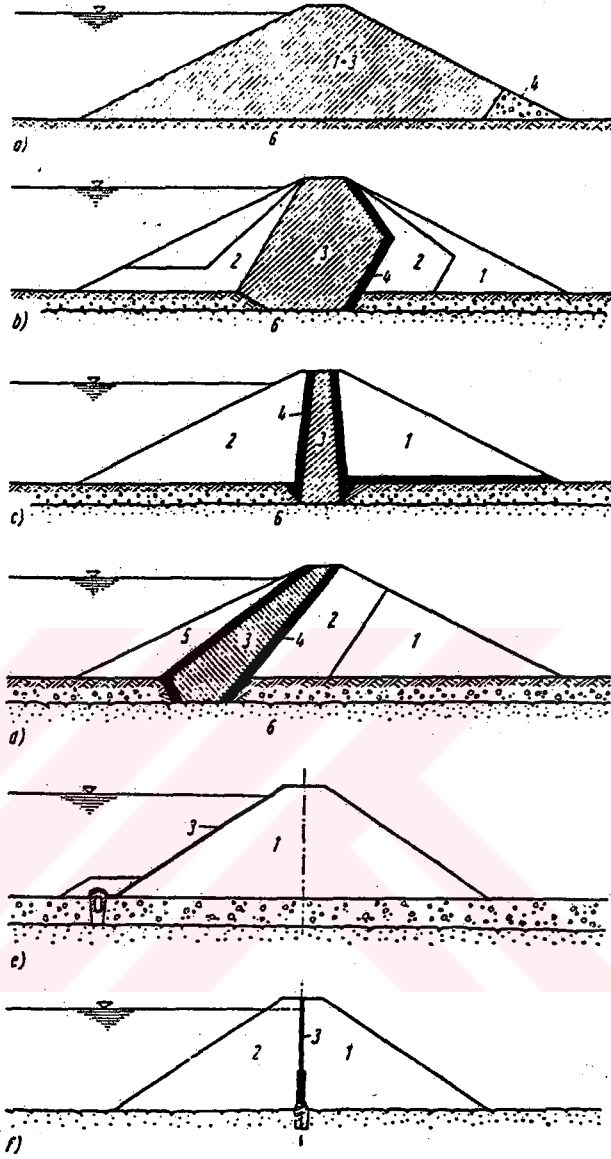
- a. Yapının temel durumu (zemin emniyet durumu)
- b. Barajın yüksekliği
- c. Baraj yapı malzemesini inşa alanında ekonomik mesafeden elde edilebilmesi
- d. Geçirimsizlik tipi
- e. Kazıma, taşıma ve sıkıştırma makinalarının mevcudiyeti
- f. Ekonomik yapı teşkili

Geçirimsizlik teşkiline göre, zonlu baraj dış ve iç geçirimsiz olmak üzere iki kısma ayrılır. Ve zonlardan diğer zonlara geçiş için filtreler kullanılır.

Tablo 3.6

Şekil 3.3 ' te geçirimsizlik tipleri verilmektedir. Geniş çekirdekli tip, kırılgan daneli düşük kohezyonlu dolgu malzemesinden teşkil edilir. Şayet kohezyonu yüksek geçirimsiz malzeme veya bitümlü beton mevcut değilse inşa zorluğu vardır.





1. Dayanma gövdesi
3. Geçirimsiz elaman
2. Dolgu gövdesi
4. Filtre tabakası
5. Kaplama tabakası
6. Yapı temeli



- a - Homojen dolgu baraj
- b - Geniş çekirdekli zonlu baraj (merkezi kalın kil çekirdekli dolgu baraj)
- c - Dar çekirdekli zonlu baraj (merkezi ince kil çekirdekli dolgu baraj)
- d - Eğik çekirdekli zonlu baraj
- e - Dış geçirimsiz baraj (yüzey kaplamalı dolgu baraj)
- f - Bitümlü çekirdek (merkezi geçirimsiz perdeli dolgu baraj)

Şekil 3.3 Geçirimsizlik tipleri (Sterieglar, 1969)

Tablo : 3.6 Geçirimsizliğin Konumuna Göre Barajların Sınıflandırılması

Geçirimsizlik Tipi	Geçirimsizlik Malzemesi	Avantajları	Maahurları
 <p>Yüzeysel</p>	Bitümlü beton veya beton betonsurma çelik levha.	Toplam baraj gövdesidayanma kısmı olarak tesir eder. Böylece daha ekonomik enkesit elde edilir. Geçirimsiz yüzeyin her zaman kontrol ve bakım imkanı mevcuttur. Daha sonraki yükseltmeimkanı vardır. Temel geçirgenliğin gövde inşasesı ile ilgisiz yoktur.	Baraj enkesitinin hareketlerine karşı fazla miktarda hassastır. (Bilhessa yüksek ve az sıkıştırılmış kaya dolgularda) Dış tesirlerle geçirimsizliğin tahrip olma tehlikesi vardır.
 <p>Eğimli Kil Çekirdek</p>	Tabii geçirgenlik malzemesi (kil, lem) Hazırlanmış geçirgenlik malzemesi (kil, beton)	Enkesitin büyük bir bölümü dayanma kısmı olarak tesirlidir. Geçirimsizliğin barajın büyük bir kısmı ile ilgisiz yoktur. Geçirimsiz kısım dış tesirlere karşı kafi miktarda korunmuştur.	Filtre tabakalarının teşkili gerekir ve çekirdeğin taban basıncı nisbeten düşük olduğundan iyi bir bağlantı meydana getirmez.
 <p>Merkezi Kil Çekirdek</p>	Tabii ve suni elastik. Çekirdek malzemesi.	Farklı oturmalara karşı simetrik enkesit, dış tesirlere karşı çok iyi korunma her iki tarafta kabarma meydana gelen barajlarda daha iyi geçirimsizlik.	Sadece mansap kısmında olan gövde dayanma kısmı olarak tesirlidir. Daha sonraki yükseltmelerde büyük zorluklar arzeder. Merkezi çekirdek baraj inşasesı ile birlikte yapılır. Filtre gerekir. İnşaatın önce temel geçirimsiz yapılır.
 <p>Elastik Çekirdek</p>	Elastik çekirdek; Bitümlü beton elastik olmayan çekirdek.	Tabii geçirimsiz malzemenin bulunmadığı yerlerde kullanılır. Elastik çekirdek temel ile daha iyi bir bağlantı teşkili eder.	Elastik olmayan çekirdek için sağlam kaya bulunması gerekir. Çatlak tehlikesi vardır. Yükseltmek çok zordur. Oturmaya karşı çok hassastır.

Eğimli kil çekirdek ekseri tabii geçirimsiz malzemenin düşük kayma mukavemetine sahip olması ve daha yatık menba ve şev eğimi gerektiren yerlerde inşa edilir. Eğimli ve merkezi çekirdeğin her iki yanında filtre tabakaları ve iri daneli kısımlar bulunur. Sadece mansap iskelet kısmı olarak etki eder. Eğimli kil çekirdekli barajlarda sonradan yükseltmeler mümkün olmamaktadır. Eğimli çekirdeğin menba kısmı dayanma gövdesi olmakla birlikte baraj hacmi bir hayli azalmaktadır.

Kil çekirdek malzemesinin kayma mukavemeti normal olarak dolgu malzemesinden daha az olması nedeniyle stabilite bakımından ince kil çekirdek kullanılması daha avantajlıdır. Diğer tarafta farklı oturmalarından dolayı ortaya çıkan kalın kil çekirdekler daha mukavimdir. Çünkü, burulanma mukavemeti, sıkıştırılmış dolgunun özelliğine bağlıdır. Minimum kabul edilebilir. Çekirdek kalınlığı, malzemesinin plastisitesine ve çekirdek malzemenin üniförmülüğüne bağlıdır.

Yukarıda anlatılan hususlara göre emniyetli minimum kil kalınlığı seçilir. İnşa edilen dolgu barajlarda kabaca göze çarpan hususlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Çekirdek kalınlığı su yüksekliğinin %30 ile %50 mertebesinde olması halinde yeterli kalınlık temin edilmektedir.

2. Çekirdek kalınlığı su yüksekliğinin %15 ile %20 olması halinde filtre kullanmak şartıyla uygun olmaktadır.

3. Su yüksekliğinin %10' u veya daha az olan kil çekirdek kalınlığı, muhtemelen fazla sızmanın baraj yıkılmasına sebep olmayacağı yerlerde kullanılmıştır.

Düşey çekirdeklerin dolgu barajlarda uygun olduğu hususlar mevcuttur. Düşey çekirdeğin en önemli avantajı temelde temas ettiği yüzeyde fazla basınç meydana getirdiğinden bu yüzeyde muhtemel sızmaya karşı daha

fazla korunma temin edilir. Diğer avantajı ve aynı özellikteki düşey çekirdek eğimli çekirdekten biraz daha kalın inşa edilir.

Eğik menba kil çekirdekli barajın en büyük avantajı önce tüm mansap kısmının inşa imkanı ve daha sonra çekirdek kısmının inşa imkanı olmasıdır. Bu husus ise, kuru periyodu az olan yağışlı bölgede çekirdek inşa süresi için çok önemli bir husustur.

Ayrıca eğimli çekirdek barajlar için dolgu inşa edilirken temel ıslahını da yapmak imkanı mevcuttur.

Eğimli çekirdeğin diğer bir avantajı ise, düşey çekirdekli barajlarda inşaatı zor olan filtre tabakasının daha kolay ve kalınlığının daha az olmasıdır. Düşey çekirdekli barajlarda menba şevleri daha dik ve mansap şevleri daha yatık inşa edelirler. Teorik olarak minimum hacim ince çekirdekli barajlar için çekirdek yerleştirildikten sonra menba ve mansap şevi aynı kayma emniyetini verdiği zaman elde edilir.

Eğer çekirdek eğimli ise bu şart ortalama eğimin $1/2$ olması halinde temin edilir. Oturma çatlaklarının eğimli çekirdekte daha az olduğu düşünülmektedir. Ayrıca eğimli çekirdek çatlaklara daha mukavim ve depreme daha dayanıklıdır.

3.3. Dolgu Baraj Tipleri

Barajın dolgu tipi ve inşa metodu birinci derecede tabiattan elde edilebilir. Malzeme ve barajın temel cinsine bağlıdır. Kafi derecede geçirimsiz materyal baraj kesitine yerleştirilerek sızmayı güvenilir limite kadar azaltmak, kafi miktarda geçirimli materyal kullanılarak ekonomik şev eğimlerini elde

etmenin yanında barajın stabilitesini temin etmek gerekir. Hidrolik analiz ile baraj gövdesinden geçen akım miktarı ve en üst akım çizgisi tayin edilir. Mansap şevini bu sızmalara karşı korumak için sızma çizgilerinin baraj enkesiti içinde kalması gerekir. (David, 1952)

3.3.1. Sadece geçirimsiz materyalin mevcut hali

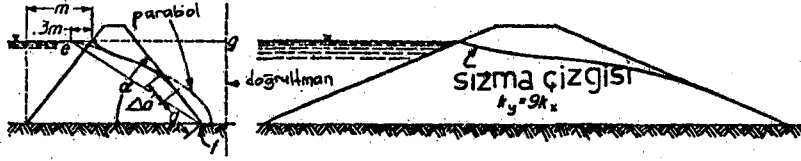
Bazen baraj bölgesinde yalnız geçirimsiz materyal mevcuttur. Geçirimli malzeme diğer bölgelerden taşınır veya bölgede kırma vs. ile imal edilir ve bu materyal minimum miktarda baraj kesitinde, kullanılarak ekonomik olması sağlanır.

Tek materyalden inşa edilen barajların mansap şevinde sızma yüzeyinin meydana gelmemesi için etek kaya dolgusu blanketi tertiplenir.

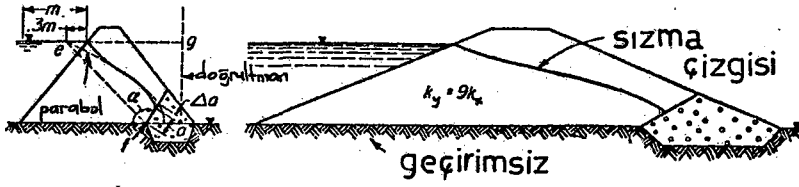
Sızma çizgisinin mansap şevinden dışarı çıkma hali Şekil 3.4 ' te görülmektedir.

Etek kaya dolgusu genel olarak kesitin içinde kalacak şekilde yerleştirilir ve Şekil 3.4.b ' te görüldüğü gibi drenaj gerekli olduğu yerlerde temelin içine doğru indirilir. Dolgunun mansap eteğinde geçirimli malzemenin her zaman kullanılması uygun olmayabilir, geçirimli malzeme bazende geçirimsiz mansap şev yüzeyinin üstüne yerleştirilir.

Etek kaya dolgusu ile toprak dolgu arasına ince materyalin yıkanmasını önlemek için bir filtre yerleştirmek gerekir. Tabakalı bir inşaat söz konusu ise kaya dolgular etek drenaj blanketine tercih edilir.



a - Geçirimsiz temel üzerindeki üniform dolguda sızma çizgisinin durumu



b - Etek kaya dolgulu üniform baraj kesiti ile sızma çizgisinin durumu



c - Sun' i drenaj blanketi



d - Tabii drenaj blanketi üniform baraj kesiti için sızma çizgisinin durumu

Şekil 3.4 Değişik üniform dolgulu barajda sızma çizgisinin durumu

Drenaj blanketi Şekil 3.4 c ve d' de gösterilmiştir. Genellikle bir kaç metre kalınlıkta olup barajın mansap eteğinden, eksenine kadar mesafenin %25 ' inden %100' üne kadar uzatılır. Drenaj blanketinin avantajı temel için drenaj imkanı vermesidir. Heterojen temelin bulunduğu yerlerde drenaj blanketi vasıtası ile tabanda oluşan sızmalarnın toplanması önemlidir. Temeldeki blanket yardımıyla sızan su toplanacağı için dolgu yükünden oluşan konsolidasyonun müddeti azalır.

Minumum geçirimli malzeme kullanmak için baraj eksenine paralel blanket şeritleri veya dren boruları teşkil edilerek sızma suyu berteraf edilir.

3.3.2. Üniform olmayan materyalin mevcut hali

Permeabiliteleri değişik materyallerin mevcut olması halinde daha ekonomik bir projelendirme mümkündür. Genel olarak geçirimsiz malzeme merkezi bir çekirdek teşkil edecek tarzda yerleştirilir. Fakat baraj enkesitinin menba kısmı tamamen geçirimsiz malzeme olabilir veya eğişik geçirimsiz çekirdek, baraj ekseninin menba tarafına yerleştirilebilir.

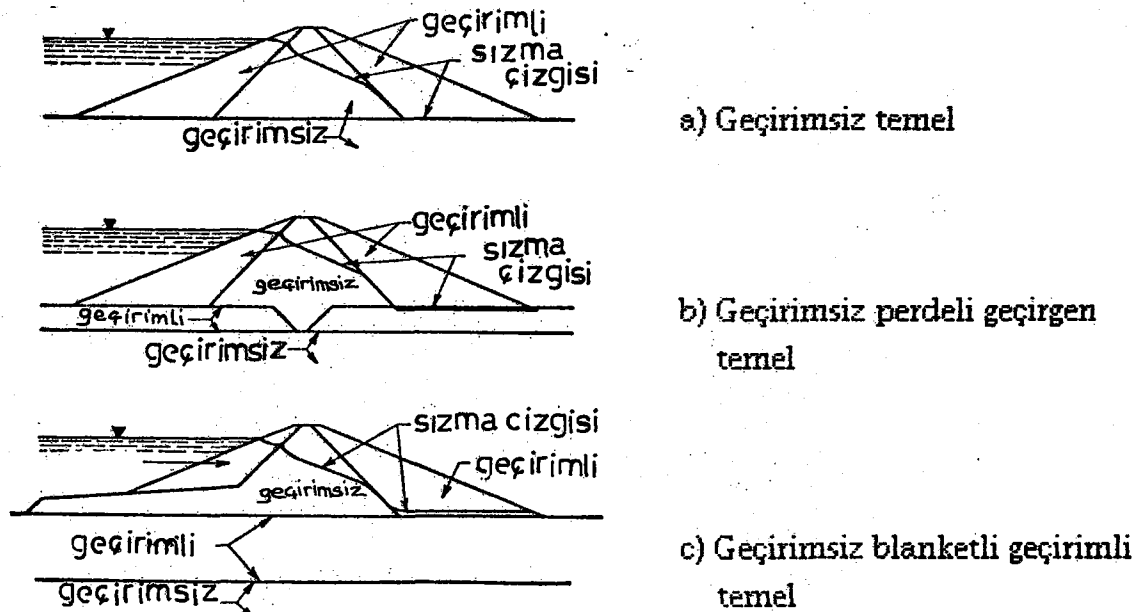
Geçirimli, zemin veya kaya dolgu geçirimli bölgeler için en uygun materyallerdir. Mansap bölgesi için teşkil edilecek malzeme, kullanılan geçirimsiz malzemedan en az 10 defa daha geçirimli olması tercih edilir. Menba bölgesi için materyalin mansap bölgesinin geçirgenliği kadar olması tercih edilir. Daha ekonomik projelendirme baraj kesimlerine geçirimli ve geçirimsiz kısımlar rastgele yerleştirilmeleri ile mümkündür.

Böyle rastgele bölgeler az veya daha çok üniform materyallerle karışık olup permeabiliteleri geçirimli veya geçirimsiz sınırlar arasında değişir.

Veya çok katlı tabaka teşkil eden elenmemiş çeşitli malzemedan mürekkeptir. Çekirdek geçirimsiz baraj kesitlerinin tipik şekilleri Şekil 3.5 'te görülmektedir. Barajın sadece bir kısmı için kafi miktarda geçirimli metaryal mevcut ise genellikle mansap kısmı inşa edilir ve tüm menba kısmı geçirimsiz materyalden teşkil edilir. Böylece sızma miktarı minimuma indirilmiş ve ani su alçalmasından meydana gelecek tehlikeler önlenmiş olur.

Barajın geçirimsiz çekirdek kısmının ve geçirimli kısımlarının boyutları nisbeten elde mevcut malzeme durumuna bağlıdır. Sıkıştırma vasıtalarının işlenmesi bakımından minimumum 2.40 m' lik genişlik gerektiği gibi çekirdek geçirimsizliği temin edecek minimum genişliğe haiz olmalıdır.

Geçirimli temel halinde ya geçirimsiz tabakaya kadar geçirimsiz perde Şekil 3.5.b veya çekirdeğe birleşik bir geçirimsiz menba blanketi tertip edilmelidir. Geçirimsiz perde Şekil 3.5.b ' de görüldüğü gibi merkeze veya çekirdeğin menba kısmına yerleştirilir. Çekirdek tipi barajlar minimum boyutlara haiz olduğundan ekonomik olurlar. Fakat sadece geçirimsiz kaya temel üzerine inşa edilirler. Böylece kanat kısımları kaya dolgu inşa edilebildiği için şev eğimleri dik olur. (1/1.2 ' den 1/1.4 ' e kadar)



Şekil 3.5 Çekirdek zonlu baraj tipleri (David, 1952)

3.3.3. Özel geçirimsiz çekirdek ve yüzeyli dolgu barajlar

Kafi miktarda geçirimsiz malzeme mevcut değilse bir geçirimsiz elaman olarak beton, ahşap , çelik düşünülebilir. Böyle materyallerin toprak baraj inşasında kullanılması halinde sızma , basınç ve konsolidasyona bağlı olarak barajda meydana gelecek hareket miktarları nedeniyle önemli sorunlar ortaya çıkar. Elamanın çatlaması çatlak alanında tehlikeli akımın meydana gelmesine sebep olduğu gibi aşırı sızma kuvveti ve borulanma ortaya çıkar.

Yukarıdaki sebeplerden dolayı çekirdek duvarı oturmaya uygun şekilde tertip edilmelidir. Keza çekirdek duvar farklı yanal basınçlara mukavemet edecek şekilde inşa edilmelidir. Amprik olarak minimum betonarme duvar kalınlığı krette takriben 2,5 m. ve yüzey eğimi 30/1 alınır.

Beton çekirdeğin kret genişliği 0,9 - 1,5 m. ve yüzey eğimleri 20/1 alınabilir. İdeal malzeme fleksibil olandır. Fakat geçirimsiz perde olarak kesme taş, tuğla veya asfalt derzli beton blok veya iki ayrı beton blok ve orta kısmı tamamen asfalt olan duvarlar kullanılabilir. Asfaltın barajlarda kullanma durumu şimdilik gelişme safhasındadır. Beton çekirdeğin kullanılması gerekli ise bir bakım galerisinin inşası da dikkate alınmalıdır.

Beton, ahşap ; veya çelik kaplamalı baraj menba yüzeyleri bazan kullanılır, bu yüzeyler çekirdekten daha fazla harekete maruz kaldıklarından projelendirilmeleri aşırı dikkat gerektirir. Diğer alternatif mevcut ise bunların kullanılması tavsiye edilmez.

3.4. Temel Tipleri

3.4.1. Kaya temel

Dikkatli bir araştırma ile yapıyı tehlikeye sokabilecek sızma meydana getiren çatlak, yarık , fay ve mağaraları tayin etmek gerekir. Mevcut sızma hatları sondaj kuyularına su basıncı tatbiki yardımıyla tesbit edilir. Önemli bir sızma ile karşılaşılan kesitlere basınç altında çimento şerbeti, çimento, bazı karışımlar, kil veya bentonit enjekte edilmelidir. Herbir enjekte işlemi enjekte deliğinin derinliğine, enjekte tipine, kullanılacak basınç ve techizata karar verdikten sonra dikkatli bir çalışma ile yapılmalıdır. (David,C.1952)

Bir sıra halinde değişik boyutlarda açılan enjekte kuyularına, enjekte tatbik edilir. Daha sonra bu kuyulara su basıncı ile enjektenin tesiri araştırılır. Bu işlem enjektenin tesirli olması temin edilinceye kadar tekrarlanır. Bazen iki veya daha fazla sıra enjekte kuyuları, enjekte perdesinin boyutlarını artırmak için kullanılır. İyi kaliteli kayaların bulunduğu yerlerde enjekte çalışmaları güçleşir. Pratikte kullanılan genel metod kaya temeli ile dolgunun ara yüzeyinde meydana gelecek sızmayı önlemek ve aynı zamanda temel üzerindeki dolgunun kaymasına karşı mukavemetini artırmak için beton perdelerin inşasını öngörmektedir. Yeni fikir olarak temel ile dolgunun arasındaki temas yüzeyinin büyüklüğü gözönünde tutulursa böyle bir perde lüzumlu değildir. Bununla beraber çatlak kaya bölgesi beton enjekte perdeleri ve hendekleri ile kaplanır. (Walch,O.1930)

3.4.2. Geçirimli temel

Nisbeten sığ veya birkaç metre derinliğindeki kum ve çakıl tabakalarından ibaret temeller geçirimli temellerdir. Bu tür temeller üzerinde inşaa edilen toprak barajlarda stabilite ve yapısal yönden önemli bir problemle karşılaşılmaz (David,C. 1952)

Fakat, temelden geçen su kaybı çok önemlidir. Bu durumda bir veya birkaç yöntem ile temelde meydana gelen sızma kayıpları önlenmiş olur. Mesala 1,5 ile 3 m. kalınlığında kil blanket menba tarafa teşkil edilerek sızma yolu uzatılır. Geçirimli materyalin derinliği fazla değilse bir palplanş perdesi inşa etmek yerinde olur. Nisbeten geçirimli zemin tabakaları kalın ise çelik palplanş perdelerinin kullanılması daha uygundur. Temelin çimento, kil, bitümlü materyallerde veya bentonit ile enjekte edilerek geçirimsizliği düşünülebilir ve temelin kimyasal olarak sağlamlaştırılma ihtimali vardır. (David, C. 1952)

3.4.3. Geçirimsiz temeller

Silt, kil gibi ince daneli materyal ihtiva eden temeller bu gruba girerler. Bu tür temellerin mevcut olması halinde sızma bakımından biraz güçlük meydana getirirler. Fakat silt ve kil yapısal bakımdan güvenilir değildir ve stabilite için dikkatli araştırma gerekir. (David, C. 1952)

3.4.4. Geçirimli tabakalar üzerinde bulunan, geçirimsiz tabakalar

Bu tip temeller yukarıdaki gibi geçirimsiz temellerde görülen güçlükleri arzeder. İlave olarak temelde gelişen hidrostatik kaldırma kuvvetine mukavemet edecek geçirimsiz tabaka kalınlığı mevcut değilse mansap tarafta borulanma tehlikesi vardır. Geçirimli tabaka yük kaybı, ihmal edilecek kadar azdır. Bu nedenle geçirimli tabakadaki borulanmayı azaltmak için drenaj kanalları veya bir sıra güvenlik kuyuları geçirimli tabakaya kadar açılır. Hendek veya kanallar genellikle gerekli derinliğin 3 m ' den az olması halinde ekonomiktir. Daha fazla derinlikte drenaj kuyuları ekonomik değildir. Böylece zemindeki borulanma hadisesi önlenmiş olur (David,C. 1952)

3.4.5. Çok tabakalı temeller

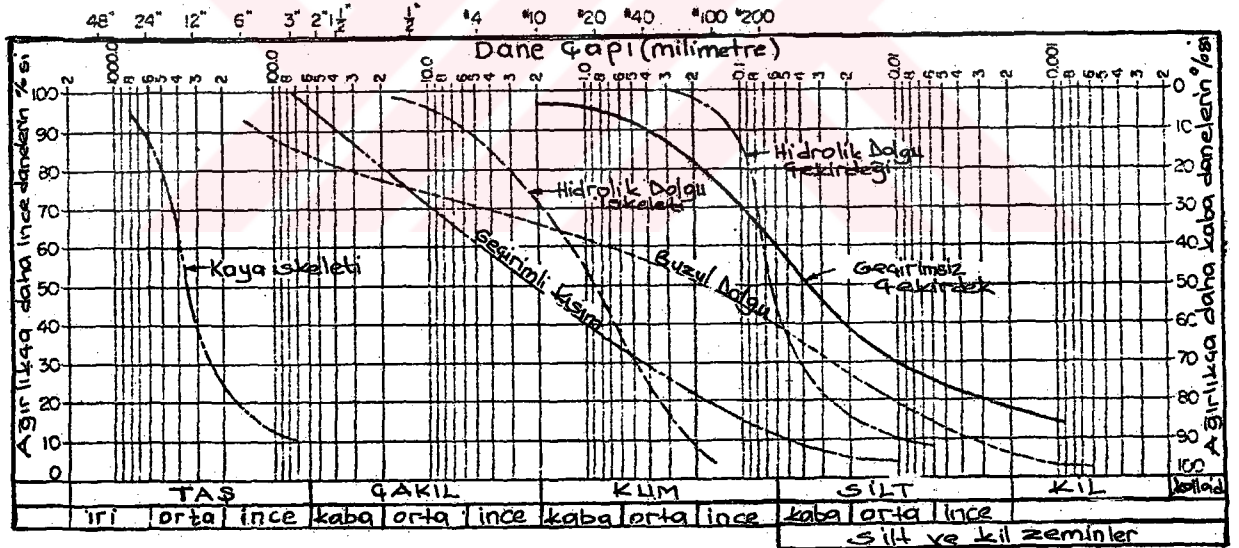
İnce kum,silt ve kil gibi değişik tabakaları ihtiva eden temeller baraj seddinin ağırlığı altında silt ve kil tabakalarında meydana gelen konsolidasyondan dolayı daha geçirimli tabakalarda aşırı boşluk suyu basıncının meydana gelmesine sebep olur.

3.5. Baraj Enkesitin Tayini

Toprak baraj planlamasında düşüm yatağı, su alma tesisleri ve diğer tesislerin inşası için kazılan toprak malzemesi mümkünse baraj enkesitinde kullanılarak ekonomi temin edilir.

Genel bir bilgi için barajın çeşitli kısımlarında kullanılan materyalin elek analiz değerleri Şekil 3.6 ' de gösterilmiştir. Baraj kesitinde permeabiliteleri değişik olan elverişli zemin tabakaları teşkil etmek oldukça önemlidir.

Kret genişliği, baraj yüksekliği 30 m' ye kadar 3 m , 45 m' ye kadar 4,5 m daha yüksek barajlar için maksimum kret genişliği 8 m olarak sınırlandırılmıştır.



Şekil 3.6 Toprak baraj malzemesi için elek analizi

Ortalama şev eğimi dolgu yüksekliğine bağlı olarak değişir. Yaklaşık olarak ortalama eğimin tayini için şev stabilite metodu kullanılır. Şev stabilitesinin emniyetli olması için taban kısmının eğimi küçük, krete yakın

bölgesinin eğimi nisbeten büyük seçilmelidir. Tablo 3.7' den Tablo 3.10' a kadar dolgu barajlarda şev eğimleri verilmektedir.

Tablo : 3.7 Şev Eğimleri (David, C. 1952)

Dolgu Malzemesi	Yaklaşık şev eğimi	Şartlar Durumu
Kohezyonsuz zemin	1 / 2.5	Şev çim ile kaplanarak korunması gerekir.
(Mansap şevi)	1 / 2.0	Şev kaya ile kaplanarak korunması gerekir.
Kaya dolgu	1 / 1.5	Orta çekirdekli
Kohezyonsuz zemin (Menba şevi)	1 / 2.5	Eğimli kil çekirdekli.
	1 / 2.5	Su alçalması halinde serbest drenajlı şev.
	1 / 2.5	Su alçalması halinde düşey sızmalı.
	1 / 2.5	Üniform malzeme de kapiler yüksekliğin \geq dolgu yüksekliği olduğu yerlerde.
	1 / 3.5	Su alçalmasından sızmanın eğimin dışına çıkması halinde.

Tablo : 3.8 Doygun Silt ve Kil Temellerdeki Dolgu Barajlar için Stabilize Dolguların Tavsiye Edilen Eğimleri.

Temel durumu	Penetrasyon deneyine göre darbe adedi.	Zemin grubu	Barajın çeşitli yüksekliği için eğimler				
			50 ft	40 ft	30 ft	20 ft	10 ft
Gevşek	4' ten az		Özel zemin testleri ve analiz gerekli				
Yasat	4' ten 10' a kadar	SM	$4\frac{1}{2}:1$	4:1	3:1	3:1	3:1
		SC	6:1	5:1	4:1	3:1	3:1
		ML	6:1	5:1	4:1	3:1	3:1
		CL	$6\frac{1}{2}:1$	5:1	4:1	3:1	3:1
		MH	7:1	$5\frac{1}{2}:1$	$4\frac{1}{2}:1$	$3\frac{1}{2}:1$	3:1
		CH	13:1	10:1	7:1	4:1	3:1
Orta sert	11' den 20' ye kadar	SM	4:1	$3\frac{1}{2}:1$	3:1	3:1	3:1
		SC	$5\frac{1}{2}:1$	$4\frac{1}{2}:1$	$3\frac{1}{2}:1$	3:1	3:1
		ML	$5\frac{1}{2}:1$	$4\frac{1}{2}:1$	$3\frac{1}{2}:1$	3:1	3:1
		CL	6:1	$4\frac{1}{2}:1$	$3\frac{1}{2}:1$	3:1	3:1
		MH	$6\frac{1}{2}:1$	5:1	4:1	3:1	3:1
		CH	11:1	9:1	6:1	3:1	3:1
Sert	20' den fazla	SM	$3\frac{1}{2}:1$	3:1	3:1	3:1	3:1
		SC	5:1	4:1	3:1	3:1	3:1
		ML	5:1	4:1	$3\frac{1}{2}:1$	3:1	3:1
		CL	5:1	4:1	3:1	3:1	3:1
		MH	$5\frac{1}{2}:1$	4:1	3:1	3:1	3:1
		CH	10:1	8:1	$5\frac{1}{2}:1$	3:1	3:1

Tablo : 3.9 Stabil Temelerde Küçük Zonlu Dolgu Barajlar İçin Tavsiye Edilen Şev Eğimleri (Domini, F. 1960)

Baraj tip	Maksat	Hızlı alçalma müsaadesi.	Kanat malzeme sınıflandırması	Çekirdek malzemesinin sınıflandırılması	Menba şevi	Mansap şevi
Minimum çekirdek zonlu.	Herhangi bir maksat	Kritik değil	(Kritik değil) Kaya dolgu, GW,GP,SW,SP (çakıllı)	(Kritik değil) GC,GM,SC,SM, CL,ML,CH veya MH.	2 : 1	2 : 1
Maksimum çekirdek zonlu.	Biriktirme veya feyezandan korunma.	Yok	(Kritik değil) Kaya dolgu GW,GP,SW (çakıllı) veya SP (çakıllı).	GC,GM ----- SC,SM ----- CL,ML ----- CH,MH -----	2 : 1 $2 \frac{1}{4} : 1$ $2 \frac{1}{2} : 1$ 3 : 1	2 : 1 $2 \frac{1}{4} : 1$ $2 \frac{1}{2} : 1$ 3 : 1
Maksimum çekirdek zonlu.	Biriktirme	Yar	(Kritik değil) Kaya dolgu GW,GP,SW (çakıllı) veya SP (çakıllı)	GC,GM ----- SC,SM ----- CL,ML ----- CH,MH -----	$2 \frac{1}{2} : 1$ " 3 : 1 $3 \frac{1}{2} : 1$	2 : 1 $2 \frac{1}{4} : 1$ $2 \frac{1}{2} : 1$ 3 : 1

Tablo : 3.10 Stabil Temelerde Homojen Küçük Toprak Dolgular İçin
Tavsiye Edilen Şev Eğimleri (Dominy, F. 1960)

Baraj tipi	Maksat	Hızlı alçal- maya karşı müsaadesi	Zemin sınıfı	Menba şevi	Mansap şevi
Homojen veya islah edilmiş homojen	Feyazandan korunma veya biriktirme.	Yok	GW , GP , SW , SP	Elverişsiz	
			GC , GM , SC , SM	$2 \frac{1}{4} : 1$	2 : 1
			CL , ML -----	3:1	$2 \frac{1}{2} : 1$
			CH , MH -----	$3 \frac{1}{2} : 1$	$2 \frac{1}{2} : 1$
Islah edilmiş homojen	Biriktirme	Yar	GW , GP , SW , SP	Elverişsiz	
			GC , GM , SC , SM	3:1	2 : 1
			CL , ML -----	$3 \frac{1}{2} : 1$	$2 \frac{1}{2} : 1$
			CH , MH -----	4:1	$2 \frac{1}{2} : 1$

ZEMİN SINIFLARI

- GW : Üniiform çakıl, çakıl kum karışımı , ince kısım çok az veya hiç yok.
- GP : Üniiformluğu az çakıl , çakıl kum karışımı , ince kısım az veya hiç yok.
- GM : Siltli çakıl , üniiformluğu az çakıl-kum-silt karışımı .
- GC : Killi çakıl, üniiformluğu az , çakıl-silt karışımı.
- SW : Üniiform kum, çakıllı kum , ince kısmı az veya hiç yok.
- SP : Üniiformluğu az kum, çakıllı kum, ince kısım az veya hiç yok.
- SM : Siltli kum, üniiformluğu az , kum-silt karışımı.

- SC : Killi kum, üniformluğu az , kum-kil karışımı.
- ML : İnorganik silt ve çok az ince kum , siltli ve killi plastikliği az olan killi ince kumlar.
- CL : Ortalama plastisitesi küçük olan inorganik killer , çakıllı killer, kumlu killer, siltli killer.
- OL : Plastisitesi az organik siltler ve organik silt-kil karışımı.
- MH : İnorganik siltler, siltli zeminler , elastik siltler.
- CH : Plastisitesi yüksek inorganik killer ve yağlı killer.
- OH : Organik killer (Plastisitesi yüksek) .
- FT : Çok organik zeminler .

3.5.1. Hidrolik dolgu barajlarda çekirdeğin projelendirilmesi

Hidrolik ve yarı hidrolik dolguların projelendirilmesinde bazen çekirdeğin ağır bir sıvı olduğu kabul edilir. Bu kabulün neticesi olarak geçirimli yanal kanatlar , bu sıvının basıncına mukavemet edecek şekilde projelendirilir. Gilboy (Göğüş, E.1975) sıvı çekirdekli barajların stabilitelerinin hesap metotlarını geliştirmiştir.

Emniyet faktörünün "1" olması için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$\sqrt{\sigma} = \frac{(m_1 - m') \cdot \sqrt{1 + m_0^2} + \sqrt{m_1 - m'} \cdot \sqrt{1 + m^2} \cdot \sqrt{m_1 - m_0}}{(1 + m_1^2) - (m_1 - m') \cdot (m_1 - m_0)} \quad (3.1)$$

Burada,

m' : Çekirdeğin şev açısının kotanjantı

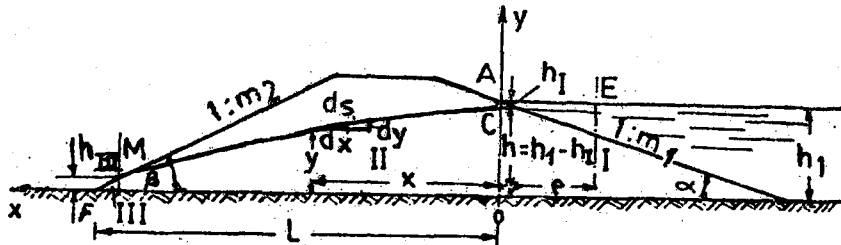
m_0 : Kanat materyalinin içsel sürtünme açısının kotanjantı

- m_1 : Dış şevin yatayla yaptığı açının kotanjantı
 ϕ : Çekirdeğin birim hacim ağırlığının , kanat bölgesinin birim hacim ağırlığına oranı

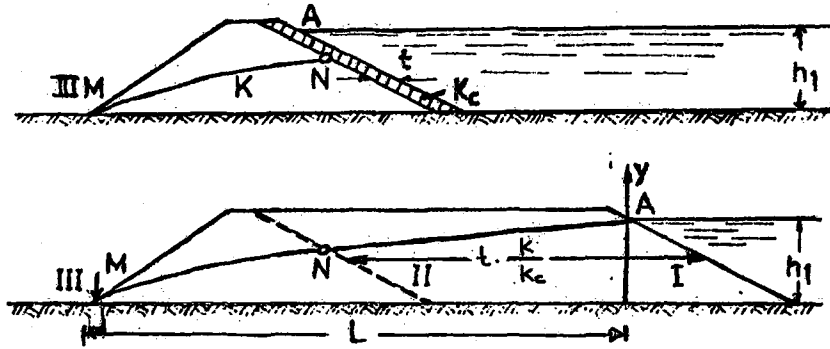
Çekirdeğin boyutlandırılması için Şekil 3.7' de görüldüğü gibi çekirdeğin iskelet bölgesinin geçirgenliğine göre k/k_c oranında büyütülmüş homojen dolgu olduğu kabul edilir. Böylece çekirdek genişliği $t \cdot (k/k_c)$ kadar olur. Yani çekirdekteki yük kaybının ne kadar uzunluktaki iskelet kısmında meydana gelir düşüncesinden hareket edilmektedir. Bu durumda üniform tek malzemedan ibaret dolgu barajların hidrolik hesabındaki gibi hareket edilir.

Keza , dolgu barajlarda geçirimsizliği temin eden çekirdek bölgesine hazne tarafındaki su yükünün tesiri ile malzemenin geoteknik özelliklerine bağlı olarak belirli bir sızma ve akım meydana gelir. Çekirdek bölgesinden mansap tarafa geçen sızma sularının akım kuvveti , çekirdek malzemesinin kopma mukavemetini geçerse toprak daneleri yumak halinde sürüklenir. (Göğüş.E. 1975)

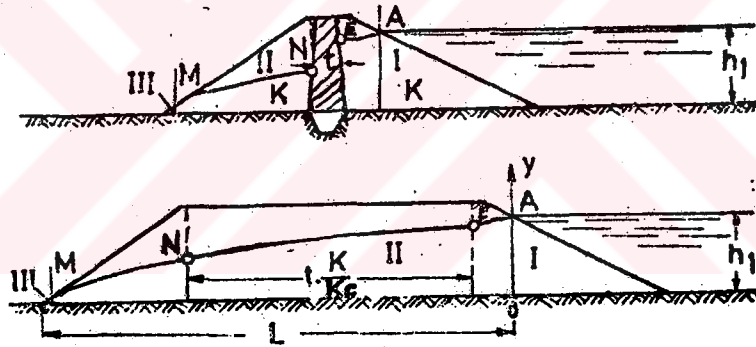
Böylece çekirdeğin kalınlığı, malzemenin kopma mukavemeti ve hidrolik eğim vasıtası ile de tayin edilebilir.



a) Homojen dolgulu baraj kesiti



b) Kil çekirdekli dolgu baraj kesiti



c) Menba kısmı geçirimsiz dolgu baraj kesiti

Şekil 3.7 Çekirdeğin boyutlandırılması (Davidenkoff, R. 1964)

3.6. Toprak Dolgu Barajların Yıkılma Sebepleri

Dolgu barajların yıkılma nedenleri adet ve yüzde olarak Tablo 3.11' de verilmektedir. Tablo 3.11' ye göre yıkılma nedenlerinin en önemlisi dolgu

gövdesi üzerinde feyazan sularının aşmasıdır. Böyle bir hadisenin meydana gelmemesi savaklama tesislerinin küçük kapasiteli boyutlandırılması veya akarsuyun hesaplanan maksimum feyazan debisinden çok daha fazla debi geçmesiyle mümkündür.

İnsanların hidroloji ile ilgili bilgilerinin çok az olması ve dolayısıyla tabiat şartları ile mücadelede çok uzak bulunmaları , feyazan debisinin yanlış hesaplandığını gösterir. Mesela ; bir barajın savak kapasitesi bin yıllık ihtimale göre hesaplanırsa beş bin yıllık debinin de bir kaç sene sonra geçeceği düşünülürse dolgu barajın hasar görmesi normaldir.

Tablo : 3.11 Dolgu barajların yıkılma sebepleri (Bilgin,M. 1972)

Yıkılma sebepleri	Adet	%
Baraj seddinin üstünden su aşması	60	29
Borulanma	48	23
Aşırı sızma	25	12
Temel ve şev kayması	14	7
Oturmalar	10	5
Aşırı boşluk suyu basıncı	4	2
Diğerleri	41	22

Diğer yıkılma nedenlerinden olan borulanma, aşırı sızma ve şev kaymaları %42' ye varmakla beraber doğrudan doğruya projelendirme hataları ile bağlantılıdır. Dolayısıyla bu yönde bir çalışma yapmanın uygun olacağı mümkündür.

4. ŞEVLERİN STABİLİTESİ

4.1. Dünyada ve Türkiye' de Şev Kaymaları

Şev kaymalarının en önemli yönü genellikle önceden tahmin edilememesi ve onarılması güç olaylarla büyük maddi zararlar vermesidir.

1963 yılında İtalya' da Venedik yakınında 265 m. yüksekliğindeki ince kemer tipi Vaiont baraj gölü içerisinde meydana gelen kayma olayında $250 \times 10^6 \text{ m}^3$ toprak ve kaya kayarak , iki dakika gibi bir kısa sürede baraj gölünü doldurmuştur. Göl suyu, baraj gövdesi üzerinden tahminen 100 m yüksekliğinde bir dalga yaparak taşmış ve 2600 kişinin ölmesine neden olmuştur. Vaiont olayı kayma probleminin önemini açıklayan en feci örneklerdendir.

Türkiye' de İstanbul - Bolu ve Yalova - Bursa arasında ya da Marmara ve Karadeniz kıyılarında görülen kaymalar , 1929 yılında Doğu Karadeniz Bölgesinde ağır can ve mal kaybına sebep olan kaymalar , 1950 yıllarında Trabzon yakınındaki Sera heyalası ve 1979 yılındaki Kanlıdere kayması, 1974 yılında Bingöl - Genç yakınlarında demiryolu tünel çıkışında meydana gelen akma ve kaymalar önemli şev kayması olaylarıdır. (Önal, A. 1982)

4.1.1. Şevlerin stabilitesine etki eden faktörler

Şevlerin stabilitesi, ortamın mekanik özellikleri yanında iklim ve bitki örtüsü gibi çevre şartlarına da bağlıdır. Uzun süre dengede kalan yamaçlar, kazı, drenaj şartlarını değiştirme, bitki örtüsünü kaldırma gibi müdahalelerle dengesini kaybedebilmektedir.

Dengeye etki eden faktörlerin en önemlileri, dane şekline ait özellikler, bileşim, jeolojik yapı, yeraltı suyu basıncı ve gerilme durumudur. Bunların herhangi birinde değişimin meydana gelmesi, dengenin bozulmasına neden olur. Şevlerde gerilme artışının nedenleri aşağıdaki gibidir;

- a) Topuğa yakın bölgede malzeme artışı,
- b) Şev üstündeki yüklerin artışı,
- c) Çekme çatlaklarına su dolması,
- d) Boşluk suyu basıncındaki artış,
- e) Deprem ve diğer titreşim ivmeleri,
- f) Şev dışındaki su seviyesinde düşme,
- g) Giderek kırılma olayıdır.

Dirençin azalması da dengeye etki eden önemli bir faktördür. Dirençteki azalmanın nedenleri aşağıdaki gibidir ;

- a) Aşınma ve yıpranma,
- b) Kil malzemenin şişmesi,
- c) Kuru ortamdaki ani ıslanma, yapının bozulması ,
- d) Zaman ve hareket sonucu direnç kaybı ,
- e) Bağlayıcı malzemenin yıkanması,
- f) Süreksizlik yüzeylerinde su basıncı olarak sayılabilir.

4.2. Stabilite Analizinin Temel İlkeleri

4.2.1. Analiz metotlarını sınıflandırma

Şevlerin stabilite analizi için çeşitli metotlar verilmiştir. Literatürdeki stabilite analiz metotları genel olarak iki grupta toplanmaktadır.

I. Kayma anında , toprak kitlesi içindeki gerilmeleri ve bu gerilmelerin dağılımını inceleyen **limit gerilme** metodu.

II. Muhtemel bir plastik kayma yüzeyi kabul ederek bu yüzey dışındaki gerilmeleri hesaba katmaya **limit denge** metodu denir.

Teorik analiz metotlarından başka deneysel olarak stabilite analizi yapmaya yarayan bir diğer metot da **model deneyleri** ile yapılan çalışmalardır. (Türke, H.1964)

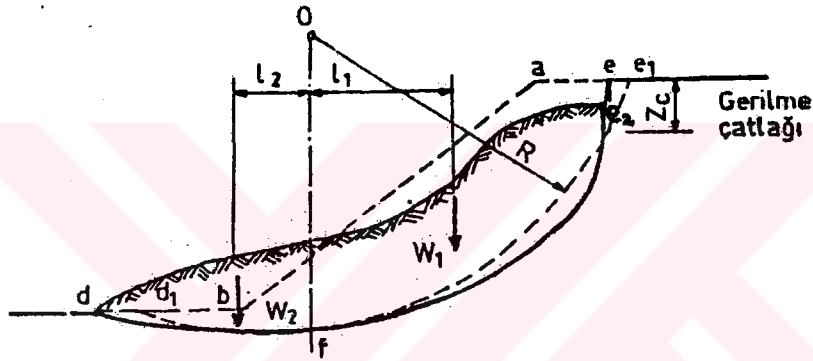
Elastisite teorisine dayanan birinci gruptaki analiz metotlarında , analizi yapılan yüzeyde oluşan birim gerilmelerle , kayma mukavemeti arasında denge tesisine çalışılır. Bu konuda çeşitli araştırmalar yapılmış fakat tam bir çözüm elde edilememiştir.

İkinci gruptaki limit dengeye göre yapılan stabilite analizlerinde muhtemel bir kayma yüzeyi alınır. Hesaplamalar bu kayma yüzeyi üzerindeki dengiyi sağlayan kuvvetlere ve kaymaya sebep olan kuvvetlere göre yapılır.

Bu çalışmada pratikte daha çok kullanılan ikinci gruptaki limit denge prensibine dayanan metotlar , dairesel kayma yüzeyi kabulü ile incelenecektir.

4.2.2. Kaymış bir şevde güvenlik sayısının tesbiti

Kaymış bir şevde hesaplar yapılırken ilk olarak kayma yüzeyi tesbit edilir ve bundan faydalanılarak bu yüzey boyunca oluşan kayma mukavemeti bulunur. Bunun için kayma yüzeyi ile sınırlanmış zemin kütlesindeki kuvvetler hesaplanarak güvenlik sayısı aşağıdaki gibi hesaplanır. (Terzaghi,1967)



Şekil 4.1 Kaymış bir şevde kayma yüzeyinin şekli (Terzaghi, 1967)

Şekil 4.1 kaymış bir şevde kayma yüzeyinin şeklini ve kaymış bir toprak kütlesini göstermektedir. Buradaki gerilme çatlığının derinliği,

$z_c = 2c / \gamma$ ve kayma yüzeyinin şekli arazi ölçümleri ile belirlenebilir.

Hesaplarda gerçekteki kayma yüzeyine en iyi uyabilen O merkezli ve R yarıçaplı daire yayı kayma yüzeyi olarak alınırsa,

$$W_1 \cdot l_1 = W_2 \cdot l_2 + s \cdot r \cdot \widehat{d_1 e_2} \quad (4.1)$$

buradan "s" çekilirse,

$$s = \frac{W_1 \cdot l_1 - W_2 \cdot l_2}{r \cdot \widehat{d_1 e_2}} \quad (4.2)$$

W_1 , " a k f e " nin ağırlığıdır. W_2 ise " k b d 1 f " in ağırlığıdır. Şevin güvenlik sayısı, G_s

$$G_s = \frac{\text{Harekete karşı koyan kuvvetler}}{\text{Harekete sebep olan kuvvetler}} \quad (4.3)$$

Bu tanımdan yararlanarak,

$$G_s = \frac{s \cdot r \cdot d_1 \cdot e^2}{W_1 \cdot l_1 - W_2 \cdot l_2} \quad (4.4)$$

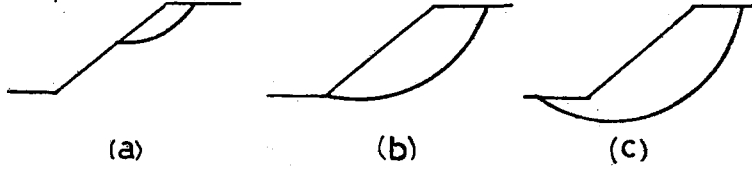
Böylece kaymış bir şevdeki mukavemet değeri bulunarak stabil bir şev projelendirilmesi için yapılacak hesaplarda bu güvenlik sayısı değerinden yararlanılır. (Terzaghi, 1967)

Genellikle stabilite analizi yapılırken, kayma yüzeyi daire yayı olarak alınır.

4.2.3. Kayma yüzeyi tipleri

Kohezyonlu zeminlerde kaymalar genellikle Şekil 4.1 ' de görüldüğü gibi şevin üst topuğunda oluşan gerilme çatlaklarını takibeder. Kaymış bir şevde, kayma yüzeyinin eğrilik çapı, genellikle üst kısımda küçük, ortada en büyük, alt kısımda ise ikisi arasındadır. Bu nedenle kayma yüzeyi bir elips yayına benzemektedir.

Kayma hareketi eğik yüzeyin bir kısmında görülüyorsa buna şev heyalanı, kayan kısım eğik yüzeyin tümünü kapsayıp , kayma yüzeyi eğik yüzeyin topuğunda geçiyorsa bu tür kaymaya da topuk kayma yüzeyi altındaki sağlam zemine değerek geçerse bu tür kayma hareketine taban heyalanı denir. Şekil 4.2

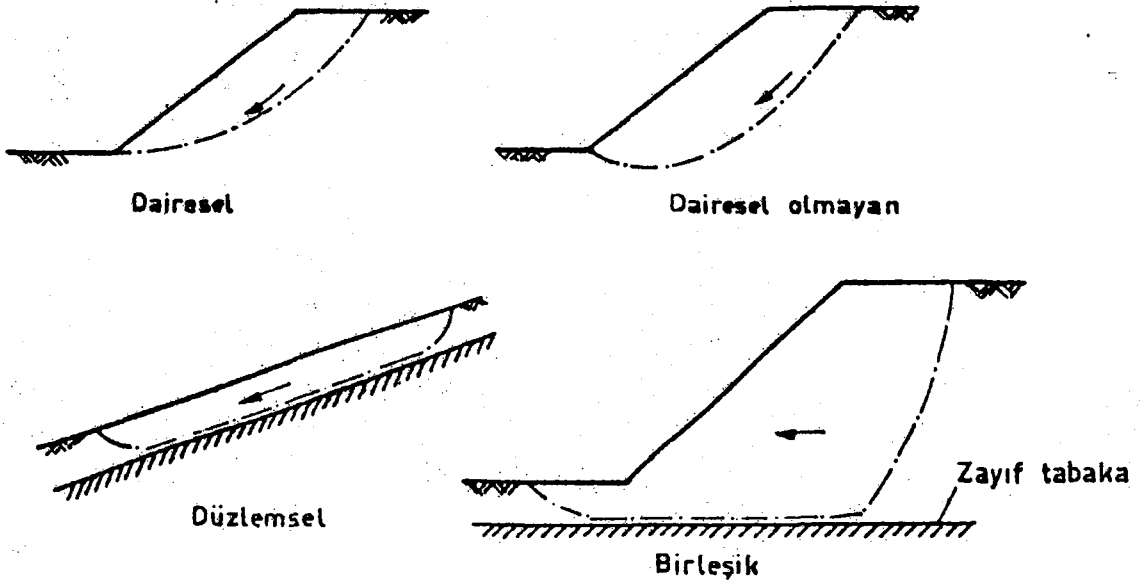


a) Şev kayması b) Topuk kayması c) Taban göçmesi

Şekil 4.2 Şev kaymaları (Smith, M. 1981)

Stabilite analizlerinden kayma yüzeyleri genellikle daire olarak alınır. Fakat bazı hallerde kayma yüzeyinin yeri ve şekli mevcut zayıf tabakaların etkisi ile değişebilir. Böyle hallerde dairesel olmayan bileşik (bir kaç doğrudan meydana gelmiş) kayma yüzeyleri mevcuttur. Kayma yüzeyleri,

- a) Dairesel
- b) Dairesel olmayan
- c) Düzlemsel
- d) Birleşik şeklinde olabilir.



Şekil 4.3 Kayma yüzeyi tipleri (Utku, 1975)

4.2.4. Kritik kayma yüzeyinin tayini

Dairesel kaymaların analizi yapılırken,

a) Kayma yüzeyi dairesel ve bunun bir merkez etrafında döndüğü kabul edilir.

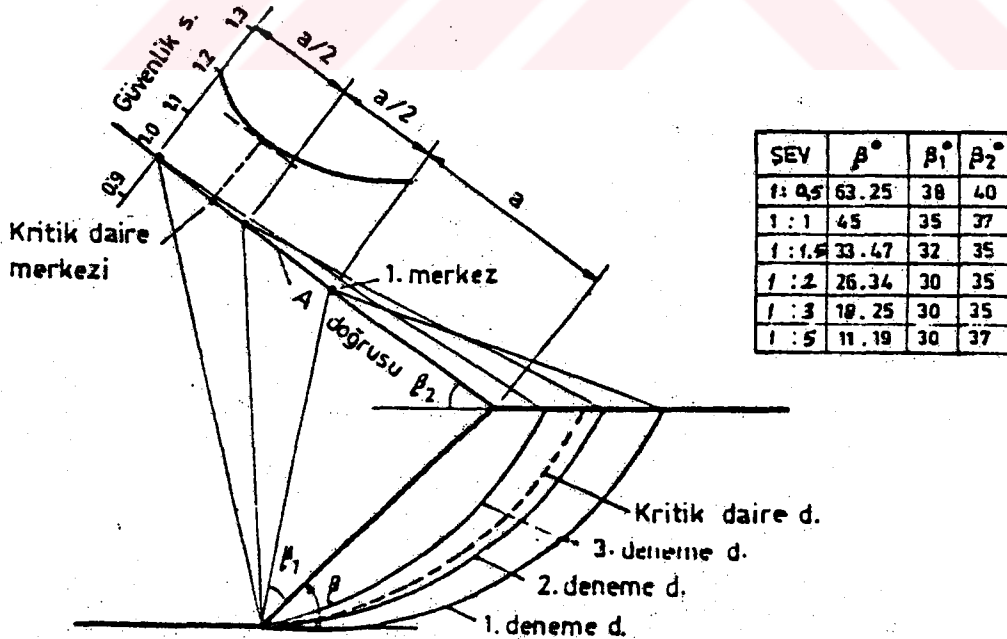
b) Bu yüzey üzerinde etkiyen kuvvetlerin dengesi araştırılır.

c) En kritik kayma yüzeyi elde edilene kadar bu işleme devam edilir.

Verilen bir şevde kritik kayma yüzeyinin tespiti oldukça güçtür. Bunu tayin etmek için bazı yaklaşımlar verilmiştir.

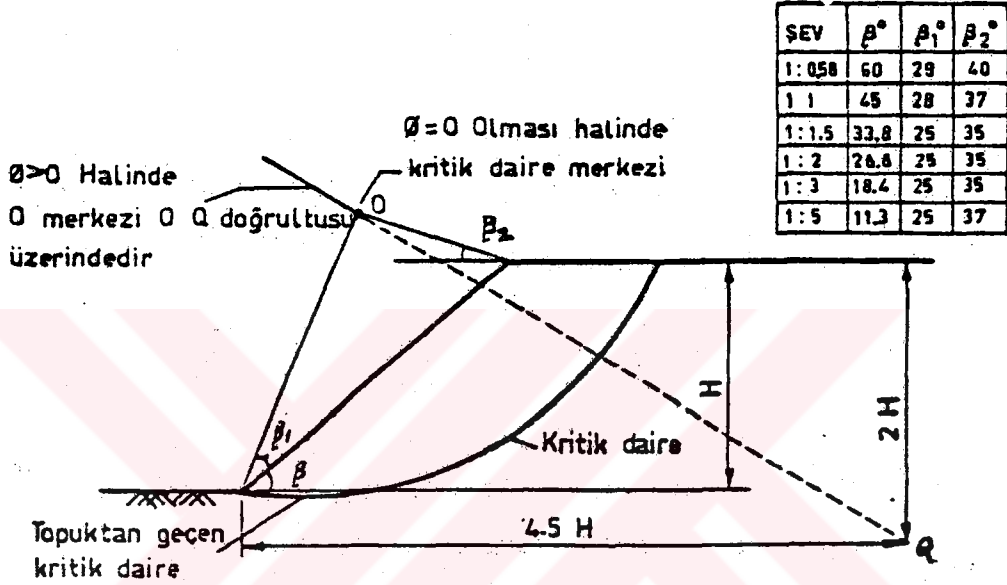
İlk yaklaşım olarak kritik daire merkezi Şekil 4.4 ' teki gibi bulunabilir.

Şev açısına bağlı olarak bulunan daire merkezini ilk deneme dairesi merkezi olarak alırsak, bunu takip eden deneme dairelerinin merkezleri A doğrusu boyunca ve ilk merkezin solunda olacaktır.



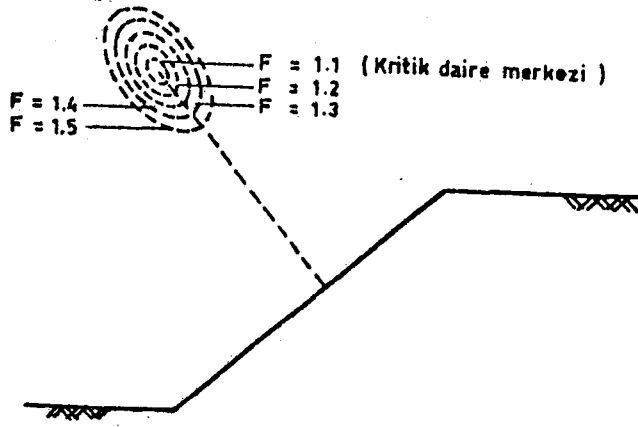
Şekil 4.4 Deneme dairelerinin yerleştirilmesi (Özal, 1966)

Fellenius tarafından verilen bir diğer methodda ϕ açısına bağlı olarak verilen açılar yardımıyla kritik daire merkezi bulunabilmektedir. Şekil 4.5 ' te Fellenius metodu ile kritik dairenin topuktan geçmesi halinde daire merkezinin bulunması gösterilmektedir.



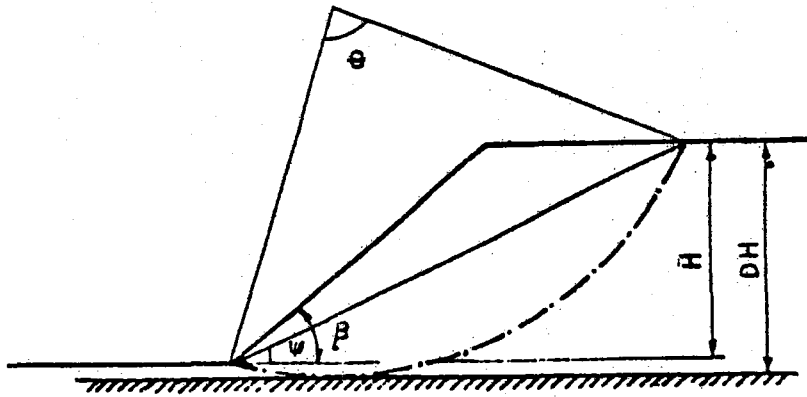
Şekil 4.5 Kritik dairenin yerleştirilmesinde fellenius metodu

Genellikle limit denge analizlerinde minimum güvenlik sayısını veren kayma dairesi kritik kayma yüzeyi olarak alınmaktadır. Minimum güvenlik sayısını veren kayma dairesi çeşitli denemeler sonucu bulunur. Denemeler sonucu eşit güvenlik sayılarını veren kayma dairelerinin merkezleri birleştirilerek eş güvenlik sayısı eğrileri çizilir. Bunlar yardımıyla minimum güvenlik sayısını veren kayma dairesinin merkezi Şekil 4.6 ' da görüldüğü gibi tayin edilir.



Şekil 4.6 Kayma dairelerinin merkezleri ve eş güvenlik sayısı eğrileri

TAYLOR tarafından \emptyset dairesi metodu analitik çözümünün toplam gerilmelere dayanılarak uygulanmasıyla yapılmış çok sayıdaki araştırma sonuçlarından derlenen değerler tablo halinde verilmiştir. Tablo 4.1 'deki değerler yardımıyla kritik kayma yüzeyi daha pratik olarak bulunabilmektedir.



Şekil 4.7 Taylor' a göre kritik daire merkezinin yeri

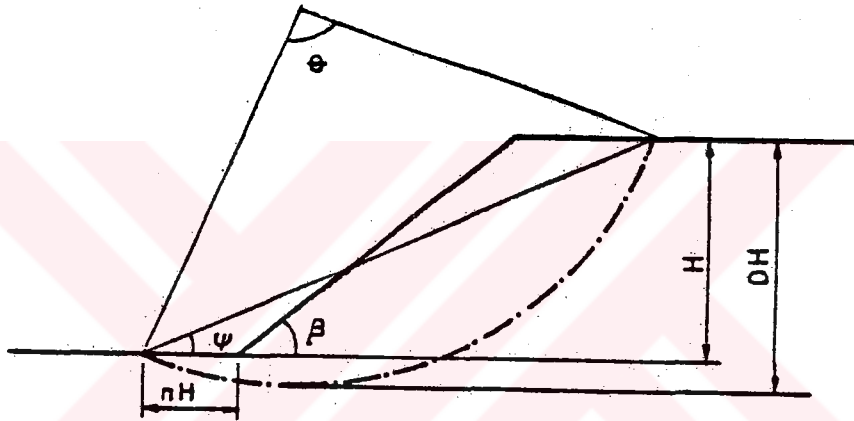
Tablo : 4.1 Kritik Daire Merkezi İçin Veriler (Capper, P.L. , 1969)

Şev Açısı β	Kayma mukameti Açısı ϕ	Kritik daire merkezini tayin eden açılar :		Faktör n	Derinlik Faktörü D	Stabilite sayısı $\frac{1}{N_3} = \frac{c}{\gamma \cdot H}$
		ψ	θ			
90	0	47.6	30.2	-	-	0.261
	5	50.0	28.0	-	-	0.239
	10	53.0	27.0	-	-	0.218
	15	56.0	26.0	-	-	0.199
	20	58.0	24.0	-	-	0.182
	25	60.0	22.0	-	-	0.166
75	0	41.8	51.8	-	-	0.219
	5	45.0	50.0	-	-	0.195
	10	47.5	47.0	-	-	0.173
	15	50.0	46.0	-	-	0.152
	20	53.0	44.0	-	-	0.134
	25	56.0	44.0	-	-	0.117
60	0	35.3	70.8	-	-	0.191
	5	38.5	69.0	-	-	0.162
	10	41.0	66.0	-	-	0.138
	15	44.0	63.0	-	-	0.116
	20	46.5	60.4	-	-	0.097
	25	50.0	60.0	-	-	0.079
45	0	(28.2)	(89.4)	-	(1.062)	(0.170)
	5	31.2	84.2	-	1.026	0.136
	10	34.0	79.4	-	1.006	0.108
	15	36.1	74.4	-	1.001	0.083
	20	38.0	69.0	-	-	0.062
	25	40.0	62.0	-	-	0.044
30	0	(20.0)	(106.8)	-	(1.301)	(0.156)
	5	23.0	(96.0)	-	(1.161)	0.110
	5	20.0	106.0	0.29	1.332	0.110
	10	25.0	88.0	-	1.092	0.075
	15	27.0	78.0	-	1.038	0.046
	20	28.0	62.0	-	1.003	0.025
	25	29.0	50.0	-	-	0.009
15	0	(10.6)	(121.4)	-	(2.117)	(0.145)
	5	(12.5)	(94.0)	-	1.549	(0.068)
	5	11.0	95.0	0.55	1.697	0.070
	10	(14.0)	(68.0)	-	(1.222)	0.023
	10	14.0	68.0	0.04	1.222	0.023

Not : Parantez içindeki değerler topuk altında geçen daha tehlikeli bir dairenin mevcudiyeti halinde , topukdan geçen en tehlikeli daire içindir.

Şevin topuğundan geçen en tehlikeli daire yayının merkezi Şekil 4.7' de gösterildiği gibi ψ ve θ açıları ile belirlenmektedir. (Çeşitli şevler için bu değerler Tablo 4.1 ' de verilmiştir).

Şev açısının (β) 53° ' den küçük, içsel sürtünme açısının (ϕ) sıfır veya çok küçük olması durumunda en tehlikeli daire, Şekil 3.8 ' de görüldüğü gibi topuğun altından geçer.



Şekil 4.8 Topuk altından geçen kayma dairesi şekli

4.3. Şevlerde Zeminlerin Genel Stabilite Özellikleri

4.3.1. Kohezyonsuz zeminlerde

Kum ve temiz bir kumdan meydana getirilmiş bir şevin stabilitesi şev yüksekliğinden tamamen bağımsızdır. Sadece şevin yatayla yaptığı " β " açısının, içsel sürtünme açısı ϕ ' ye eşit olması gerekir.

Eğer kum gevşek durumda ise $\beta < \emptyset$ olmalıdır. Böylece şevin kaymaya karşı güvenliği aşağıdaki gibidir.

Şev açısı " β " olan bir kum şevin, şev yüzeyinde " W " ağırlığında bir elaman gözönüne alalım,

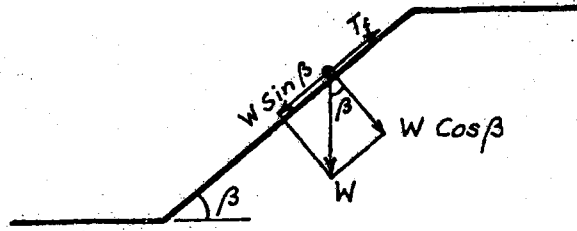
$W \cdot \sin\beta$, kuvveti bu elamanı aşağı doğru yuvarlamak ister. Buna karşı duran sürtünme kuvveti, temas sathına dik ve $W \cdot \cos\beta$ kuvveti ile $\text{tg}\emptyset$ sürtünme katsayısının çarpımına eşittir.

$$W \cdot \cos\beta \cdot \text{tg}\emptyset \text{ olur.} \quad (4.5)$$

Harekete karşı, diğer bir deyimle, göçmeye karşı güvenlik sayısı,

$$G_s = \frac{W \cos\beta \cdot \text{tg}\emptyset}{W \cdot \sin\beta} = \frac{\text{tg}\emptyset}{\sin\beta/\cos\beta} = \frac{\text{tg}\emptyset}{\text{tg}\beta} \text{ olur.} \quad (4.6)$$

Limit denge halinde güvenlik sayısının ($G_s = 1$) olması için $\emptyset = \beta$ olmalıdır. Şevin stabilitesi için $\beta \leq \emptyset$ olmalıdır .

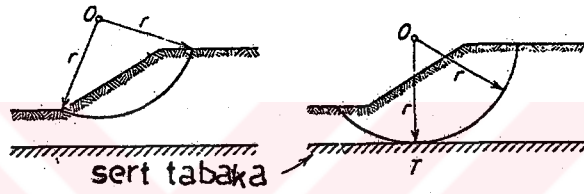


Şekil 4.9 Bir kum şevin stabilitesi (Kumbasar, 1985)

Tatbikatta tamamen kohezyonsuz bir zemine çok nadir rastlanıldığından kohezyonlu zeminlerdeki stabilite konusu daha önemlidir.

3.3.2. Kohezyonlu zeminlerde

Şekil 4.10 'da a ve b de şev kayması ve taban göçmesi durumları gösterilmiştir. Her iki figürde taban (alt kısım) ; kaya, çok katı (sağlam) kil veya diğer sağlam materyallerden ibaret olabilir. Eğer güvenlik sayısı tam "1" ise o şev daima stabildir.



Şekil 4.10 Şev ve taban kayması (Terzaghi, 1967)

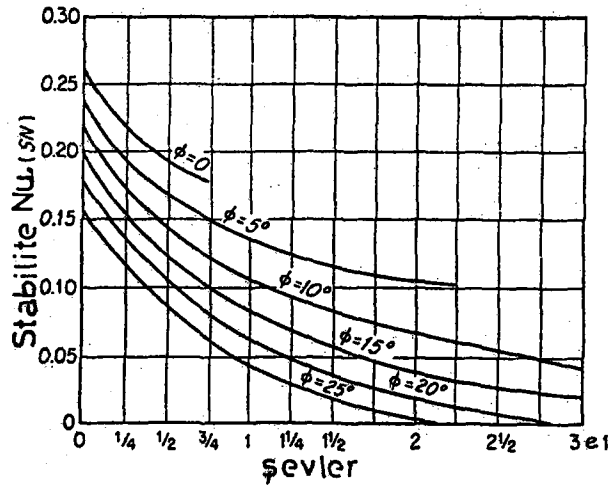
Kuru ve temiz şev yüzeylerinde ve kohezyonsuz malzemelerden (kum, çakıl, belirli uzunluktaki silt) ibaret şevlerde kayma meydana gelmez.

Genellikle zemin kütlesinin, kohezyon "c" ve içsel sürtünme açısı "Ø" ve birim ağırlık "γ" mevcut olduğu takdirde şevin kritik yüksekliği hakkında karar verilebilir. (Dimitri, P. 1967)

$$H_{cr} = \frac{1}{SN} \cdot \frac{c}{\gamma} \quad (4.7)$$

Burada "SN" stabilite numarasıdır. SN, içsel sürtünme açısı Ø' nin farklı emniyetler için bir değişkendir. Grafikte "SN" değerleri verilmiştir.

Şekil 4.11



Şekil 4.11 Şevlerin dikliğine karar vermek için grafik (Dimitri, 1967)

4.4. Stabilite Analiz Metodları

4.4.1. $\phi = 0$ Kabulü ile stabilite analizi

Suya doymun killerde $\phi = 0$ kabul edilir. Burada $\phi = 0$ kabulü yapılırsa,

$$\tau_f = c_u \quad (4.8)$$

olduğundan kaymaya karşı direnç, kilin kohezyonundan ibarattır. Bu tip problemler $\tan \phi = 0$ konularak, dilim metoduna ait formül ile de çözüm yapılabilir. Bu kabule göre yapılan stabilite hesapları " $\phi = 0$ Analizi" adını alır. Kayan kuvvetlerin toplam ağırlığı " W ", ağırlık merkezinin kayma dairesi merkezi O' ya uzaklığı " d " ise, toprak kamasını kaydıran kuvvetin " O " noktasına göre momenti,

$$W \cdot d \text{ olur.} \quad (4.9)$$

kayma yüzeyi (şekil düzeleminde daire yayı) uzunluğu "L" ise kaymaya karşı moment,

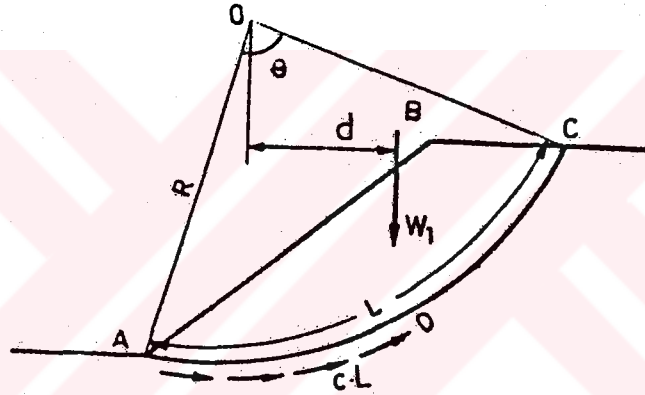
$$c \cdot L \cdot R \text{ olacaktır.} \quad (4.10)$$

Burada hesaplar birim kalınlığa göre yapılmaktadır. θ radyan cinsinden merkez açısı ise,

$$L = R \cdot \theta \text{ olup} \quad (4.11)$$

$$c \cdot L \cdot R = c \cdot R^2 \cdot \theta \quad (4.12)$$

yazılabilir. (Kumbasar, 1985)



Şekil 4.12 $\phi = 0$ Kabulü ile stabilite analizi

$\phi = 0$ analizinde kayma yüzeyi boyunca kohezyonun sabit olduğu kabul edilir ve kayma yüzeyi daireseldir.

Önce muhtemel kayma dairesi çizilir. Şekil 4.12 ' de görüldüğü gibi kayacak kütle için (ABCD) ağırlık merkezi ile kayma yayı merkezi arasında "d" mesafesi bulunur.

Güvenlik sayısı (G_s) kaymaya karşı kayan momentlerin kaydıran momentlere oranı olarak tanımlenir. Kayma yayı uzunluğu "L" ile gösterilirse güvenlik sayısı tanımından,

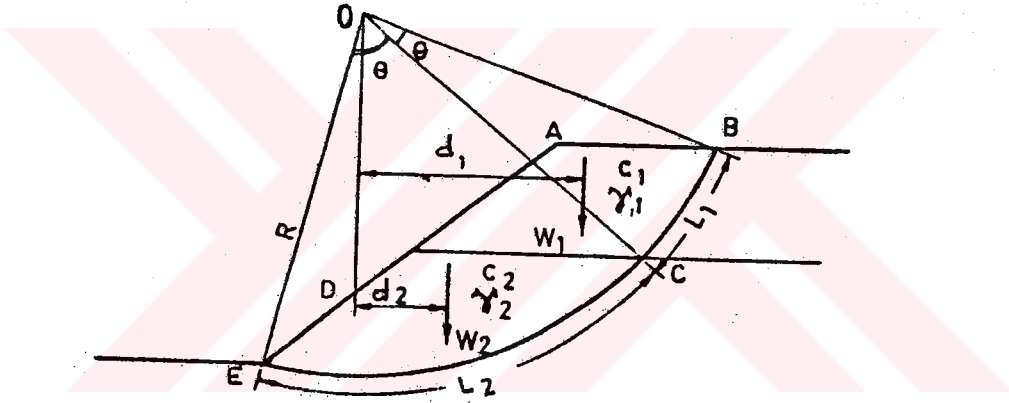
$$G_s = \frac{c \cdot R^2 \cdot \theta}{W \cdot d} \quad (4.13)$$

Verilen bu denklemler homojen malzemeli şevler için kullanılır. Zeminin, Şekil 4.13 'te görüldüğü gibi farklı özellikte tabakalardan oluşması durumunda ise her tabakanın özelliği alınarak güvenlik sayısı,

$$G_s = \frac{c_1 \cdot R \cdot L_1 + c_2 \cdot R \cdot L_2 + \dots}{W_1 \cdot d_1 + W_2 \cdot d_2 + \dots} = \frac{R \cdot \sum c \cdot L}{\sum W \cdot d} \quad (4.14)$$

bağıntısıyla hesaplanır. $L_1, L_2, L_3 \dots$ kayma yayı uzunlukları,

$$L_1 = R \cdot \theta_1, \quad L_2 = R \cdot \theta_2 \text{ dir.} \quad (4.15)$$



Şekil 4.13 Farklı zemin tabakalarının şevi oluşturması .

4.4.2. İsveç dilim metodu

Yarma ve dolguların şevlerinin stabilitesini araştırma metodlarının en basit ve en çok kullanılanı, ilk olarak İsveç Mühendisleri tarafından verilen "İsveç Metodu" olarak tanınmıştır. Burada kayma yüzeyi "O" merkezi etrafında dönen silindirik bir yüzey olarak kabul edilmiştir. Bu metod pratikte

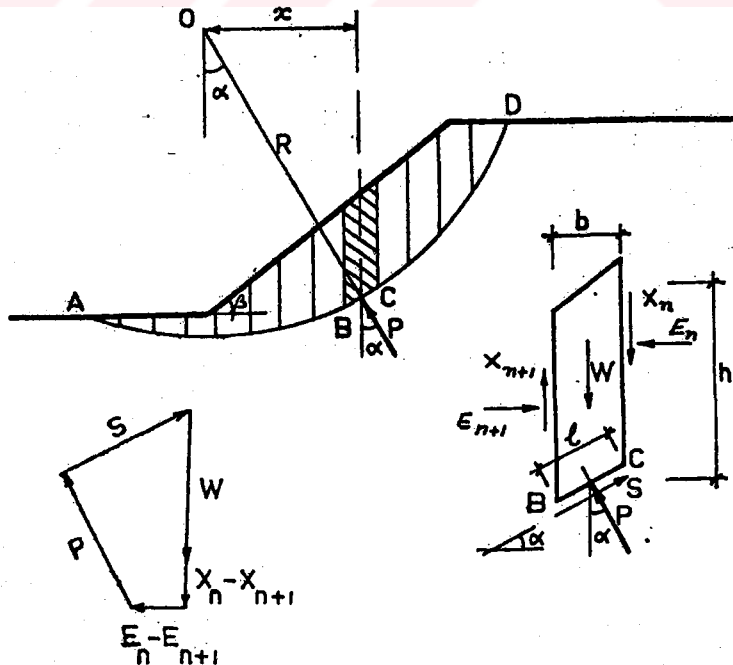
bulananlara yakinen uyan sonuçlar verir. Bu metod "Fellenius Metodu" olarak da isimlendirilir.

Dilim metodunda kayma yüzeyi dairesel silindirik kabul edilir. Metodun esası, kayan kütlelerin dilimlere ayrılması ve dilimlere etkiyen kuvvetlerin dengesi prensibine dayanır. Muhtemel kayma yüzeyleri alınarak her kayma yüzeyine ait güvenlik sayıları hesaplanır. En küçük güvenlik sayısını veren kayma yüzeyi kritik kayma yüzeyidir. (Tuna, A.1985)

Bu metotta ilk adım kayma yüzeyinin seçimidir. "O" merkezi yerinin seçimi başlangıçta bazı güçlükler doğurur. Fakat literatürde bir çok yöntem verilmiştir. Bu metot en çok su seviyesi üzerinde kalan ve kohezyonu yüksek olan zeminlere tatbik edilir.

Şekil 4.14' te görüldüğü gibi 8 ile 12 adet arasında düşey dilimlere ayrılır. Bir dilime etkiyen kuvvetler şekilde gösterilmiştir .

Bu metotta kayma yüzeyi dairesel silindiriktir. Ayrılan dilimler mümkün olduğu kadar eşit aralıklarda 3 m ile 4 m mesafesinde dilimlere ayrılır.



Şekil 4.14 Dilimlere ayırma ve dilime etkiyen kuvvetler

"O" merkezli ve R yarıçaplı birim kalınlıkta ve ABCD daire yayı ile sınırlı bir toprak kitlesinin dengesini düşünelim. Şev yüzüne herhangi bir kuvvet etkimektedir. Şu halde ABCD üzerindeki zemin ağırlığı, ABCD üzerine etkiyen kuvvetler arasında bir denge olmalıdır. Dilimlere etkiyen kuvvetler aşağıda belirtilmiştir;

1. E_n, E_{n+1} : n ve n+1 kesitlere etkiyen toplam kuvvet.
2. X_n, X_{n+1} : Aynı kesitlere etkiyen düşey kesme kuvveti.
3. W : Dilim ağırlığı, $W = \gamma \cdot b \cdot h$, $T = W \cdot \sin\alpha$.
4. N : Dilim tabanına etkiyen normal kuvvet, $N = W \cdot \cos\alpha$.
5. S : Dilim tabanındaki toplam kayma kuvveti, $S = \tau_m \cdot l$.
6. h : Dilimin yüksekliği .
7. b : Dilimin genişliği.
8. l : BC daire yayı uzunluğu.
9. α : BC ile yatay arasındaki açı .
10. x : Dilimin "O" noktasından olan yatay uzaklığı .

Dilim tabanındaki efektif normal gerilme ;

$$\sigma = \sigma' - u = \frac{N}{l} - u \quad (4.16)$$

Efektif gerilmeler cinsinden kayma mukavemeti ise ,

$$\tau_f = c' + \sigma' \cdot \tan \phi' \quad (4.17)$$

Güvenlik sayısı G_s ile gösterilirse , harekete geçecek kayma mukavemeti ,

$$\tau_m = \frac{\tau_f}{G_s} = \frac{1}{G_s} \cdot (c' + \sigma' \cdot \tan \phi') \quad (4.18)$$

ABCD zemin kütlesinin dengede olması şartından dolayı kayma dairesinin "O" merkezine alınan momentlerinin toplamı sıfıra eşit olmalıdır.

$$\Sigma W . x = \Sigma s . R \quad (4.19)$$

$$\Sigma W . x = \Sigma \tau_m . l . R \quad (4.20)$$

4.18 bağıntısıyla verilen harekete geçecek kayma mukavemeti değeri 4.20 bağıntısında yerine yazılırsa ,

$$\Sigma W . x = \Sigma \frac{l . R}{G_s} . (c' + \sigma' . \tan \emptyset') \quad (4.21)$$

Buradan güvenlik sayısı çekilirse ,

$$G_s = \Sigma \frac{l . R}{\Sigma W . x} . (c' + \sigma' . \tan \emptyset') \quad (4.22)$$

bulunur. σ' değeri yerine 4.16 bağıntısıyla verilen değeri , x ve N değerleride yerine yazılırsa ,

$$x = R . \sin \alpha \quad (4.23)$$

$$N = W . \cos \alpha - u . l \quad (4.24)$$

$$G_s = \frac{1}{\Sigma W . \sin \alpha} . \Sigma [c' . + (W . \cos \alpha - u . l) . \tan \emptyset'] \quad (4.25)$$

olarak güvenlik sayısı bulunur. Şev yüzeyine hiç bir dış kuvvet etkimeydiğinden ,

$$\Sigma (x_1 - x_2) = 0 \quad (4.26)$$

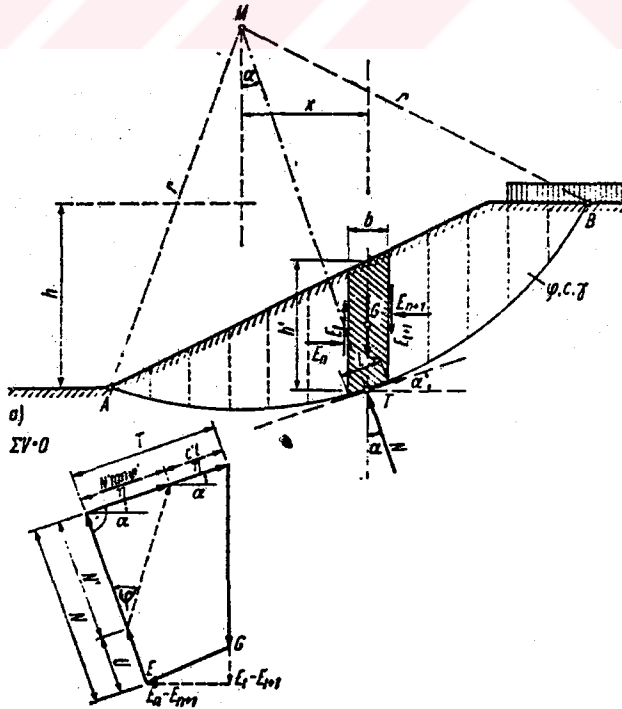
$$\Sigma (E_1 - E_2) = 0 \quad (4.27)$$

4.25 bağıntısı ile G_s çabuk ve doğrudan doğruya hesaplanabilmektedir. Bu şekilde hesaplanan güvenlik sayısı daha emniyetli taraftadır. Ve dolayısıyla derin kayma dairelerinde α' daki değişme büyük olacağından bununla yapılacak projelendirme ekonomik olmaz. Bu hatayı önlemek için Bishop (Kumbasar , V. 1985) tarafından yanal kuvvetleri de gözönüne alan bir metot geliştirmiştir.

4.4.3. Bishop metodu

Geçirgenliği düşük olan zeminlerde suyun drene olması uzun zaman içerisinde gerçekleşir. Yerüstü maden işletmelerinde ve oto yollarda olduğu gibi uzun vadede stabilitesini korumaları beklenen şevlerde efektif gerilmeler cinsinden hesaplanmış makaslama dayanımı parametreleri önem taşır. Drenaja müsaade edilerek yapılan direk zemin makaslama testi ile veya gözenek suyu basıncı ölçülerek yapılan üç eksenli sıkışma testi ile belirlenir.

Yukandaki esaslara göre önerilmiş olan Bishop yönteminde kayan kütle dilimlere ayrılarak önce dilimin tek tek, daha sonra tüm kütlelerin stabilitesi hesaplanır. Bishop yöntemi dilim metoduna benzer, fakat efektif gerilmeler kullanılır. Şekil 4.16' da gösterilmiştir. Emniyet katsayısının büyüklüğü kabul edilen kayma düzlemi boyunca kuvvetlerin dengesi prensibine göre emniyet katsayısı çözülür. (Strigler, 1969)



Şekil 4.16 Bishop' a göre emniyet katsayısının tayini

Mevcut kayma mukavemeti;

$$\tau_s = (\sigma - u) \cdot \operatorname{tg}\varnothing_e + c_e \quad (4.36)$$

Burada \varnothing_e ve c_e laboratuvar araştırmalarında elde edilen kayma mukavemeti parametreleridir.

$$\sigma_e = \text{Efektif gerilme} = \sigma - U$$

$$U = \text{Boşluk suyu basıncı}$$

$$\sigma = \text{Toplam gerilme}$$

Emniyet katsayısı G_s kayma mukavemeti gerilmesinin mevcut kayma gerilmesine oranı ile elde edilir;

$$G_s = \tau_s / \tau \quad (4.37)$$

ve

$$\tau = [(\sigma - u) \cdot \operatorname{tg}\varnothing_e + c_e] \cdot 1 / G_s \quad (4.38)$$

yazılır.

Dilime tesir eden aşağıdaki kuvvetlerin dengede bulunması gerekir.

W ağırlık kuvveti, E_n ve E_t dilim yanal yüzeyindeki toprak basınç kuvveti, T ve N kayma yüzeyi reaksiyon kuvvetleri,

$$\sigma = N / l \quad \text{yay elamanındaki gerilme} \quad (4.39)$$

Denge şartından dolayı $\sum M = 0$ olmalı . Bu nedenle kaymayı meydana getiren kuvvetlerle önleyici kuvvetlerin momentleri eşit olur.

$$\sum W \cdot x = \sum T \cdot R \quad (4.40)$$

$$T = \tau \cdot l \quad \text{olduğundan} \quad (4.41)$$

$$\tau = (\sum W \cdot x) / (\sum L \cdot R) \quad \text{yazılır.} \quad (4.42)$$

$$U = u \cdot L \quad (\text{boşluk suyu basınç kuvveti})$$

$$T = \tau \cdot L \quad (\text{dilim teyet kuvveti})$$

$$L = \text{Dilimin taban uzunluğuş}$$

a ve b denklemlerinin eşitliğinden ve $\sigma \cdot L = N$ olduğundan,

$$G_s = \frac{R}{\sum W \cdot x} \cdot \sum [c_e \cdot L + (N - u \cdot L) \cdot \operatorname{tg}\varnothing_e] \quad (4.43)$$

yazılır ve düşey kuvvetlerin denge şartından ,

$$N \cdot \cos \alpha + T \cdot \sin \alpha = W + (E_{t+1} - E_t) \quad (4.44)$$

$$E_{t+1} - E_t + W = u \cdot L \cdot \cos \alpha + N' \cdot \cos \alpha + \frac{N' \cdot \operatorname{tg} \varnothing_e \cdot \sin \alpha}{G_s} + \frac{c_e \cdot L \cdot \sin \alpha}{G_s} \quad (4.45)$$

$$N - u \cdot L = N' = \frac{W - u \cdot L \cdot \cos \alpha - \frac{c_e \cdot L}{G_s} \cdot \sin \alpha + (E_{t+1} - E_t)}{\cos \alpha + (\operatorname{tg} \varnothing_e \cdot \sin \alpha) / G_s} \quad (4.46)$$

$$x = R \cdot \sin \alpha \quad , \quad b = L \cdot \cos \alpha \quad , \quad u \cdot b / W = u / \gamma \cdot h = r_u$$

bu değerler denklemin 4.46' da yerine yazılırsa ,

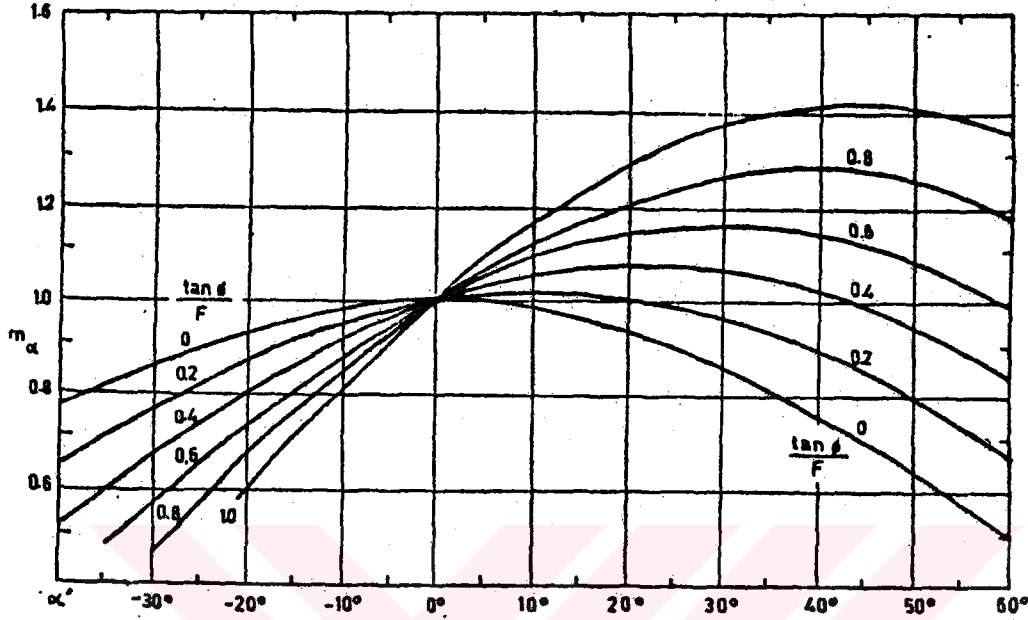
$$G_s = \frac{R}{\sum W \cdot x} \cdot \sum \left[c_e \cdot L + \operatorname{tg} \varnothing_e \cdot \frac{W - u \cdot L \cdot \cos \alpha - c_e \cdot L \cdot \sin \alpha}{\cos \alpha + (\operatorname{tg} \varnothing_e \cdot \sin \alpha) / G_s} \right] \quad (4.47)$$

$E_{t+1} - E_t = 0$ olduğundan ,

$$G_s = \frac{R}{\sum W \cdot \sin \alpha} \cdot \sum \left\{ [c_e \cdot b + W \cdot (1 - r_u) \cdot \operatorname{tg} \varnothing_e] \cdot \frac{\sec \alpha}{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varnothing_e + 1 + \frac{\operatorname{tg} \varnothing_e \cdot \sin \alpha}{G_s}} \right\} \quad \dots (4.48)$$

Bishop'a göre hata %1' den daha küçük olduğundan $E_{t+1} - E_t$ ihmal edilir. G_s değeri tablo hazırlanarak tatonmanla çözülür. Program yapılarak çok basit olarak çözüm yapılabilir .

4.4.3.1. α Açısına ve $\frac{\tan \phi'}{G_s}$ değerine bağlı olarak G_s ' nin tayini



Şekil 4.17 m α Değerlerini veren grafik

$$R \cdot \sum W \cdot \sin \alpha = R \cdot \sum S \quad (4.49)$$

Eğer kütle boyunca uzunluğundaki kayma gerilmesi "S" ise,

$$S = \frac{s}{G_s} \cdot l = \frac{s \cdot b}{G_s \cdot \cos \alpha} \quad (4.50)$$

ve bu sebepten,

$$R \cdot \sum W \cdot \sin \alpha = \frac{R}{G_s} \cdot \sum \frac{s \cdot b}{\cos \alpha} \quad (4.51)$$

kayma mukavemeti s ise bununla birlikte,

$$s = c + \sigma \cdot \tan \phi' \quad (4.52)$$

burada s , kayma yüzeyinin karşısındaki normal gerilmedir.

$$W = S \cdot \sin \alpha + N \cdot \cos \alpha \quad (4.53)$$

$$\sigma = N/l = (N \cdot \cos \alpha) / b = \frac{W}{b} - \frac{S}{b} \cdot \sin \alpha \quad (4.54)$$

böylece,

$$s = c + \left(\frac{W}{b} - \frac{S}{b} \cdot \sin \alpha \right) \cdot \operatorname{tg} \emptyset = c + \left(\frac{W}{b} - \frac{S}{G_s} \cdot \operatorname{tg} \alpha \right) \cdot \operatorname{tg} \emptyset \quad (4.55)$$

$$s = \frac{c + (W/b) \cdot \operatorname{tg} \emptyset}{1 + (\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \emptyset) / G_s} \quad (4.56)$$

Burada,

$$m_\alpha = \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \emptyset}{G_s} \right) \cdot \cos \alpha \quad (4.57)$$

Sonuç,

$$G_s = \frac{\sum \frac{[c + (W/b) \cdot \operatorname{tg} \emptyset] \cdot b}{m_\alpha}}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (4.58)$$

veya,

$$G_s = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \alpha} \cdot \sum \left\{ [c' \cdot b + (W - u \cdot b) \cdot \operatorname{tg} \emptyset'] \cdot \frac{1}{m_\alpha} \right\}$$

4.4.4. Ø Dairesi metodu

Ø içsel sürtünmesine haiz bir zeminde meydana gelen bir kaymada normal kuvvetler sürtünmeden dolayı normalden bir Ø açısı kadar saparlar. Bu yeni doğrultular "O" merkezli ve $R \cdot \sin \emptyset$ yarıçaplı daireye teğet olurlar.

Şekil 4.18 ' de verilen kayma yüzeyi üzerinde l uzunluğunda bir "ab" elamani alınrsa , bu elamana etkiyen kuvvetler ,

- c_1 : Birim kohezyon
 c : Zemin kohezyonu
 G_c : Kohezyona göre güvenlik sayısı
 G_ϕ : Sürtünmeye göre güvenlik sayısıdır

1. Normal kuvvet : $\sigma \cdot l$
 2. Kayma direnci : $c_m \cdot l$
 3. Kayma direnci bileşeni : $\sigma \cdot l \cdot \text{tg}\phi_m$

Eğer AB daire yayı boyunca devam eden kayma direncini AB kirişine dik olan bileşenlerin bileşkesi sıfır olacaktır. Bu nedenle AB kayma dairesine etki eden bileşke kayma direnci (kohezyon kuvveti) AB kirişine paralel olacaktır. Bu kuvvetin değeri ,

$$C = c_m \cdot l \quad (4.65)$$

Kayma dairesine etki eden bileşke kayma direncinin "O" merkezine göre momenti ise ,

$$C \cdot R_c = R \cdot \sum c_m \cdot l \quad (4.66)$$

olacaktır. AB kayma dairesinin uzunluğuna L_A dersek,

$$L_A = \sum l \quad (4.67)$$

değerini denklemde yerine yazarsak ,

$$c_m \cdot l \cdot R_c = R \cdot c_m \cdot L_A \quad (4.68)$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntıda "R_c" değeri çekilirse ,

$$R_c = \frac{L_A}{l} \cdot R \quad (4.69)$$

yazılır. R_c : Bileşke kohezyon kuvvetinin kayma dairesi merkezine uzaklığı.

(a - b) elamanına eti eden $\sigma . l$ ve $\sigma . l . \operatorname{tg} \theta_m$ kuvvetlerinin bileşkesi "O" merkezli ve $R . \sin \theta_m$ yarıçaplı daireye teğettir. Bu daireye " θ dairesi " denir. Dolayısıyla AB kayma dairesine etki eden $\sigma . l$ ve $\sigma . l . \operatorname{tg} \theta_m$ kuvvetlerinin de θ dairesine teğet olacağı kabul edilir.

Hesaplarda kayacak kütlenin ağırlığı (W_1)' in değeri bilinmemektedir. Bileşke kohezyon kuvvetinin sadece doğrultusu bilinmektedir. Bir G_θ güvenlik sayısı seçilerek ,

$$\operatorname{tg} \theta_m = \operatorname{tg} \theta / G_\theta \quad (4.70)$$

değeri hesaplanır. (Creing, 1978)

$R . \sin \theta_m$ yarıçaplı , O merkezli - θ dairesi seçilir. W_1 ile C kuvvetlerinin kesim noktasından θ dairesine teğet çizilir. Bu teğet "N" reaksiyon kuvvetinin doğrultusunu verir. W_1 , C , N kuvvetler poligonundan bileşke kayma direnci "C" bulunur. Buradan ,

$$c_m = C / l \quad (4.71)$$

c_m : harekete geçen kohezyon

C : kohezyon kuvveti

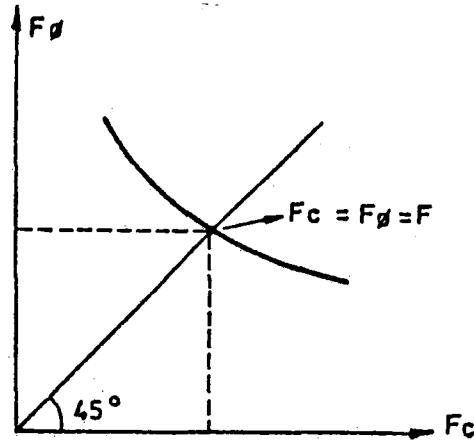
bağıntısı ile c_m değeri hesaplanır.

$$G_c = C / c_m \quad (4.72)$$

Böylece en az üç G_θ değerine karşılık gelen G_c değerleri hesaplanır. Bulanan değerler koordinat sisteminde işaretlenerek Şekil 4.19 ' daki gibi bir eğri çizilir. Koordinat sisteminin açısı ortayının eğriyi kestiği noktadaki değer ,

$$G_c = G_\theta = G \quad (4.73)$$

güvenlik sayısı olarak alınır. (Önalp, A. 1982)



Şekil 4.19 Ø Dairesi metodunda minimum güvenlik sayısının tesbiti

4.4.5. Stabilite eğrileri ile çözüm

Zemin homojen kil olup drenajsız halde,
 $\phi_u = 0$ ve $s = q_u / 2 = c_u$, $\tau_f = s$ ise

q_u : Serbest basınç direnci,

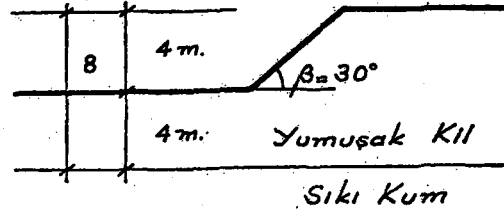
olduğu bilinmektedir. Bu gibi hallerde, kayma yüzeyi dairesel silindirik kabul edilerek, problem analitik olarak çözülmüş ve eğer "c" biliniyorsa "H_c" kritik yükseklik bulunabilir. (Kumbasar, V. 1985)

$$H_c = N_s \cdot \frac{c}{\gamma} \quad (4.74)$$

Burada "N_s" boyutsuz bir sayı olup, stabilite faktörü adı verilir. β şev açısı n_d "derinlik faktörü" ve ϕ kayma mukavemeti açısına bağlıdır. Stabilite faktörü (N_s) sadece n_d ve β 'ya bağlıdır. Burada n_d şev yüksekliği H ve şev tabanının sağlam tabakaya uzaklığı D ise,

$$n_d = \frac{H + D}{H} \text{ olur.} \quad (4.75)$$

Burada bu değer 1 ile ∞ arasında değişebilir.

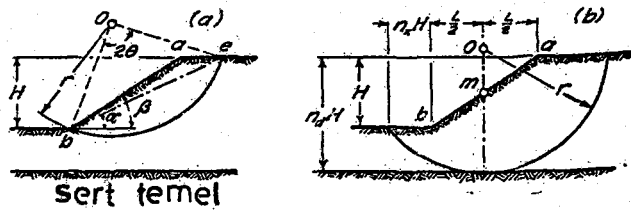


Şekil 4.20 n_d ' nin hesaplanması (Kumbasar, V. 1985)

Tüm şev kaymalarında 53° ' den daha büyük bir açı meydana gelirse bir topuk kayması olur. Eğer β , 53° ' den daha küçükse, n_d faktörüne ve kayma tiplerine ihtiyaç olur. Eğer $n_d = 1$ ise şev kayması meydana gelir.

Eğer n_d dörtten daha büyükse şev dairesi sert tabakaya teğet olur. n_d ve β değerleri tabloda verilmiştir. Kayma şekli topukdan geçebilir. Tabanda geçmesi durumunda kayma yüzeyi sert tabakaya teğet olur.

Eğer β ve n_d değerleri verilmişse Şekil 4.22 ' den yararlanılarak N_s ' ye karar verilir. N_s , c , γ parametrelerinden yararlanılarak kritik yüksekliğe karar verilebilir.

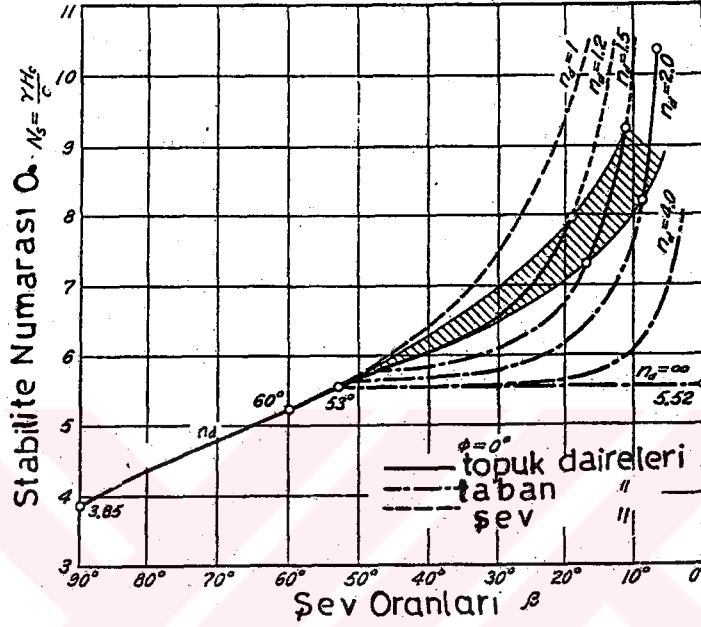


a) şev kayması

b) Taban kayması

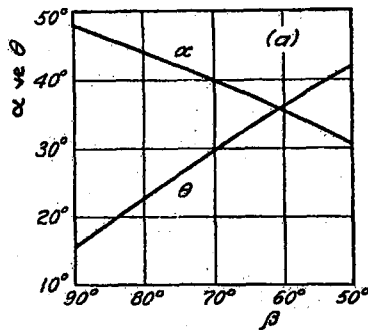
Şekil 4.21 Kritik dairenin durumu

Eğer topuk daireleri boyunca kayma mevcut ise , kritik daire merkezinin durumu α ve θ şekilde gösterilmiştir. Şekil 4.21' de, $n_x \cdot H$, $n_d \cdot H$ değerleri gösterilmiştir. (Terzaghi, 1967)

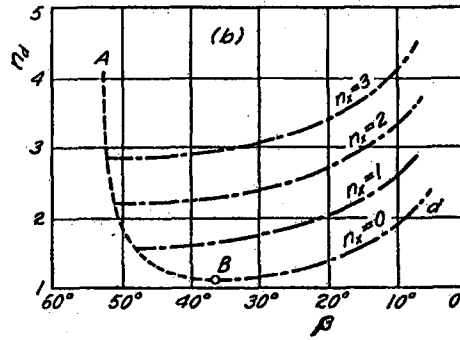


Şekil 4.22 n_d Dip faktörünün farklı değerleri için β ' dan da yararlanılarak N_s ' ye karar verme

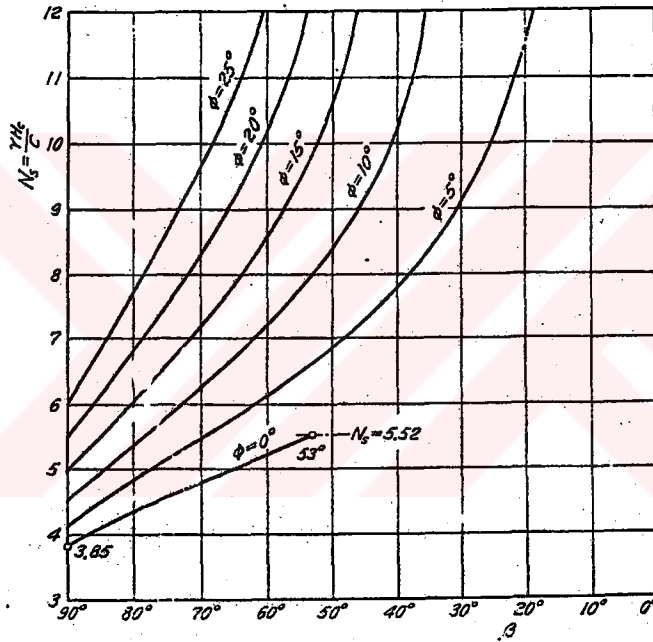
α ve θ için farklı β şev açıları Şekil 4.23' te verilmiştir. Şekil 4.21' de gösterilen $n_x \cdot H$ mesafesine karar vermek için , Şekil 4.24 ' ten yararlanılarak n_x bulunur. Farklı β ve n_d değerlerine göre n_x tahmin edilir.



Şekil 4.23 α ve θ Değerlerine karar verme (Terzaghi, 1967)



Şekil 4.24 n_s Değerlerinin bulunması (Terzaghi, 1967)



Şekil 4.25 ϕ Değerleri için β ' dan yararlanılarak N_s ' nin tayini

β , q_u , H , D ve γ belli olduğuna göre buradan c_u ve n_d bulunur.

Sonra tablodan n_d ve β şev açılmasına göre N_s bulunur. (Kumbasar, 1985)

Şu halde limit hal için harekete geçmesi gereken kohezyon c_m değeri,

$$c_m = \frac{\gamma \cdot H}{N_s} \quad , \quad \tau_f = c_u = q_u / 2 \quad (4.76)$$

$$G_s = \tau_f / \tau = c_u / c_m \quad (4.77)$$

Burada , Taylor (Terzaghi,1967) çözümünde bazı sınırlanmalar vardır.

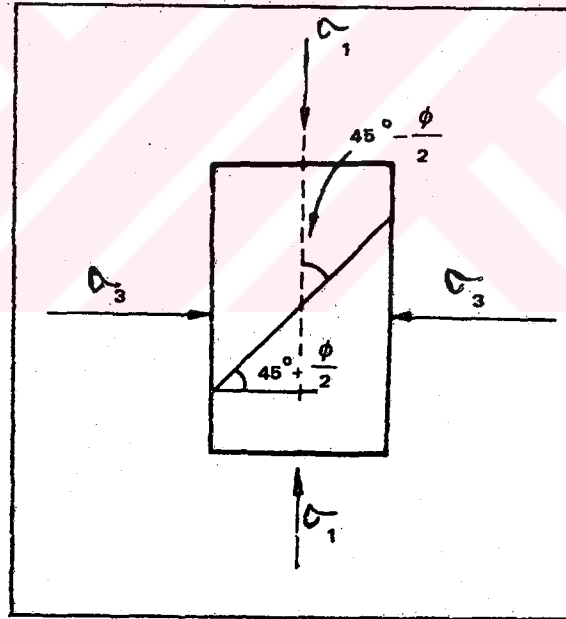
1. Kohezyonsuz zeminlere uygulanamaz.
2. Kısmen su altında bulunan şevlere uygulanamaz.
3. Gerilme çatlakları ihmal edilmiştir.
4. Sert fisürlü killere tatbik edilemez. (Taylor, 1937)



5. BULGULAR

5.1. Dolgu Şevlerinde Kayma Düzlemlerinin Analitik Olarak Tayini

Kırılma düzlemi ile büyük asal gerilme düzlemi arasında $45 + \frac{\phi}{2}$ açısı mevcuttur, (Terzaghi, 1967). Dolayısıyla kırılma halinde büyük asal gerilme doğrultusuyla kırılma düzlemleri arasında $45 - \frac{\phi}{2}$ açısı meydana gelir. Şekil 5.1



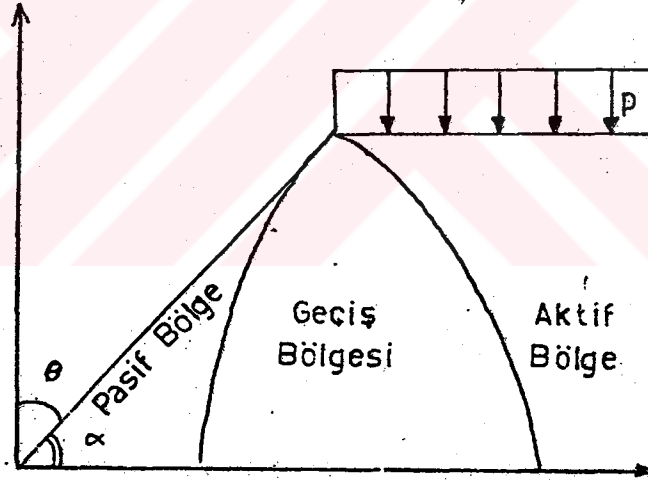
Şekil 5.1 Zeminlerin kırılması (Terzaghi, 1967)

Sınırlı bir şev dikkate alınırsa bu şevdeki her noktada büyük asal gerilmelerin yönü değişmiyorsa yukarıdaki ifadelerle göre kırılma düzlemlerinin yönü de değişmez.

Çünkü $45 - \frac{\phi}{2}$ açısı sabit bir değer olarak kırılma düzlemi ile, büyük asal gerilme arasında kalacaktır. Bu durum takriben dik şevlerde

görülmektedir. O halde kayma düzleminin şekli, tamamen büyük asal gerilmelerin yönüne bağlı olması gerekir. Şevlerde kırılma düzleminin oluşmasında başlıca rolü oynayan büyük asal gerilmenin yön değişimi θ_e efektif içsel sürtünme açısı, H_d şev yüksekliği θ şev düzleminin düşeyle yaptığı açı ile ilgilidir.

Yani, şevin göçmesi çevre şartlarına bağlıdır. Bu münasebetle çevre şartlarını içeren bir kabulün yapılması kayma düzlemlerinin tayininde daha yaklaşık bir çözümün elde edilmesini sağlar. Kayma düzleminin tayini için; $c_e = 0$, $\theta_e = 0$ ve α açısına haiz olan kaya taneli üzerinde sınırlı bir şev dikkate alalım. Zaten diğer durumlar belirsiz değil, çözümler aşıkardır, (Terzaghi, 1967). Şev açısı $\alpha > \theta_e$ için Şekil 5.2' de görüldüğü gibi sınırlı bir şevde aktif pasif ve geçiş bölgeleri meydana gelir (Harr, 1966)



Şekil 5.2 Şev bölgeleri (Harr, E. 1966)

Aşık olarak şev ne kadar dik olursa pasif bölgenin büyüklüğü o denli artar ve $\alpha = \theta_e$ halinde pasif bölge sadece şev yüzeyidir. Keza $\alpha < \theta_e$ halinde ise pasif bölge mevcut değildir. Pasif bölgede büyük asal gerilme tam şev düzleminin üzerinde şev eğimindedir. Kayma düzlemini ifade eden denklemi verebilmek için büyük asal gerilmelerin yönlerinin şev dahilinde her noktada bilinmesi gerekir.

Aynı kayma düzlemi üzerinde herhangi bir $P(x; y)$ noktasındaki

$$\delta \cdot \theta$$

büyük asal gerilmenin dönme miktarı $\frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x$ olur. Bu halde asal

$$\delta \cdot \theta$$

gerilmenin düşeyle yaptığı açı $\theta - \frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x$ kadar ve kırılma düzlemi ile

$P(x; y)$ noktasına çizilen teğet arasında $45 - \frac{\varnothing_e}{2}$ açısı sabit kalacağından

$P(x; y)$ noktasında düşey ile teğet arasındaki açının miktarı;

$$\theta - \frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x + 45 - \frac{\varnothing_e}{2} \text{ olur.} \quad (5.2)$$

Bu nedenle $P(x; y)$ noktasındaki teğetin yatayla yaptığı açı

$$\alpha_t = 90 - \theta + \frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x - 45 + \frac{\varnothing_e}{2} \text{ olur.} \quad (5.3)$$

$$\alpha_t = 45 - \theta + \frac{\varnothing_e}{2} + \frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x \text{ olur.} \quad (5.4)$$

Teğetin eğimi,

$$\text{tg } \alpha_t = \text{tg} \left(45 + \frac{\varnothing_e}{2} + \frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x - \theta \right) \quad (5.5)$$

eşitliği ile belirlenebildiğinden;

$$\frac{dy}{dx} = \text{tg} \left(45 + \frac{\varnothing_e}{2} + \frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x - \theta \right) \quad (5.6)$$

türev eşitliği yazılır. Denklem 5.6' nın integrali alınırsa;

$$\int dy = \int \text{tg} \left(45 + \frac{\varnothing_e}{2} + \frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x - \theta \right) dx \quad (5.7)$$

$$y = \int \frac{\sin \left(45 + \frac{\varnothing_e}{2} + \frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x - \theta \right)}{\cos \left(45 + \frac{\varnothing_e}{2} + \frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x - \theta \right)} \cdot dx \quad (5.8)$$

$$y = -\frac{L}{\delta \cdot \theta} \int \frac{-\frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot \sin \left(45 + \frac{\varnothing_e}{2} + \frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x - \theta \right)}{\cos \left(45 + \frac{\varnothing_e}{2} + \frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x - \theta \right)} \cdot dx \quad (5.9)$$

$$y = -\frac{L}{\delta \cdot \theta} \ln \cos \left(45 + \frac{\varnothing_e}{2} - \theta + \frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x \right) + C \quad (5.10)$$

denklemini elde edilir. C sabitinin değeri $x = 0$ ve $y = 0$ için,

$$C = \frac{L}{\delta \cdot \theta} \ln \cos \left(45 + \frac{\varnothing_e}{2} - \theta \right) \quad (5.11)$$

olur. Bu değer 5.10' da yerine yazılırsa şev alt köşesinden geçen kırılma düzleminin denklemi;

$$y = \frac{L}{\delta \cdot \theta} \ln \frac{\cos \left(45 + \frac{\varnothing_e}{2} - \theta \right)}{\cos \left(45 + \frac{\varnothing_e}{2} + \frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x - \theta \right)} \quad (5.12)$$

şeklinde verilir.

Burada,

L : Logaritmik kayma düzleminin yatay uzunluğu (m)

θ : Radyan cinsinden şevin düşeyle yaptığı açı

\varnothing_e : Efektif içsel sürtünme açısı

δ : θ' ya bağlı bir katsayı

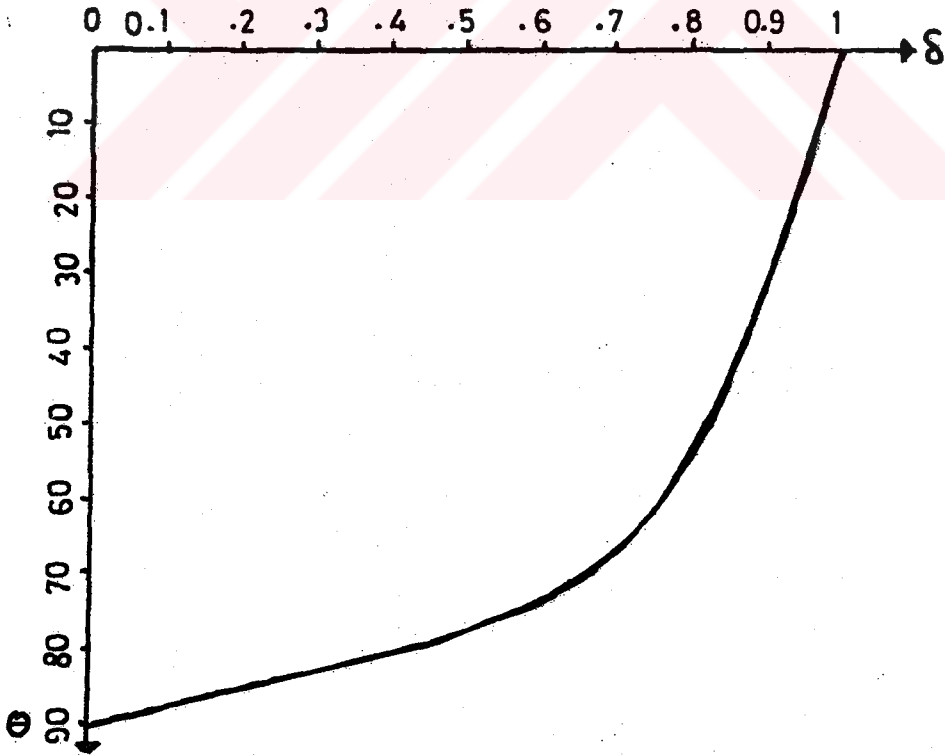
$\theta = 0$ için $y = -\infty$. 0 elde edilirse bu durum belirsizliği ifade eder.

Bunun için limit alınırsa,

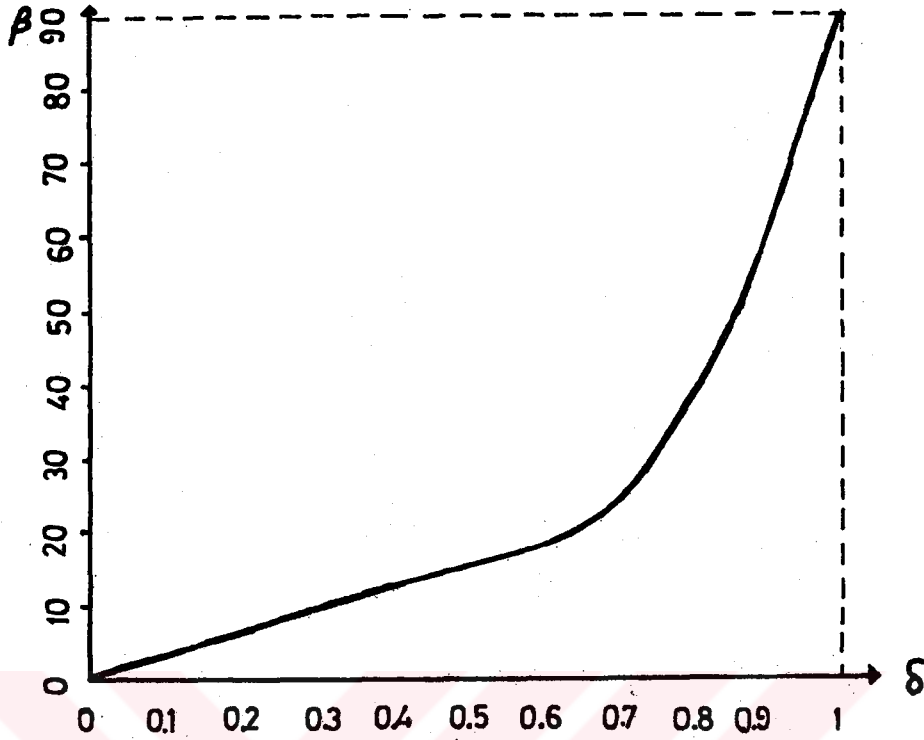
$$y = \lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{L}{\theta} \ln \frac{\cos \left(45 + \frac{\varnothing_e}{2} - \theta \right)}{\cos \left(45 + \frac{\varnothing_e}{2} + \frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x - \theta \right)} \quad (5.13)$$

$$y = x \cdot \text{tg} \left(45 + \varnothing_e / 2 \right) \quad (5.14)$$

denklemini elde edilir.



Şekil 5.4 δ 'nin θ' ya Bağlı olarak değişimi



Şekil 5.5 δ 'nın β 'ya bağlı olarak değişimi

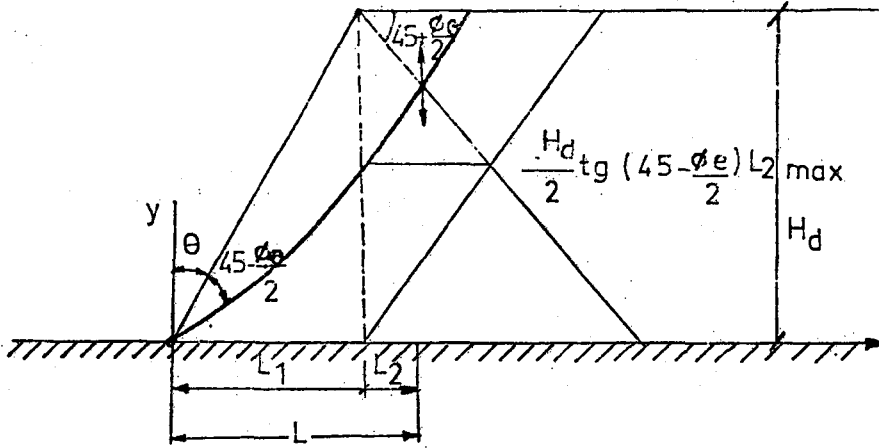
δ düzeltme faktörünün θ 'ya bağlı olarak değişimi :

θ	0	5	10	15	20	25	30	35	40	43	45	50	55
δ	1	0.98	0.96	0.94	0.92	0.90	0.89	0.88	0.87	0.84	0.83	0.81	0.79
θ	58	60	65	68	70	75	80	85	90				
δ	0.78	0.76	0.72	0.70	0.64	0.48	0.32	0.16	0				

δ düzeltme faktörünün β 'ya bağlı olarak değişimi :

β	0	5	10	15	20	22	25	30	32	35	40	45	47
δ	0	0.16	0.32	0.48	0.64	0.70	0.72	0.76	0.78	0.79	0.81	0.83	0.84
β	50	55	60	65	70	75	80	85	90				
δ	0.87	0.88	0.89	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1				

L uzunluğu aşağıda verildiği gibi tayin edilir.



Şekil 5.6 L uzunluğunun tayini

$$L_1 = H_d \cdot \operatorname{tg} \theta \quad (5.15)$$

$\theta = 90^\circ$ için $L_2 \text{ min.} = 0$ olabileceğinden,

$$0 \leq L_2 \leq \frac{H_d}{2} \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\phi_e}{2} \right) \text{ yazılabilir.} \quad (5.16)$$

$$\theta = 0 \text{ için } L_{2\text{max}} = \frac{H_d}{2} \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\phi_e}{2} \right) \quad (5.17)$$

olduğundan ve Şekil 5.6 ' da görüldüğü gibi L_2 'nin liner azaldığı kabul edilirse

$$; \quad L_2 = \frac{90 - \theta}{90} \cdot \frac{H_d}{2} \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\phi_e}{2} \right) \quad (5.18)$$

eşitliği yazılabilir. Böylece;

$$L = H_d \cdot \operatorname{tg} \theta + \frac{90 - \theta}{90} \cdot \frac{H_d}{2} \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\phi_e}{2} \right) \quad (5.19)$$

olarak L uzunluğu θ açısına, H_d şev yüksekliğine ve ϕ_e efektif içsel sürtünme açısına bağlı olarak elde edilir. Böylece kırılma düzlemi çevre şartlarına göre $y = f(\theta, H_d, \phi_e)$ şeklinde ifade edilebilir.

5.2. Kaymış Şevler İçin Bulunan Denklemine Uygulanmasına Ait Örnekler

ÖRNEK 1.

Şekil 5.7 ' de kaymış bir şev için bulunan denklemin uygulanması görülmektedir.

$$\phi = 40^\circ$$

$$c' = 1 \text{ ton/m}^2$$

$$\gamma = 16.5 \text{ kN/m}^3$$

$$\theta = 43^\circ \text{ (şekilden ölçülerek bulunur.)}$$

Çözüm :

$$\theta = 43^\circ = 0.75 \text{ rd. Tablodan } \delta = 0.83 \text{ alınır.}$$

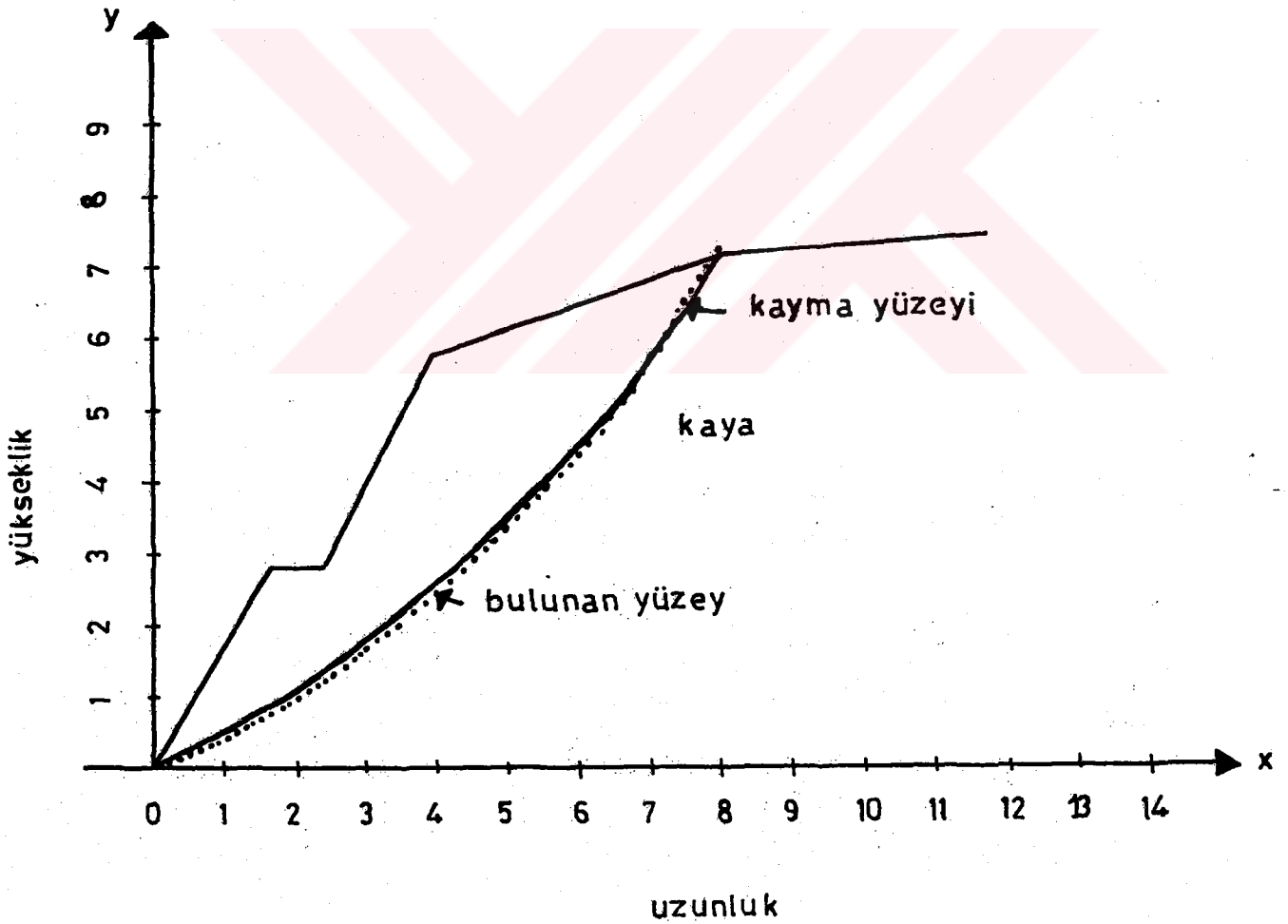
$$L = H_d \cdot \text{tg}\theta + \frac{90 - \theta}{90} \cdot \frac{H_d}{2} \cdot \text{tg} \left(45 - \frac{\phi_e}{2} \right)$$

$$L = 7.59 \text{ m. (yukarıdaki formülden bulunur)}$$

$$y = \frac{L}{\delta \cdot \theta} \ln \frac{\cos \left(45 + \frac{\phi_e}{2} - \theta \right)}{\cos \left(45 + \frac{\phi_e}{2} + \frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x - \theta \right)}$$

Bulunan değerler yukarıdaki denklemde yerlerine yazılırsa ve bu değerler koordinat sisteminde işaretlenirse , logaritmik eğri çizilir. Kayma yüzeyi ile bulunan bu eğri ne derecede birbirine yakın oldukları incelenir.

$x = 0$	için	$y = 0$	$x = 4.5$	için	$y = 2.9226$
$x = 0.5$	için	$y = 0.214$	$x = 5.0$	için	$y = 3.4112$
$x = 1.0$	için	$y = 0.4528$	$x = 5.5$	için	$y = 3.9416$
$x = 1.5$	için	$y = 0.7174$	$x = 6.0$	için	$y = 4.518$
$x = 2.0$	için	$y = 1.008$	$x = 6.5$	için	$y = 5.144$
$x = 2.5$	için	$y = 1.3283$	$x = 7.0$	için	$y = 5.82$
$x = 3.0$	için	$y = 1.6776$	$x = 7.5$	için	$y = 6.5699$
$x = 3.5$	için	$y = 2.0583$	$x = 8.0$	için	$y = 7.3843$
$x = 4.0$	için	$y = 2.4725$			



Şekil 5.7 Hong Kong' taki tipik bir şev kaymasına bulunan formülün uygulanması

ÖRNEK 2.

Şekil 5.8 ' de kaymış bir şev için bulunan denklemin uygulanması görülmektedir.

$$\varnothing = 27.50$$

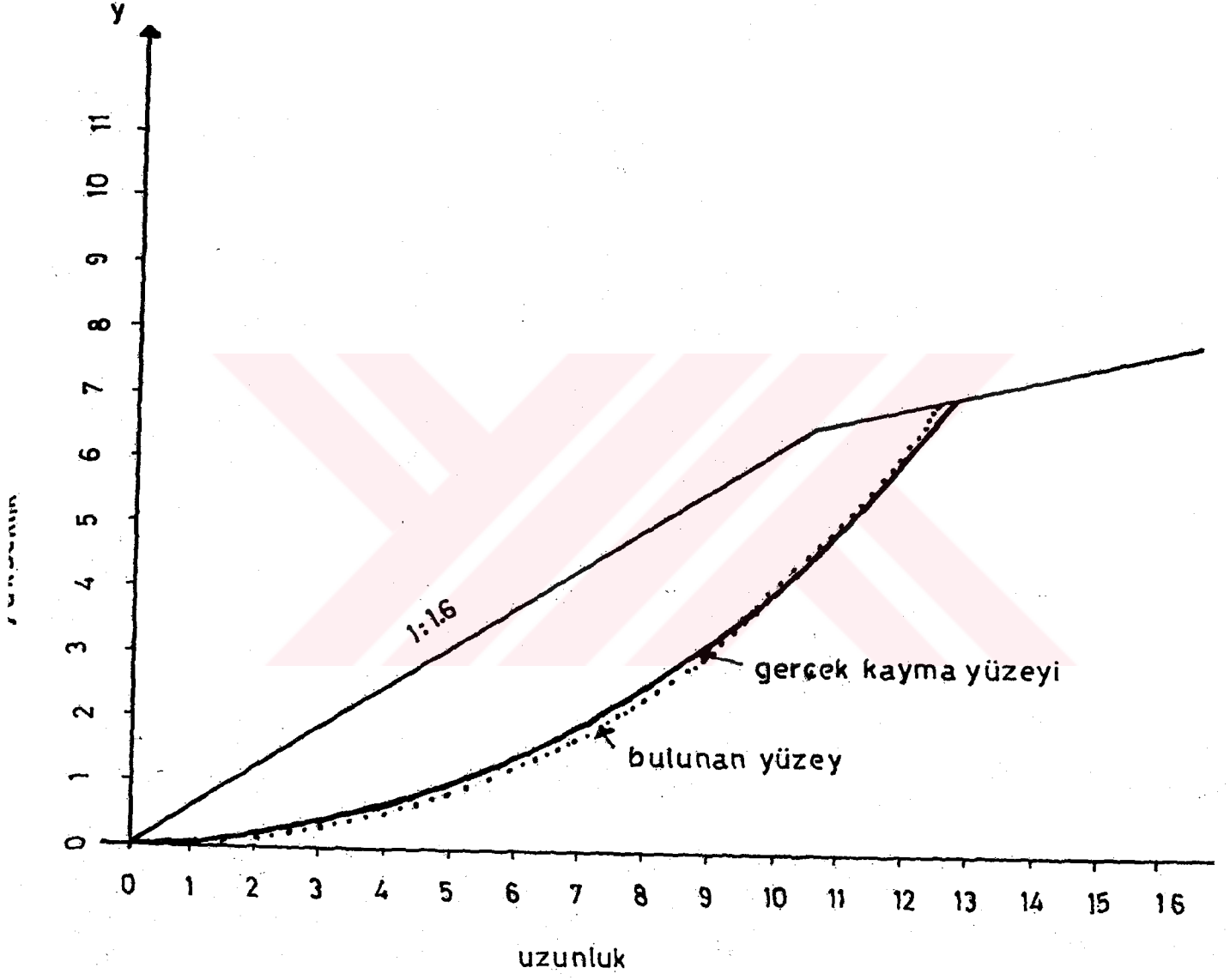
$$c' = 1.0 \text{ ton/m}^2$$

$$\gamma = 2.1 \text{ ton/m}^3$$

$$\theta = 58^\circ \text{ (şekilden ölçülerek bulunur.)} = 1.012 \text{ rd ise } \delta = 0.78 \text{ alınır.}$$

$$G_s = 1.427$$

x = 0	için	y = 0	x = 7.0	için	y = 1.8900
x = 0.5	için	y = 0.0153	x = 7.5	için	y = 2.1800
x = 1.0	için	y = 0.0481	x = 8.0	için	y = 2.4900
x = 1.5	için	y = 0.0986	x = 8.5	için	y = 2.8220
x = 2.0	için	y = 0.1669	x = 9.0	için	y = 3.1840
x = 2.5	için	y = 0.2530	x = 9.5	için	y = 3.5730
x = 3.0	için	y = 0.3574	x = 10	için	y = 3.9910
x = 3.5	için	y = 0.4800	x = 10.5	için	y = 4.4400
x = 4.0	için	y = 0.6216	x = 11	için	y = 4.9200
x = 4.5	için	y = 0.7820	x = 11.5	için	y = 5.4400
x = 5.0	için	y = 0.9623	x = 12	için	y = 5.9990
x = 5.5	için	y = 1.1630	x = 12.5	için	y = 6.5830
x = 6.0	için	y = 1.3830			
x = 6.5	için	y = 1.6300			



Şekil 5.8 Kaymış bir şevin bulunan yüzey ile mukayesesi

ÖRNEK 3.

Şekil 5.9 ' da kaymış bir şev için bulunan denklemin uygulanması görülmektedir.

$$\phi = 33.82^\circ$$

$$G_s' \text{ min } 1.46 - 1.48$$

$$c' = 1.0 \text{ ton/m}^2$$

$$1.50 \geq G_s > 1.46$$

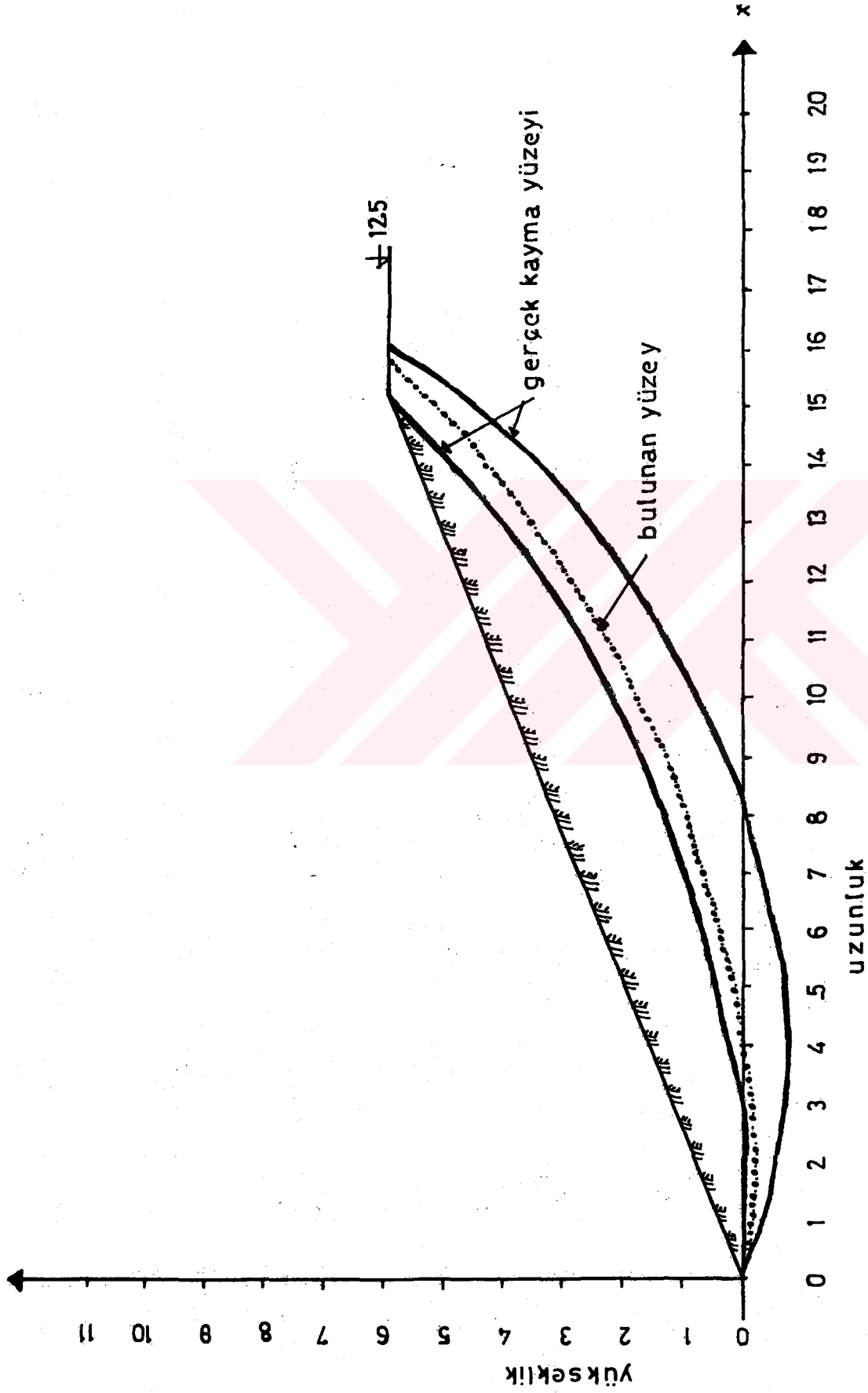
$$\gamma = 2 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Bulunan yüzey } G_s = 1.47$$

$$u = 0.4 \cdot \gamma z$$

$$\theta = 68^\circ \text{ (şekilden ölçülerek bulunur.)} = 1.187 \text{ rd ise } \delta = 0.72 \text{ alınır.}$$

x = 0	için	y = 0	x = 8.0	için	y = 0.965
x = 0.5	için	y = -0.046	x = 8.5	için	y = 1.151
x = 1.0	için	y = -0.079	x = 9.0	için	y = 1.353
x = 1.5	için	y = -0.097	x = 9.5	için	y = 1.572
x = 2.0	için	y = -0.101	x = 10	için	y = 1.807
x = 2.5	için	y = -0.091	x = 10.5	için	y = 2.061
x = 3.0	için	y = -0.067	x = 11	için	y = 2.331
x = 3.5	için	y = -0.029	x = 11.5	için	y = 2.620
x = 4.0	için	y = 0.023	x = 12	için	y = 2.928
x = 4.5	için	y = 0.099	x = 12.5	için	y = 3.260
x = 5.0	için	y = 0.171	x = 13	için	y = 3.605
x = 5.5	için	y = 0.265	x = 13.5	için	y = 3.974
x = 6.0	için	y = 0.375	x = 14	için	y = 4.370
x = 6.5	için	y = 0.500	x = 14.5	için	y = 4.781
x = 7.0	için	y = 0.640	x = 15	için	y = 5.220
x = 7.5	için	y = 0.794	x = 15.5	için	y = 5.685
			x = 16	için	y = 6.200



Şekil 5.9 Kayma Düzlemlerinin Mukayesesi

ÖRNEK 4.

Şekil 5.10 ' da kaymış bir çev için bulunan denklemin uygulanması görülmektedir.

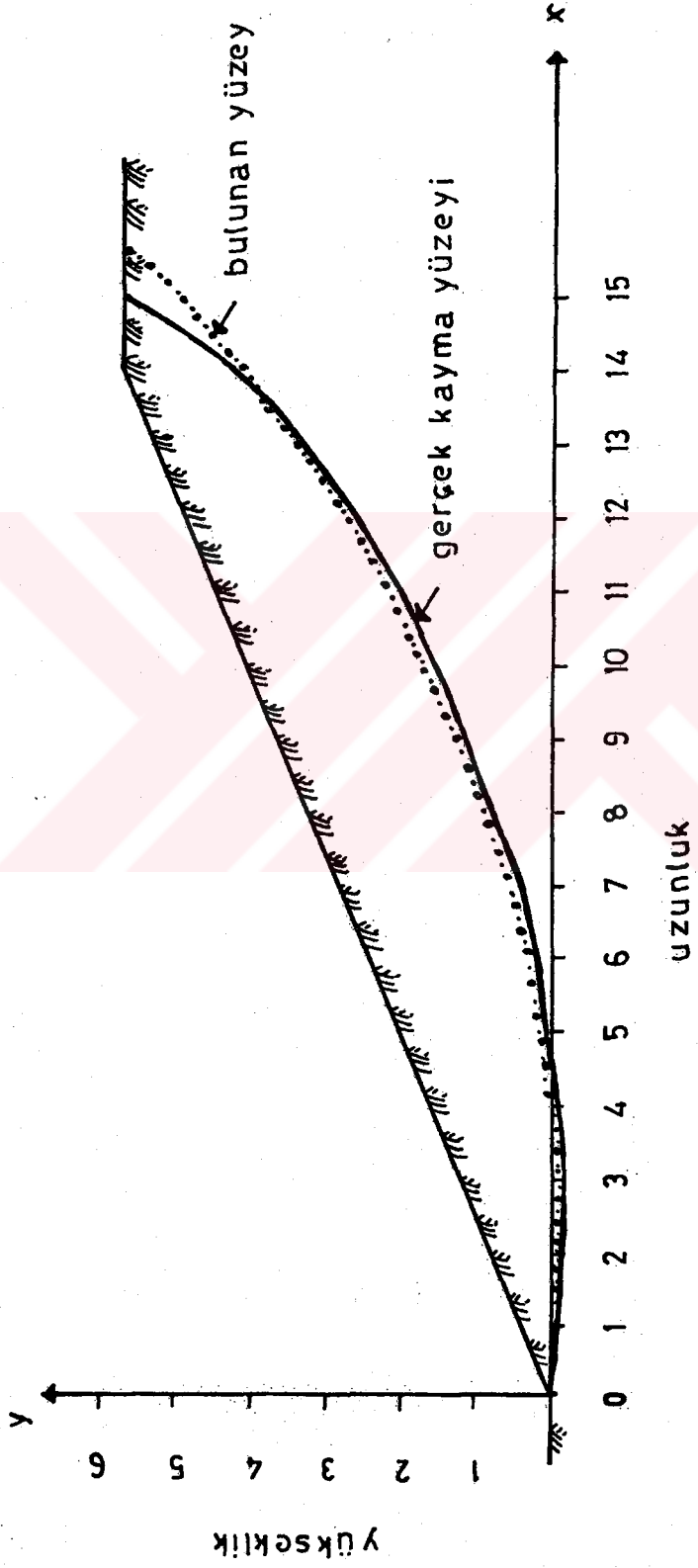
$$\theta = 33.82^\circ$$

$$c' = 1.0 \text{ ton/ m}^2$$

$$u = 0.4 \cdot \gamma_z$$

$\theta = 68^\circ$ (şekilden ölçülerek bulunur.) = 1.187 rd ise $\delta = 0.70$ alınır.

x = 0	için	y = 0	x = 8.0	için	y = 0.975
x = 0.5	için	y = -0.046	x = 8.5	için	y = 1.163
x = 1.0	için	y = -0.078	x = 9.0	için	y = 1.367
x = 1.5	için	y = -0.098	x = 9.5	için	y = 1.587
x = 2.0	için	y = -0.100	x = 10	için	y = 1.825
x = 2.5	için	y = -0.089	x = 10.5	için	y = 2.080
x = 3.0	için	y = -0.065	x = 11	için	y = 2.353
x = 3.5	için	y = -0.026	x = 11.5	için	y = 2.645
x = 4.0	için	y = 0.027	x = 12	için	y = 2.956
x = 4.5	için	y = 0.093	x = 12.5	için	y = 3.286
x = 5.0	için	y = 0.174	x = 13	için	y = 3.640
x = 5.5	için	y = 0.270	x = 13.5	için	y = 4.010
x = 6.0	için	y = 0.381	x = 14	için	y = 4.406
x = 6.5	için	y = 0.507	x = 14.5	için	y = 4.825
x = 7.0	için	y = 0.647	x = 15	için	y = 5.268
x = 7.5	için	y = 0.804	x = 15.5	için	y = 5.737
			x = 16	için	y = 6.233



Şekil 5.10 Kayma Düzlemlerinin Mukayesesi

ÖRNEK 5.

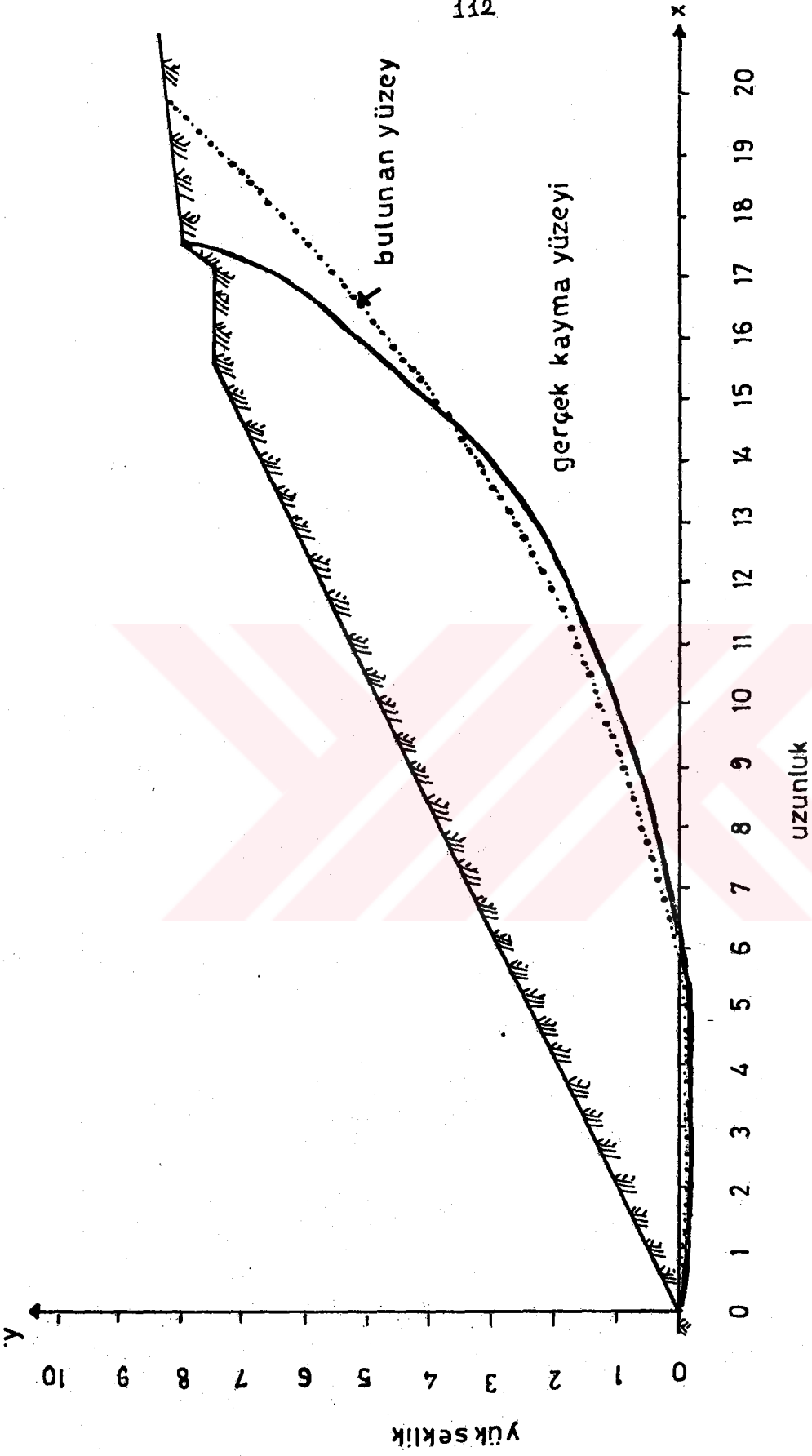
Şekil 5.11 ' de kaymış bir şev için bulunan denklemin uygulanması görülmektedir.

$$\theta = 27.11^\circ$$

$$c' = 1.0 \text{ ton/m}^2 \quad \gamma = 2 \text{ ton/m}^3$$

$\theta = 65^\circ$ (şekilden ölçülerek bulunur.) = 1.134 rd ise $\delta = 0.69$ alınır.

x = 0	için	y = 0	x = 10	için	y = 1.245
x = 0.5	için	y = -0.051	x = 10.5	için	y = 1.437
x = 1.0	için	y = -0.089	x = 11	için	y = 1.643
x = 1.5	için	y = -0.116	x = 11.5	için	y = 1.863
x = 2.0	için	y = -0.132	x = 12	için	y = 2.097
x = 2.5	için	y = -0.135	x = 12.5	için	y = 2.345
x = 3.0	için	y = -0.127	x = 13	için	y = 2.608
x = 3.5	için	y = -0.107	x = 13.5	için	y = 2.886
x = 4.0	için	y = -0.076	x = 14	için	y = 3.181
x = 4.5	için	y = -0.032	x = 14.5	için	y = 3.491
x = 5.0	için	y = 0.023	x = 15	için	y = 3.817
x = 5.5	için	y = 0.089	x = 15.5	için	y = 4.159
x = 6.0	için	y = 0.169	x = 16	için	y = 4.521
x = 6.5	için	y = 0.260	x = 16.5	için	y = 4.899
x = 7.0	için	y = 0.363	x = 17	için	y = 5.297
x = 7.5	için	y = 0.478	x = 17.5	için	y = 5.714
x = 8.0	için	y = 0.606	x = 18	için	y = 6.151
x = 8.5	için	y = 0.747	x = 18.5	için	y = 6.609
x = 9.0	için	y = 0.899	x = 19	için	y = 7.089
x = 9.5	için	y = 1.065	x = 19.5	için	y = 7.593
			x = 20	için	y = 8.121



Şekil 5.11 Kayma Düzlemlerinin Mukayesesi

ÖRNEK 6.

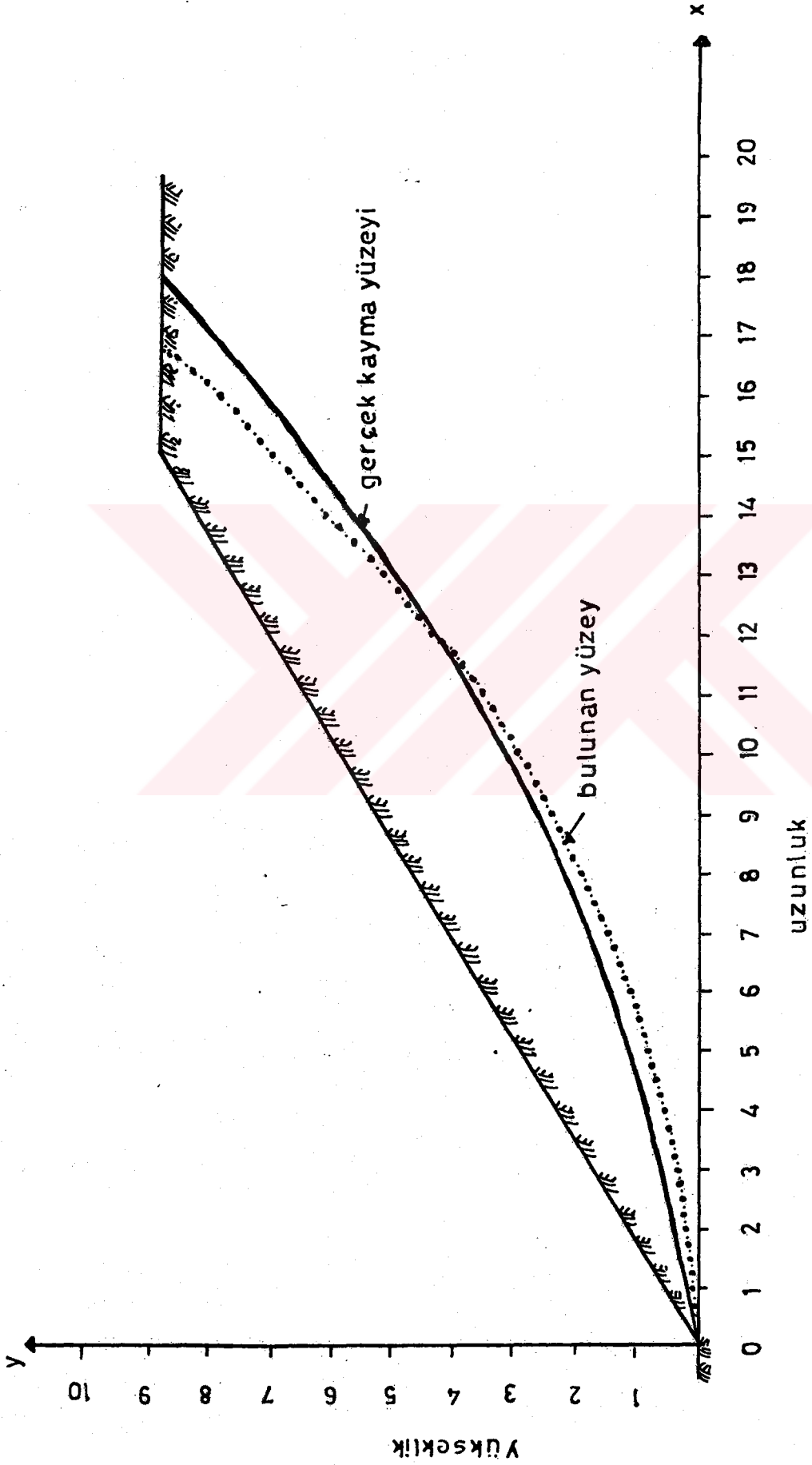
Şekil 5.12 ' de kaymış bir şev için bulunan denklemin uygulanması görülmektedir.

$$\theta = 30^\circ$$

$$L = 15.42 \text{ m}$$

$$\theta = 58.5^\circ \text{ (şekilden ölçülerek bulunur.)} = 1.021 \text{ rd ise } \delta = 0.77 \text{ alınır.}$$

x = 0	için	y = 0	x = 9.0	için	y = 2.3966
x = 0.5	için	y = 0.0194	x = 9.5	için	y = 2.6683
x = 1.0	için	y = 0.0517	x = 10	için	y = 2.9567
x = 1.5	için	y = 0.0967	x = 10.5	için	y = 3.2624
x = 2.0	için	y = 0.1547	x = 11	için	y = 3.5859
x = 2.5	için	y = 0.2256	x = 11.5	için	y = 3.9277
x = 3.0	için	y = 0.3096	x = 12	için	y = 4.2886
x = 3.5	için	y = 0.4067	x = 12.5	için	y = 4.6692
x = 4.0	için	y = 0.5171	x = 13	için	y = 5.0704
x = 4.5	için	y = 0.6410	x = 13.5	için	y = 5.4929
x = 5.0	için	y = 0.7785	x = 14	için	y = 5.9378
x = 5.5	için	y = 0.9298	x = 14.5	için	y = 6.4061
x = 6.0	için	y = 1.0951	x = 15	için	y = 6.8989
x = 6.5	için	y = 1.2746	x = 15.5	için	y = 7.4174
x = 7.0	için	y = 1.4687	x = 16	için	y = 7.9632
x = 7.5	için	y = 1.6776	x = 16.5	için	y = 8.5376
x = 8.0	için	y = 1.9017			
x = 8.5	için	y = 2.1412			



Şekil 5.12 Kayma Düzlemlerinin Mukayesesi

6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu tezin sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Geçirimsiz bir temel üzerindeki toprak dolgu barajlarda sızma miktarı detaylı bir şekilde incelenmiş , böylece bu konu ile ilgili müelliflerin verdiği denklemlerin birbirlerine yakın değerler oldukları sonucuna varılmıştır.

2. Toprak dolgu barajlarda sızma çizgisinin bir parabol olduğu ve denkleminin de ,

$$Y^2 = 2 \cdot (\sqrt{h^2 + m^2} - m) \cdot X$$

olduğu yapılan araştırmada bu sonuca varılmıştır.

3. Dolgu barajlarda kayma yüzeyinin şekli analitik olarak bulunabilmesi için ,

$$y = \frac{L}{\delta \cdot \theta} \ln \frac{\cos \left(45 + \frac{\phi_e}{2} - \theta \right)}{\cos \left(45 + \frac{\phi_e}{2} + \frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x - \theta \right)}$$

eşitliği verilmiştir. Bu eşitlik ile gerçek kayma düzlemi ile kritik kayma düzlemi mukayese edilmiştir.

4. Bu kayma yüzeyinin koordinatlarını veren eşitlikteki δ düzeltme faktörü için θ ve β 'ya bağlı olarak bu tezde aşağıdaki tablolar verilmiştir.

δ düzeltme faktörünün θ ' ya bağlı olarak değişimi :

θ	0	5	10	15	20	25	30	35	40	43	45	50	55
δ	1	0.98	0.96	0.94	0.92	0.90	0.89	0.88	0.87	0.84	0.83	0.81	0.79

θ	58	60	65	68	70	75	80	85	90
δ	0.78	0.76	0.72	0.70	0.64	0.48	0.32	0.16	0

 δ düzeltme faktörünün β ' ya bağlı olarak değişimi :

β	0	5	10	15	20	22	25	30	32	35	40	45	47
δ	0	0.16	0.32	0.48	0.64	0.70	0.72	0.76	0.78	0.79	0.81	0.83	0.84

β	50	55	60	65	70	75	80	85	90
δ	0.87	0.88	0.89	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1

KAYNAKLAR

- BILGIN, M. , (1972). Sıkıştırılmış Killi Zeminlerin Özellikleri ve Dolgu Barajlarda Oturmalar, Tez.
- BRAJA, M.D. , (1983). Advanced Soil Mechanics.
- CAPPER, P.L. ve CASSIE, W.F. , (1969). The Mechanics of Engineering Soils.
- CREING, R.F. , (1978). Soil Mechanics, Van Nostrand Reinhold 2nd Edition,
- ÇEÇEN, K. , (1967). Hidrolik, Cilt I.
- DAVID, C. , (1952). Handbook of Applied Hydraulics. Second Edition.
- DAVIDENKOFF, R. , (1964). Deiche und Erddame.
- DIMITRI, P.K. ve WILLIAM, R.J. , (1978). Principles of Engineering Geology and Geotechnics.
- DOMINY, F. , (1960). Desing of Small Dams, First Edition. England.
- GERGER, R. , (1987). Şevlerin Stabilitesi ve Homojen Dolgulardaki Kil Oranının
- GOĞUŞ, E. , (1975). Dolgu Barajların Çekirdek Bölgesinde Kritik Eğimin Tayini.
- HARR, E. , (1962). Groundwater and Seepage.
- HIRSCHFELD, FOULOS , (1973). Embankment Dam Engineering, Casagrand Volume, İşletme Esasları.
- JOHN, N.C. , (1982). Geotechnical Engineerng. Kayma Yüzeyine Etkisi. Tez
- KUMBASAR, V. , (1985). Zemin Mekaniği Problemleri.
- KUMBASAR, V. , (1985). Zemin Mekaniği.
- LOWE, J. , Çev. R.Güner. , (1975). Dolguların Stabilite Analizi.
- ONALP, A. , (1982). İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, K.U.Y. , Trabzon.

- OZAL, K. , (1966). Küçük Toprak Barajların Planlama, Projelendirme, İnşaat ve
- PRESS, H. , (1958). Talsperren Zweite Auflage, Berlin.
- SHERARD ve WOODWARD ve GIZIENSKI ve CLEVINGER, (1963). Earth and Earth-Rock Dam.
- SMITH, M. J. , (1981). Soil Mechanics.
- STRIEGLER, W. , (1969). Dambau in Theorie Und Praxis.
- TAYLOR, D.W. , (1948). Fundamentals of Soil Mechanics, Wiley International Edition, New York.
- TERZAGHI, K. ve PECK, B. R. , (1967). Soil Mechanics In Engineering, Second Edition. New York.
- TSCHEBOTERIOFF, (1951). Soil Mechanics, Foundations and Eart Structures.
- TUNA, Ahmet, (1979). Toprak Dolgu Baraj Gövdesinin Projelendirilmesi.
- TUNA, Ahmet, (1980). Şevlerin Stabilitesi.
- TUNA, Ahmet, (1985). Toprak Dolgu Barajların Yapı Malzemesi, Dolgu Tipleri
- TÜRKE, HENNER, (1983). Statik im Erdbau.
- UTKU, T. , (1975). Teori ve Tatbikatta Heyelanlar. ve Stabilite Analizi.
- WALCH, O. , (1930). Stau-und Kanal Dame aus Erde und Fels.
- WILLIAM, J.L. , (1979). Series in Soil Engineering.
- ZIEGLER, P. , (1925). Der Talsperrenbau, Band I.