

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HOMOJEN SONLU ŞEVLERDE TOPUK KAYMASI DURUMUNDA KIRILMA
YÜZEYLERİNİN OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Emrullah SAĞIR

**HAZİRAN 2016
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Emrullah SAĞIR Tarafından Hazırlanan**

**HOMOJEN SONLU ŞEVLERDE TOPUK KAYMASI DURUMUNDA KIRILMA
YÜZEYLERİNİN OPTİMİZASYONU**



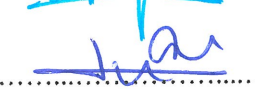
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 10 / 05 / 2016 gün ve 1652 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Tufan ÇAKIR

Üye : Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU

Üye : Doç. Dr. Sabriye Banu İKİZLER


.....

.....

.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, tez danışmanlığımı üstlenerek, çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübelerinden yararlanmama imkân sağlayan ve değerli vaktini bana ayırma konusunda hiçbir zaman çekinmeyen Sayın Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU'na sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca hep yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, maddi ve manevi bütün zorluklara katlanarak bugünlere gelmemde en büyük rolü oynayan, fedakar ve saygıdeğer annem ve babam başta olmak üzere tüm aile bireylerime minnettarlığımı belirtir, sonsuz saygı ve sevgilerimi sunarım. Ayrıca, bu tez çalışmasının güzel ülkemizin ve milletimizin yararına olmasını yürekten dilerim.

Emrullah SAĞIR
Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Homojen Sonlu Şevlerde Topuk Kayması Durumunda Kırılma Yüzeylerinin Optimizasyonu” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU'nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 14/06/2016

Emrullah SAĞIR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	IX
SUMMARY.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XVI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XVII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Bir Şeve Ait Parametrelerin Tanıtılması.....	2
1.3. Şev Hareketlerinin Tanımlanması.....	5
1.4. Şev Duraylılığına Etki Eden Faktörler.....	5
1.4.1. Şev Geometrisi ve Jeolojik Yapısal Özellikler.....	7
1.4.2. Yeraltı Suyu Koşulları.....	8
1.4.3. Malzeme Özellikleri.....	8
1.4.4. Depremsellik Etkisi.....	9
1.5. Şev Kayma Tipleri ve Hareketlerinin Sınıflandırılması.....	9
1.5.1 Akma Türü Yenilmeler.....	10
1.5.2. Düşme Türü Yenilmeler.....	11
1.5.3. Kayma Türü Yenilmeler.....	13
1.5.3.1. Düzlemsel Kayma.....	14
1.5.3.2. Dairesel Kayma.....	14
1.5.3.3. Kama Tipi Kayma.....	16
1.5.3.4. Devrilme.....	16
1.6. Şev Stabilite Problemleri.....	19
1.6.1. Drenajsız Durum.....	20
1.6.2. Drenajlı Durum.....	20

1.6.3.	Kısmen Drenajlı Durum.....	20
1.7.	Şev Stabilizasyon İşlemleri.....	21
1.8.	Şev Stabilite Analizine Genel Bakış.....	23
1.8.1.	Şev Stabilite Analizlerinin Amacı.....	23
1.8.2.	Şev Stabilite Analizleri Planlaması.....	24
1.8.3.	Şevlerde Güvenlik Sayısı.....	25
1.8.4.	Stabiliteye Uygun Kayma Yüzeyinin Seçilmesi.....	28
1.9.	Şev Stabilitesi Analiz Yöntemleri.....	29
1.9.1.	Lineer Yöntemler.....	30
1.9.1.1.	$\phi_u=0$ Yöntemi.....	31
1.9.1.2.	Fellenius (İsveç Dilim) Metodu.....	31
1.9.1.3.	Kama Analizi.....	32
1.9.1.4.	Sonsuz Şev Analizi.....	32
1.9.2.	Lineer Olmayan Yöntemler.....	33
1.9.2.1.	Genelleştirilmiş Dilim Yöntemi.....	34
1.9.2.2.	Bishop Şev Stabilite Analiz Yöntemi.....	35
1.9.2.3.	Genelleştirilmiş Janbu Şev Stabilite Analiz Yöntemi.....	36
1.9.2.4.	Basitleştirilmiş Janbu Şev Stabilite Analiz Yöntemi.....	37
1.9.2.5.	Spencer Şev Stabilite Analiz Yöntemi.....	38
1.9.2.6.	Morgenstern-Price Şev Stabilite Analiz Yöntemi.....	38
1.9.2.7.	Sürtünme Dairesi Yöntemi.....	38
1.9.3.	Diğer Şev Stabilite Yöntemleri ve Abakları.....	39
1.9.4.	Limit Gerilme Yaklaşımı.....	41
1.9.5.	Limit Denge Yaklaşımı.....	42
1.9.5.1.	Geri Analiz Kavramı.....	43
1.10.	Şev Stabilite Analizlerinde Drenajın Etkisi.....	44
1.10.1.	Efektif Gerilmelerle Şev Stabilite Analizi.....	44
1.10.1.1.	Efektif Gerilme Kavramı.....	45
1.10.2.	Toplam Gerilmelerle Şev Stabilite Analizi.....	45
1.11.	Optimizasyona Giriş.....	46
1.11.1.	Optimizasyonun Temel Tanımları.....	48
1.11.2.	Optimizasyon Modellerinin Oluşturulması.....	49
1.11.3.	Optimizasyon Problemlerinin Çözüm Metotları.....	50

1.12.	Nümerik Çalışmalar.....	52
1.12.1.	MATLAB Programı.....	52
1.12.2.	MATLAB' de Optimizasyon.....	53
1.13.	Literatür Araştırması.....	55
1.14.	Amaç ve Kapsam.....	57
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	59
2.1.	Homojen Sonlu Şevdeki Topuk Kaymasına Ait Tasarım Değişkenleri.....	59
2.2.	Genelleştirilmiş Janbu Yöntemine Dayalı Geliştirilen Optimizasyon Algoritması.....	60
2.3.	Interior – Point Algorithm Metodu (İç Nokta Algoritması Metodu) ve Örnek Şeve Ait Parametreler.....	62
2.3.1.	Geliştirilen Optimizasyon Algoritmasının Örnek Bir Şeve Uygulanması.....	63
2.3.2.	Elde Çözüm ile Denge Denklemlerinin Oluşturulması (Genelleştirilmiş Janbu Yöntemi'nin Değiştirilmesi).....	65
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	70
3.1.	Değişen c , \emptyset ve β Değerleriyle Şev Kırılma Yüzeylerinin Elde Edilmesi.....	71
3.1.1.	$c=4 \text{ kN/m}^2$, $\beta=20^\circ$ ve $\Delta x=3.92 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri.....	71
3.1.2.	$c=4 \text{ kN/m}^2$, $\beta=30^\circ$ ve $\Delta x=2.47 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri.....	74
3.1.3.	$c=4 \text{ kN/m}^2$, $\beta=45^\circ$ ve $\Delta x=1.43 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri.....	76
3.1.4.	$c=8 \text{ kN/m}^2$, $\beta=20^\circ$ ve $\Delta x=3.92 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri.....	77
3.1.5.	$c=8 \text{ kN/m}^2$, $\beta=30^\circ$ ve $\Delta x=2.47 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri.....	79
3.1.6.	$c=8 \text{ kN/m}^2$, $\beta=45^\circ$ ve $\Delta x=1.43 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri.....	82
3.1.7.	$c=12 \text{ kN/m}^2$, $\beta=20^\circ$ ve $\Delta x=3.92 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri.....	84
3.1.8.	$c=12 \text{ kN/m}^2$, $\beta=30^\circ$ ve $\Delta x=2.47 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri.....	86
3.1.9.	$c=12 \text{ kN/m}^2$, $\beta=45^\circ$ ve $\Delta x=1.43 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri.....	89
3.1.10.	$c=16 \text{ kN/m}^2$, $\beta=20^\circ$ ve $\Delta x=3.92 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri.....	91
3.1.11.	$c=16 \text{ kN/m}^2$, $\beta=30^\circ$ ve $\Delta x=2.47 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri.....	94
3.1.12.	$c=16 \text{ kN/m}^2$, $\beta=45^\circ$ ve $\Delta x=1.43 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri.....	96
3.1.13.	$c=32 \text{ kN/m}^2$, $\beta=20^\circ$ ve $\Delta x=3.92 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri.....	98
3.1.14.	$c=32 \text{ kN/m}^2$, $\beta=30^\circ$ ve $\Delta x=2.47 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri.....	101
3.1.15.	$c=32 \text{ kN/m}^2$, $\beta=45^\circ$ ve $\Delta x=1.43 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri.....	103
3.1.16.	$c=48 \text{ kN/m}^2$, $\beta=20^\circ$ ve $\Delta x=3.92 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri.....	105
3.1.17.	$c=48 \text{ kN/m}^2$, $\beta=30^\circ$ ve $\Delta x=2.47 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri.....	108
3.1.18.	$c=48 \text{ kN/m}^2$, $\beta=45^\circ$ ve $\Delta x=1.43 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri.....	110

3.2.	Oluşturulan ‘c/γH’ Parametresi Yardımıyla Güvenlik Sayısına Ait Grafiklerin (Abakların) Elde Edilmesi.....	112
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	123
5.	KAYNAKLAR.....	125
6.	EKLER.....	129
	ÖZGEÇMİŞ	



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

HOMOJEN SONLU ŞEVLERDE TOPUK KAYMASI DURUMUNDA KIRILMA
YÜZEYLERİNİN OPTİMİZASYONU

Emrullah SAĞIR

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU
2016, 129 Sayfa, 6 Ek Sayfa

Zemin veya kaya yüzeylerinin oluşturdukları kütlelerin, yatay bir düzlemle açı yapan eğimli yüzeyine ‘şev’ adı verilmektedir. Şevlerin kendi ağırlıkları ve ek yüklemeler altında kayma veya göçme hareketlerine karşı sergiledikleri yapısal performans ise ‘şev stabilitesi (duraylılığı)’ olarak adlandırılmaktadır. Şev stabilite analizinde sürekli yinelenen temel yaklaşım, en kritik kayma yüzeyini araştırarak minimum güvenlik sayısını belirlemektir.

Bu çalışmada, homojen sonlu şevlerde topuk kayması esas alınarak Genelleştirilmiş Janbu Yöntemi’nin değiştirilmesiyle yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem, her çeşit kırılma yüzeyi (kompozit) olasılıklarını göz önüne alabilmektedir. Bu yöntemde en kritik kırılma yüzeyi; minimum güvenlik sayısını verecek şekilde MATLAB programlama dilinde hazırlanmış bir program yardımıyla, optimizasyon yöntemiyle belirlenmiştir. Elde edilen en kritik kırılma yüzeyi için ardışık işlemlerle güvenlik sayısı analizleri yapılarak nihai güvenlik sayısı bulunmuştur. Ardından, farklı c , ϕ ve β değerlerine sahip homojen sonlu şevlerde stabilite analizleri yapılarak farklı kırılma yüzeyleri ve güvenlik sayıları elde edilmiştir.

Geliştirilen yöntemle yapılan analizlerin sonucunda, elde edilen şev kırılma yüzeylerinin dairesel yüzeyden farklı olarak değişik eğri tiplerinin oluşturduğu kompozit yapıda olduğu görülmüştür. Analizlerini dairesel kırılma yüzeyleri kabulüyle yapan yöntemlere kıyasla; bu çalışmada geliştirilen yöntem tüm kırılma yüzeyi olasılıklarını içerdği için yapılan analiz sonucunda daha düşük güvenlik sayıları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şev Stabilitesi, Kırılma Yüzeyi, Güvenlik Sayısı, Optimizasyon.

Master Thesis

SUMMARY

OPTIMIZATION OF FAILURE SURFACES FOR TOE SLIDE IN HOMOGENEOUS
FINITE SLOPES

Emrullah SAĞIR

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Erol ŞADOĞLU
2016, 129 Pages, 6 Pages Appendix

Slope is called as the surface of the soil or rock masses which has an inclination to the horizontal plane. Slope stability is defined as the structural performance that is exhibited against sliding or collapse due to dead and additional loads. Recurrent basic approach in slope stability analysis is to determine the minimum factor of safety by searching the most critical failure surface.

In this study, a novel method was developed by modifying the Generalized Janbu Method for toe slide of homogeneous finite slopes. The developed method can take into account all possible types (composite) of failure surfaces. The most critical failure surface that provides the minimum factor of safety is determined by using a program developed in MATLAB programming language based on optimization method. Ultimate factor of safety was found for the obtained most critical failure surface by doing sequential computations of safety analyses. Then, failure surfaces and factors of safety were obtained for different c , ϕ , and β values in homogeneous finite slopes by making slope stability analysis.

From the results of performed analyses with the developed method, it was seen that the obtained sliding surfaces, which are different from circular surfaces, have composite structures consisting of different types of curves. Lower factors of safety were obtained the method developed in this study compared to the methods based on circular failure surface assumption because of including all failure surface possibilities.

Key Words: Slope Stability, Failure Surface, Factor of Safety, Optimization.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Bir şevin geometrik özellikleri.....	2
Şekil 2.	Bir şevin önemli kısımlarına ait gösterim.....	3
Şekil 3.	Yağmurun etkisiyle şevde meydana gelen akma.....	6
Şekil 4.	Kanada’da görülen bir nehirdeki akıntı etkisiyle şevde meydana gelen akma...	6
Şekil 5.	Kanada’da görülen bir vadiye ait şevde meydana gelen toprak kayması.....	7
Şekil 6.	Blong tarafından yapılan şev hareketleri sınıflandırılması.....	10
Şekil 7.	Skempton’a göre sınıflandırmada şev geometrisi.....	11
Şekil 8.	Varnes’in sınıflandırma sistemi.....	13
Şekil 9.	Zeminde topuk şevi kayması.....	15
Şekil 10.	Zeminde taban şevi kayması.....	15
Şekil 11.	Zeminde dönel kayma ve çökme oluşumu.....	16
Şekil 12.	Kayma türü yenilmelere ait şev yenilme mekanizmaları.....	17
Şekil 13.	Genel anlamda tüm şev hareketlerinin sınıflandırılması.....	18
Şekil 14.	Genel anlamda şev stabilite analizlerine ait planlama.....	25
Şekil 15.	Güvenlik sayısının şev yüksekliği ve şev açısına bağlı değişimini gösteren duraylılık analizi sonuçları.....	28
Şekil 16.	İsveç dilim yönteminde bir dilime etkiyen kuvvetler.....	32
Şekil 17.	Tipik bir dilime etkiyen kuvvetler.....	33
Şekil 18.	a. Genel dilim yöntem parametreleri, b. Bir şev dilimine etki eden kuvvetler..	35
Şekil 19.	Genelleştirilmiş Janbu Yöntemi’nde bir dilime etkiyen kuvvetler.....	37
Şekil 20.	Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi’nde kullanılan düzeltme faktörü.....	38
Şekil 21.	Klasik tasarım yaklaşımı ile optimizasyonun karşılaştırılması.....	47
Şekil 22.	Dışsal yaklaşım metodu algoritması.....	52
Şekil 23.	Şev örneği ve üzerinde gösterilen tasarım değişkenleri.....	60
Şekil 24.	Janbu Yöntemi’ne ait şev dilimi.....	61
Şekil 25.	MATLAB paket programıyla oluşturulan şevin modeli.....	65
Şekil 26.	Dilime etki eden kuvvetler ve açılar.....	66
Şekil 27.	Belirlenen geoteknik özellikler için şev kırılma yüzeyinin oluşturulması.....	71
Şekil 28.	a. $\phi=15^\circ$, $G_s=1.20$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	72

Şekil 28.	b. $\emptyset=20^\circ$, $G_S=1.31$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	72
Şekil 28.	c. $\emptyset=25^\circ$, $G_S=1.46$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	72
Şekil 28.	d. $\emptyset=30^\circ$, $G_S=1.58$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	73
Şekil 28.	e. $\emptyset=35^\circ$, $G_S=1.64$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	73
Şekil 28.	f. $\emptyset=40^\circ$, $G_S=1.77$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	73
Şekil 29.	a. $\emptyset=15^\circ$, $G_S=1.11$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	74
Şekil 29.	b. $\emptyset=20^\circ$, $G_S=1.22$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	74
Şekil 29.	c. $\emptyset=25^\circ$, $G_S=1.28$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	75
Şekil 29.	d. $\emptyset=30^\circ$, $G_S=1.37$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	75
Şekil 29.	e. $\emptyset=35^\circ$, $G_S=1.44$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	75
Şekil 29.	f. $\emptyset=40^\circ$, $G_S=1.65$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	76
Şekil 30.	$\emptyset=15^\circ$, $G_S=1.00$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	77
Şekil 31.	a. $\emptyset=15^\circ$, $G_S=1.36$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	77
Şekil 31.	b. $\emptyset=20^\circ$, $G_S=1.45$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	78
Şekil 31.	c. $\emptyset=25^\circ$, $G_S=1.62$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	78
Şekil 31.	d. $\emptyset=30^\circ$, $G_S=1.80$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	78
Şekil 31.	e. $\emptyset=35^\circ$, $G_S=1.91$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	79
Şekil 31.	f. $\emptyset=40^\circ$, $G_S=2.05$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	79
Şekil 32.	a. $\emptyset=15^\circ$, $G_S=1.26$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	80
Şekil 32.	b. $\emptyset=20^\circ$, $G_S=1.38$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	80
Şekil 32.	c. $\emptyset=25^\circ$, $G_S=1.54$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	80
Şekil 32.	d. $\emptyset=30^\circ$, $G_S=1.68$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	81
Şekil 32.	e. $\emptyset=35^\circ$, $G_S=1.79$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	81
Şekil 32.	f. $\emptyset=40^\circ$, $G_S=1.92$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	81
Şekil 33.	a. $\emptyset=15^\circ$, $G_S=1.18$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	82
Şekil 33.	b. $\emptyset=20^\circ$, $G_S=1.29$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	83
Şekil 33.	c. $\emptyset=25^\circ$, $G_S=1.46$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	83
Şekil 33.	d. $\emptyset=30^\circ$, $G_S=1.54$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	83
Şekil 34.	a. $\emptyset=15^\circ$, $G_S=1.43$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	84
Şekil 34.	b. $\emptyset=20^\circ$, $G_S=1.69$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	84
Şekil 34.	c. $\emptyset=25^\circ$, $G_S=1.88$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	85
Şekil 34.	d. $\emptyset=30^\circ$, $G_S=2.14$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	85
Şekil 34.	e. $\emptyset=35^\circ$, $G_S=2.26$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	85

Şekil 34.	f. $\emptyset=40^\circ$, $G_S=2.37$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	86
Şekil 35.	a. $\emptyset=15^\circ$, $G_S=1.34$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	86
Şekil 35.	b. $\emptyset=20^\circ$, $G_S=1.57$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	87
Şekil 35.	c. $\emptyset=25^\circ$, $G_S=1.75$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	87
Şekil 35.	d. $\emptyset=30^\circ$, $G_S=1.96$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	88
Şekil 35.	e. $\emptyset=35^\circ$, $G_S=2.14$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	88
Şekil 35.	f. $\emptyset=40^\circ$, $G_S=2.23$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	88
Şekil 36.	a. $\emptyset=15^\circ$, $G_S=1.20$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	89
Şekil 36.	b. $\emptyset=20^\circ$, $G_S=1.42$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	90
Şekil 36.	c. $\emptyset=25^\circ$, $G_S=1.61$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	90
Şekil 36.	d. $\emptyset=30^\circ$, $G_S=1.83$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	90
Şekil 37.	a. $\emptyset=15^\circ$, $G_S=2.14$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	91
Şekil 37.	b. $\emptyset=20^\circ$, $G_S=2.30$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	92
Şekil 37.	c. $\emptyset=25^\circ$, $G_S=2.43$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	92
Şekil 37.	d. $\emptyset=30^\circ$, $G_S=2.48$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	93
Şekil 37.	e. $\emptyset=35^\circ$, $G_S=2.58$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	93
Şekil 37.	f. $\emptyset=40^\circ$, $G_S=2.71$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	93
Şekil 38.	a. $\emptyset=15^\circ$, $G_S=1.20$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	94
Şekil 38.	b. $\emptyset=20^\circ$, $G_S=1.40$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	94
Şekil 38.	c. $\emptyset=25^\circ$, $G_S=1.63$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	95
Şekil 38.	d. $\emptyset=30^\circ$, $G_S=1.85$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	95
Şekil 38.	e. $\emptyset=35^\circ$, $G_S=2.11$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	95
Şekil 38.	f. $\emptyset=40^\circ$, $G_S=2.39$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	96
Şekil 39.	a. $\emptyset=15^\circ$, $G_S=1.06$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	96
Şekil 39.	b. $\emptyset=20^\circ$, $G_S=1.08$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	97
Şekil 39.	c. $\emptyset=25^\circ$, $G_S=1.15$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	97
Şekil 39.	d. $\emptyset=30^\circ$, $G_S=1.17$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	97
Şekil 39.	e. $\emptyset=35^\circ$, $G_S=1.26$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	98
Şekil 39.	f. $\emptyset=40^\circ$, $G_S=1.59$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	98
Şekil 40.	a. $\emptyset=15^\circ$, $G_S=1.86$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	99
Şekil 40.	b. $\emptyset=20^\circ$, $G_S=2.27$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	99
Şekil 40.	c. $\emptyset=25^\circ$, $G_S=2.41$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	99
Şekil 40.	d. $\emptyset=30^\circ$, $G_S=2.74$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	100

Şekil 40.	e. $\emptyset=35^\circ$, $G_S=2.86$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	100
Şekil 40.	f. $\emptyset=40^\circ$, $G_S=3.12$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	100
Şekil 41.	a. $\emptyset=15^\circ$, $G_S=1.64$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	101
Şekil 41.	b. $\emptyset=20^\circ$, $G_S=2.00$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	101
Şekil 41.	c. $\emptyset=25^\circ$, $G_S=2.11$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	102
Şekil 41.	d. $\emptyset=30^\circ$, $G_S=2.43$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	102
Şekil 41.	e. $\emptyset=35^\circ$, $G_S=2.68$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	102
Şekil 41.	f. $\emptyset=40^\circ$, $G_S=3.00$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	103
Şekil 42.	a. $\emptyset=15^\circ$, $G_S=1.48$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	103
Şekil 42.	b. $\emptyset=20^\circ$, $G_S=1.62$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	104
Şekil 42.	c. $\emptyset=25^\circ$, $G_S=1.79$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	104
Şekil 42.	d. $\emptyset=30^\circ$, $G_S=1.86$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	104
Şekil 42.	e. $\emptyset=35^\circ$, $G_S=2.00$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	105
Şekil 42.	f. $\emptyset=40^\circ$, $G_S=2.21$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	105
Şekil 43.	a. $\emptyset=15^\circ$, $G_S=1.97$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	106
Şekil 43.	b. $\emptyset=20^\circ$, $G_S=2.28$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	106
Şekil 43.	c. $\emptyset=25^\circ$, $G_S=2.63$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	106
Şekil 43.	d. $\emptyset=30^\circ$, $G_S=2.82$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	107
Şekil 43.	e. $\emptyset=35^\circ$, $G_S=3.06$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	107
Şekil 43.	f. $\emptyset=40^\circ$, $G_S=3.18$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	107
Şekil 44.	a. $\emptyset=15^\circ$, $G_S=1.83$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	108
Şekil 44.	b. $\emptyset=20^\circ$, $G_S=2.15$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	108
Şekil 44.	c. $\emptyset=25^\circ$, $G_S=2.45$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	109
Şekil 44.	d. $\emptyset=30^\circ$, $G_S=2.66$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	109
Şekil 44.	e. $\emptyset=35^\circ$, $G_S=2.95$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	109
Şekil 44.	f. $\emptyset=40^\circ$, $G_S=3.08$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	110
Şekil 45.	a. $\emptyset=15^\circ$, $G_S=1.71$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	110
Şekil 45.	b. $\emptyset=20^\circ$, $G_S=1.94$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	111
Şekil 45.	c. $\emptyset=25^\circ$, $G_S=2.28$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	111
Şekil 45.	d. $\emptyset=30^\circ$, $G_S=2.52$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	111
Şekil 45.	e. $\emptyset=35^\circ$, $G_S=2.72$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	112
Şekil 45.	f. $\emptyset=40^\circ$, $G_S=2.83$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi.....	112

Şekil 46.	$c=4 \text{ kN/m}^2$ için değişen içsel sürtünme açısı (\emptyset) ve şev açısı (β) değerlerine bağlı olarak homojen sonlu şevde değiştirilmiş Janbu yöntemiyle elde edilen güvenlik sayısı değerleri.....	113
Şekil 47.	$c=8 \text{ kN/m}^2$ için değişen içsel sürtünme açısı (\emptyset) ve şev açısı (β) değerlerine bağlı olarak homojen sonlu şevde değiştirilmiş Janbu yöntemiyle elde edilen güvenlik sayısı değerleri.....	114
Şekil 48.	$c=12 \text{ kN/m}^2$ için değişen içsel sürtünme açısı (\emptyset) ve şev açısı (β) değerlerine bağlı olarak homojen sonlu şevde değiştirilmiş Janbu yöntemiyle elde edilen güvenlik sayısı değerleri.....	115
Şekil 49.	$c=16 \text{ kN/m}^2$ için değişen içsel sürtünme açısı (\emptyset) ve şev açısı (β) değerlerine bağlı olarak homojen sonlu şevde değiştirilmiş Janbu yöntemiyle elde edilen güvenlik sayısı değerleri.....	116
Şekil 50.	$c=32 \text{ kN/m}^2$ için değişen içsel sürtünme açısı (\emptyset) ve şev açısı (β) değerlerine bağlı olarak homojen sonlu şevde değiştirilmiş Janbu yöntemiyle elde edilen güvenlik sayısı değerleri.....	117
Şekil 51.	$c=48 \text{ kN/m}^2$ için değişen içsel sürtünme açısı (\emptyset) ve şev açısı (β) değerlerine bağlı olarak homojen sonlu şevde değiştirilmiş Janbu yöntemiyle elde edilen güvenlik sayısı değerleri.....	118
Şekil 52.	Yapılan çalışma ile Fellenius şev stabilite yönteminin karşılaştırılması.....	120
Şekil 53.	Topuk daireleri için kullanılan Cousins şev stabilite abağı.....	120
Şekil 54.	Yapılan çalışma ile sürtünme dairesi yöntemine dayalı Cousins şev stabilite abakları analiz yönteminin karşılaştırılması.....	121
Şekil 55.	Yapılan çalışma ile Bishop şev stabilite yönteminin karşılaştırılması.....	122

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Farklı hareket tiplerine göre D/L oranları.....	12
Tablo 2. Varnes'a göre doğal şev kaymalarının sınıflandırılması.....	12
Tablo 3. Şev dengesinde etkenler.....	21
Tablo 4. Şev stabilitesi ıslah metodları.....	22
Tablo 5. Hong Kong Geoteknik Kontrol Ofisi'nin 1984 karayolu kazı projeleri için önerdikleri minimum güvenlik sayıları.....	27
Tablo 6. Farklı parametreler altında şevlerdeki güvenlik sayıları.....	27
Tablo 7. Şev stabilite analizi metodlarının özellikleri.....	30
Tablo 8. Dilim metodundaki bilinmeyen parametreler.....	34
Tablo 9. Literatürde kullanılan şev stabilite abakları.....	41
Tablo 10. Zemin cinsine göre kayma yüzeyleri tipleri.....	43
Tablo 11. Toplam ve efektif gerilme analizlerinin seçimi.....	46
Tablo 12. Optimizasyon probleminin karakteristik özelliğine göre sınıflandırılması.....	49
Tablo 13. Optimizasyon komutları ve kullanım amaçları.....	54
Tablo 14. 'fmincon' komutunun kullanımı.....	54
Tablo 15. 'fmincon' komutu parametrelerinin anlamları.....	55
Tablo 16. Analiz sonucu optimum kırılma derinlikleri ve minimum güvenlik sayısı.....	64
Tablo 17. Her bir dilim için açı, ağırlık ve itki açısı (δ) değerleri.....	65
Tablo 18. İlk adım için elde çözüm sonucunda ulaşılan 'ΔS' değerleri.....	67
Tablo 19. İkinci adım için programda yapılan analiz sonucunda bulunan 'ΔS' değerleri.....	68
Tablo 20. Üçüncü adım için programda yapılan analiz sonucunda bulunan 'ΔS' değerleri.....	68
Tablo 21. Dördüncü adım için programda yapılan analiz sonucunda bulunan nihai (optimum) 'ΔS' değerleri.....	69

SEMBOLLER DİZİNİ

AASHTO	: Amerikan Hükümeti Karayolları ve Ulaşım Kurumu
c	: Kohezyon
c'	: Efektif gerilmelere göre kohezyon
C	: Kohezyon kuvvetlerinin bileşkesi
D	: Kayma yüzeyinin yamaç yüzeyinden derinliği
D_H	: Kayma dairesi yüksekliği
E	: Dilimler arası normal kuvvet
F_d	: Kayma yüzeyi boyunca direnen kuvvetler
F_k	: Kayma yüzeyi boyunca kaydıran kuvvetler
$f(x)$: Hedef (amaç) fonksiyonu
f_0	: Ampirik bir düzeltme faktörü
$g_j(x)$: Eşitsizlik tipindeki kısıtlayıcılar
G_s	: Güvenlik sayısı
$h_k(x)$: Eşitlik tipindeki kısıtlayıcılar
h_t	: Şev dilimine ait geometrik yükseklik
H	: Şev yüksekliği
L	: Kayan kütlelerin maksimum uzunluğu
M_d	: Bir noktadaki direnç gösteren momentler
M_k	: Bir noktadaki kaydıran momentler
N	: Şev dilimine ait normal kuvvet
r_u	: Boşluk basınç oranı
R	: Kayma yarıçapı
S	: Dilimler arası kesme kuvveti
T	: Şev dilimine ait kayma kuvveti
u	: Boşluk suyu basıncı
W	: Şev dilim ağırlığı
X	: Tasarım değişkenleri
z	: Çekme çatlağı derinliği
Z	: Sağlam tabakaya kadar olan derinlik
α	: Şev dilimine ait açı değeri

β	: Şev açısı
\emptyset	: İçsel sürtünme açısı
\emptyset'	: Efektif içsel sürtünme açısı
\emptyset_r	: Kalıntı (rezidüel) içsel sürtünme açısı
γ	: Zeminin birim hacim ağırlığı
γ_n	: Zeminin doğal birim hacim ağırlığı
σ	: Toplam normal gerilme
τ	: Zemin kütleindeki kayma gerilmesi
τ_f	: Zemin kütleindeki kayma mukavemeti
δ	: Şev dilimine ait itki açısı
∇	: Gradyan vektör
Δx	: Şev dilimlerine ait yatay genişlik
ΔS	: Dilimler arası kesme (düşey) kuvveti farkı
ΔE	: Dilimler arası normal (yatay) kuvvet farkı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Geoteknik mühendisliğinde, zemin - kaya yüzeylerinin oluşturdukları kütlelerin, yatay bir düzlemle açı yapan eğimli yüzeyine 'şev' adı verilmektedir. Şevlerin kendi ağırlıkları ve ek yüklemeler altında kayma veya göçme hareketlerine karşı, proje süresi boyunca sergiledikleri yapısal performansa ise 'şev stabilitesi (duraylılığı)' denilmektedir. Şev stabilitesi ise geoteknik mühendisliğinde inşaat mühendislerinin, geçmişten günümüze uzanan periyotta, üzerinde önemle durdukları konulardan birisidir. En başlarda yalnızca doğal şev kaymalarını irdeleyen mühendisler, artan insan nüfusu ve ihtiyaçlarla birlikte, çeşitli amaçlar için inşa edilen yapay şevlerin stabilitesiyle de ilgilenmeye başlamışlardır. Özellikle 1900'lü yılların ilk yarısında hız kazanan mühendislik ve madencilik çalışmaları, büyük miktarda ve gittikçe derinleşen ya da taban ve tavanı arasındaki kot farkı gittikçe artan kazıları gerektirmiş ve bütün bu çalışmaların sonucunda, şev olarak adlandırılan çok yüksek eğimli yüzeyler oluşmuştur. Derin ya da yüksek kot farklı kazılar sonucu oluşan şevlerde (yapay şev), zamanla duraylılık problemleri ortaya çıkmış ve büyük kazalar meydana gelmeye başlamıştır. Duraylılık sorunları ise bu konuda çalışan bilim insanlarını, bu sorunlar hakkında çeşitli çalışmalar yapmaya itmiştir [1]. Bunun sonucunda, mühendislikteki gelişmelere bağlı olarak doğal şevlerin yanında, yapay şevlerdeki stabilite kayıpları da önem kazanmıştır.

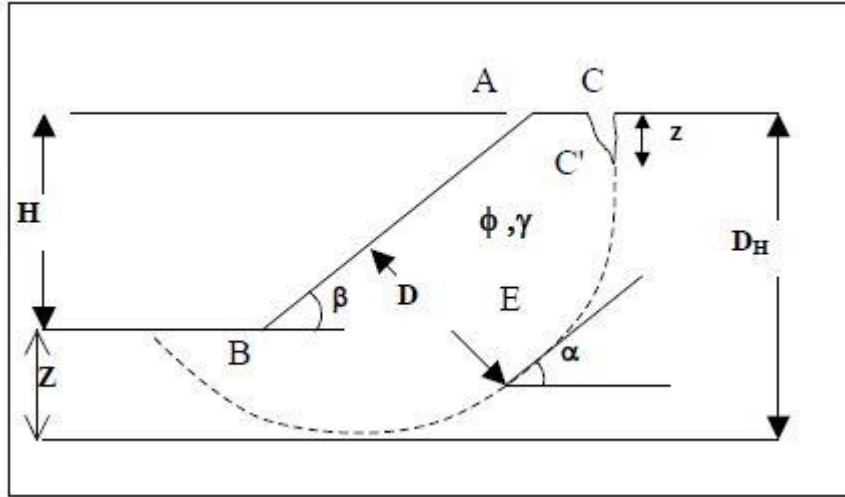
Şevlerle şekillendirilmiş zemin - kaya kütlelerinin verilen proje süresi ve yükleme koşulları (kazı ve yükleme makinalarının taban basınçları, yapı temel yükleri, yeraltı su seviyesinin değişimleri, su yükleri, depremsellik ile ilgili yükler, vb.) altında denge konumlarını araştıran 'stabilite analizi' zemin ve kaya mekaniğinin temel konularından birisidir. Stabilite analizinde temel amaç, tasarlanan şev kütlelerinin verilen işletme ve yükleme koşulları için 'güvenlik sayısı'nın (şev kaymasına karşı direnen kuvvetler / şevi kaydırmaya sebep olan kuvvetler) belirlenmesidir. Şev stabilite analizinde sürekli yinelenen temel yaklaşım, en kritik kayma yüzeyini araştırarak minimum güvenlik sayısını belirlemektir [2].

Şev stabilite (duraylılık) analizlerinde bilgisayar destekli programların kullanılması, hem stabilitenin ilk aşaması olan proje hazırlanma aşamasını hızlandıracak hem de birçok

parametreyi bünyesinde bulunduran analiz aşamasını zaman tasarrufu sağlayarak gerçekleştirecektir. Bu bilgisayar programlarıyla hesaplanan güvenlik sayıları; şevlerde kaymaya yol açan kuvvetlere, şev kırılma yüzeylerinin cinsine, şev kırılma derinliklerine, şevi oluşturan zemin tabakalarının özelliklerine ve kullanılan stabilite yöntemlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

1.2. Bir Şeve Ait Parametrelerin Tanıtılması

Şev için genel anlamda bir tanım yapmak gerekirse bu tanım “doğal veya yapay oluşturulmuş bir zemin kitlesini belirli bir açı ile sınırlayan eğik yüzey” olarak verilebilir. Eğik yüzey bir düzlem olabileceği gibi birbirlerini takip eden düzlemlerden de oluşabilir [3]. Şekil 1’de tipik bir şeve ait parametreler gösterilmektedir.



Şekil 1. Bir şevin geometrik özellikleri [4].

Burada;

H: Şev yüksekliği,

c: Kohezyon,

Ø: İçsel sürtünme açısı,

γ: Zeminin birim hacim ağırlığı,

β: Şev açısı,

D: Kayma yüzeyinin yamaç yüzeyinden derinliği,

E: Kayma yüzeyinin herhangi bir noktadaki eğimi,

c' : Efektif gerilmelere göre kohezyon,

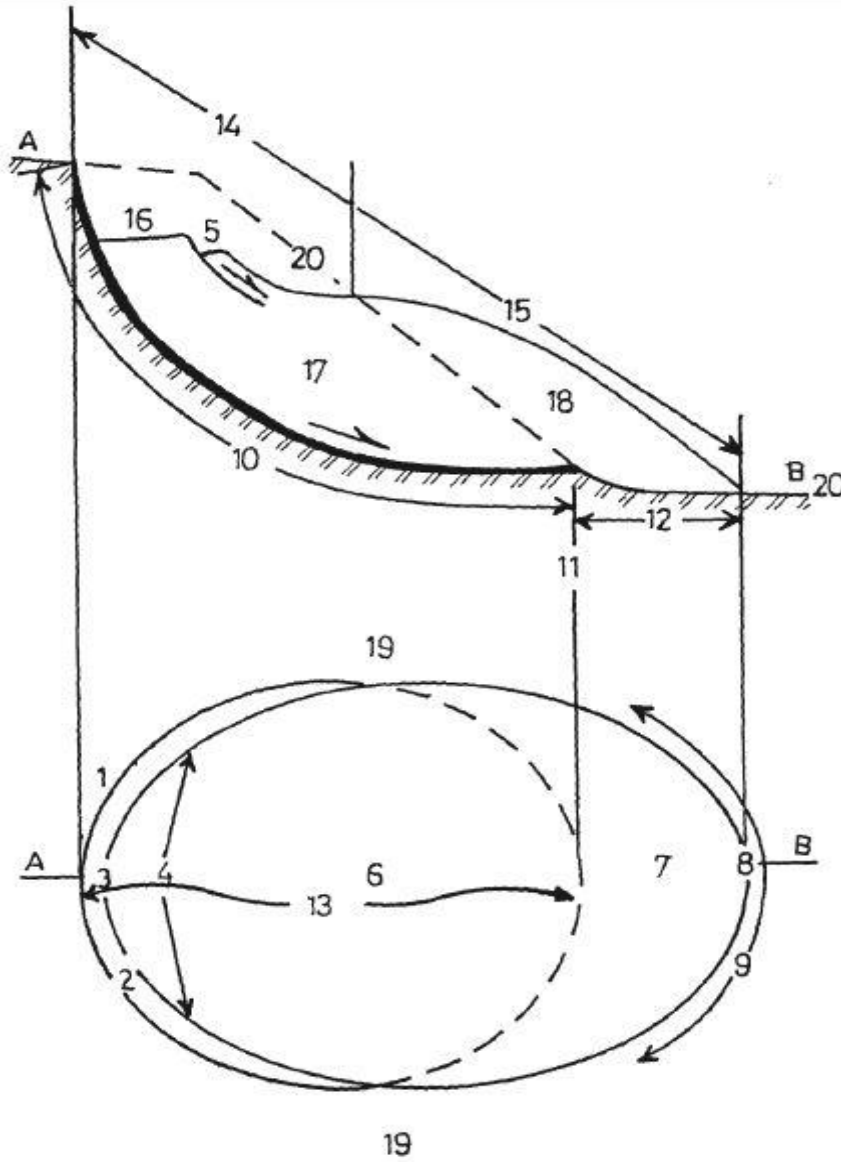
D_H : Kayma dairesi yüksekliği,

z : Çekme çatlağı derinliği,

Z : Sağlam tabakaya kadar olan derinlik,

α : Kayma mukavemeti açısı olarak adlandırılmaktadır [4].

Bir şevin analiz edilmesi sırasında şeve ait bilinmesi gereken tanımlar, İkinci Ulusal Heyelan Sempozyumu'nda önerilen heyelan sözlüğündeki gibi tanımlanmış ve aşağıda yer alan Şekil 2 üzerinde gösterilmiştir [5].



Şekil 2. Bir şevin önemli kısımlarına ait gösterim [5].

1. Şev tacı: Ana aynanın en üst bölümüne yakın olan stabil malzemenin bulunduğu yerdir.
2. Ana ayna: Şevin üst ucunda yer alan ve heyelandan etkilenmeyen bölgeden hareket eden kütle ile ayrılmasıyla oluşan, düşey veya düşeye yakın olan yüzeydir. Kısaca, kopma yüzeyinin görünen bölümü olarak adlandırılmaktadır.
3. Şevin tepesi: Şev kütlesi ile ana ayna arasındaki en yüksek noktadır.
4. Şevin üstü: Ana ayna ile hareket eden kütle arasında var olan bölgenin üst kısımlarıdır.
5. Tali ayna: Zamanla yer değiştiren şev kütlesi içinde farklı hareketlerden oluşmuş, düşey veya düşeye yakın bir yüzeydir.
6. Şev gövdesi: Kayma yüzeyi burnu ile ana ayna arasında kalan ve kayma yüzeyi üzerinde bulunan kütledir.
7. Şev eteği: Şev topuğunun ötesine kadar hareket ederek doğal arazi üzerine oturan bölgedir.
8. Şev ucu: Şevin tepesinden topuğuna kadar gelen kısımdır.
9. Şev topuğu: Ana aynadan en uzakta bulunan ve hareket eden kütle ile genellikle eğrisel olan alt ucudur.
10. Kayma yüzeyi: Doğal zemin yüzeyinin altında kalan, kayan kütle ile hareket ettiği, şev tepesi ile topuk arasında kalan yüzeydir.
11. Kayma yüzeyi burnu: Şevin kayma yüzeyinin genellikle gömülü olan alt bölümü ile doğal arazi yüzeyinin kesiştiği noktadır.
12. Ayrılma yüzeyi: Doğal arazi yüzeyinin, şevin eteği altında kalan kısımdır.
13. Şev kütlesi: Şevde meydana gelen heyelan sonucu doğal yerinden kopmuş olan, kayıp ve kabarma kütlelerini içeren malzemedir.
14. Kayıp bölge: Şev kütlelerinin doğal arazi yüzeyi altında kalan bölgesidir.
15. Birikim bölgesi: Şev kütlelerinin, ilk haldeki doğal arazi yüzeyi üstünde kalan kısmıdır.
16. Çöküntü: Ana ayna, çöküntü kütlesi ve doğal arazi yüzeyi arasında kalan hacimdir.
17. Çöküntü kütlesi: Başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi seviyesi altında kalan ve kayma yüzeyi üzerinde bulunan şev kütlesidir.
18. Kabarma: İlk haldeki doğal arazi yüzeyi üzerinde yükselen ve kayan zeminin birikmesiyle oluşan bölgedir.

19. Kanatlar: Kayma yüzeyinin yanlarında kalan, stabil malzemedir. Kanatları tanımlamak için pusula yönleri kullanılmalıdır.

20. Doğal arazi yüzeyi: Kütle hareketi oluşmadan önce arazinin kesitte görülen yüzeyidir.

1.3. Şev Hareketlerinin Tanımlanması

Şev stabilite (duraylılık) araştırmalarındaki amaç; zemin yapılarında, kazılarda ve dolgularda istenilen sonuca güvenilir ve ekonomik yoldan ulaşmaktır. İlk aşama olarak malzeme, geoteknik, çevre ve ekonomik alandaki parametreler incelenmelidir. Ardından incelenen şeve uygun olan stabilite analizini belirleyebilmek için şevin doğası, büyüklüğü ve olası göçme nedenleri araştırılmalıdır. Konunun böyle geniş bir alanı kapsamaması, mühendislik jeolojisinden, zemin ve kaya mekaniğine kadar birçok dalı da içine almayı zorunlu kılmaktadır.

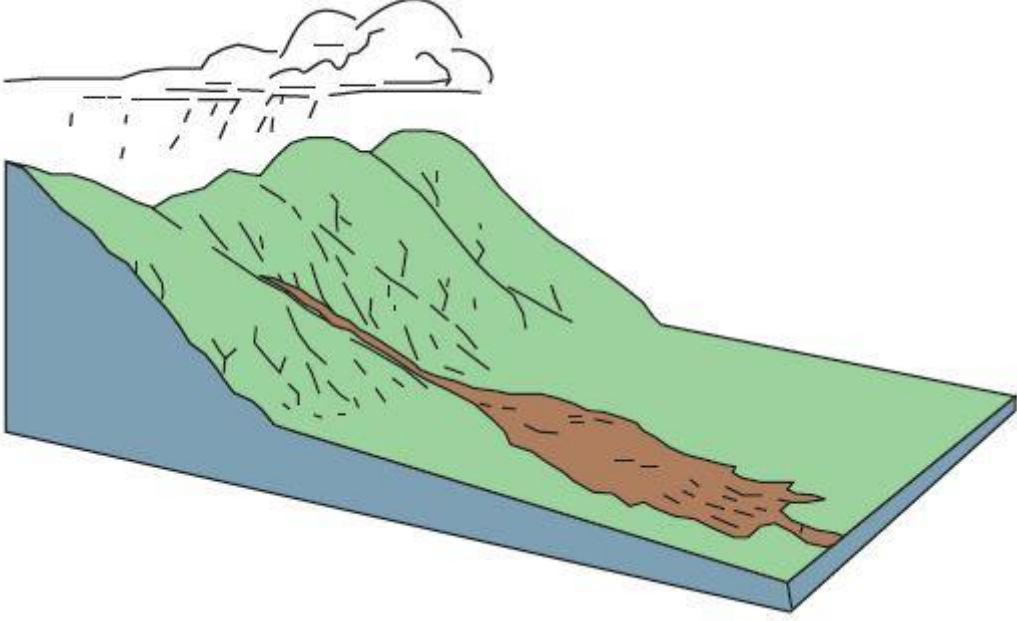
Gelişen teknolojiyle birlikte şev hareketleri önemli boyutlar kazanmış, buna bağlı olarak da mühendislik yapılarındaki yapay dolgu ve yarma şevlerinin etüdü ve projelendirilmesi, stabilite anlamında yenilmiş şevlerde, hasarın giderilmesi ve gerekli önlemlerin alınması adına önemli bir boyuta ulaşmıştır [6].

Zemin mekaniği literatürüne göz atmak gerekirse; heyelanlar ve şev kaymaları farklı anlamlarda kategorize edilmektedir. Skempton ve Hutchinson, zemin ve kaya kütlelerinde bir ya da birkaç yüzey boyunca kesme mukavemetinin azalmasından doğan tüm şev hareketlerini heyelan olarak nitelendirmişlerdir [7]. Varnes ise heyelanlarla şev hareketlerini aynı çatı altında tanımlayarak ikisine de kaymalar adını vermiştir [8]. Bazı Japon araştırmacılar da, dik şevlerde oluşan hareketleri şev kayması, yatık şevlerdeki hareketleri ise heyelan olarak adlandırmışlardır [9]. Türk araştırmacılar da bu tanımlamalardan farklı olarak doğal yamaçlar için heyelan terimlerini, yapay yamaçlar için ise şev, kayma, akma ve göçme terimlerini kullanmışlardır [10].

1.4. Şev Duraylılığına Etki Eden Faktörler

Her şev; kar, don, yağmur, rüzgâr gibi hava tesirlerine, deprensellik gibi dinamik etkilere ve bazen de deniz ve nehirlerin alttan oyma tesirlerine maruz kalmaktadır.

Bunların etkisi birleştğinde, şev yavaş yavaş yatıklaşır ve uzar. Aşağıda, bu olaylardan etkilenen ve bunun sonucunda yenilen şevlere ait örnekler gösterilmiştir.



Şekil 3. Yağmurun etkisiyle şevde meydana gelen akma [11].



Şekil 4. Kanada'da görülen nehirdeki akıntı etkisiyle şevde meydana gelen akma[11].

Şev kaymaları bazen ani olarak oluşur. Bazen de şev tepesinde çatlakların oluşması, şev topuğuna yakın kısımların kabarması gibi belirtilerin sonradan toptan bir kaymaya dönüşmesi gibi uzun bir süreçte de meydana gelebilir.



Şekil 5. Kanada'da görülen bir vadiye ait şevde meydana gelen toprak kayması [11].

Şevlerin davranışına ilişkin yürütülen ayrıntılı çalışmalar, duraylılığa; şev geometrisi, jeolojik yapısal özellikler, yeraltı suyu koşulları, deprensellik ve malzemenin özellikleri gibi faktörlerin sebep olduğunu ortaya koymuştur [12].

1.4.1. Şev Geometrisi ve Jeolojik Yapısal Özellikler

Şevlerde herhangi bir duraysızlığın kinematik olasılığı ve türü, şev geometrisi ve konumu ile jeolojik yapı tarafından belirlenir. Bu bakımdan;

- Şev yüksekliği,

- Şev açısı,
- Süreksizliklerin eğimi ve eğim yönü,
- Süreksizliklerin boyutu (sürekliliği), sıklığı,
- Gerilme çatlaklarının derinliği (mevcutsa) belirlenmelidir [12].

1.4.2. Yeraltı Suyu Koşulları

Heyelanlara sık rastlanılan Norveç'te yapılan istatistiklere göre kayma frekansı, karların eridiği Nisan ile yağışın bol olduğu Ekim aylarında yükselmektedir. Yağan yağmur ve eriyen karın şev stabilitesi üzerindeki etkilerinden en önemlisi, zemindeki kayma mukavemetlerini azaltmasıdır. Bu durum, örtü tabakasını oluşturan toprak ya da atık malzemelerin 'sıvılaşmaya' uğramasına neden olabilir. Şev duraylılığındaki kritik önemine karşın yeraltı suyu basıncı, araştırma konusunda pek de dikkate alınmayan bir parametre olarak göze çarpmaktadır [12]. Bu yüzden mühendis, özellikle sonbahar-kış aylarındaki şiddetli yağışlardan sonra yeraltı su seviyesinin yükseleceğini, diğer bir deyişle; şevin boşluk basınç oranının büyük değerler alabileceğini daima göz önünde bulundurmalıdır. Ayrıca çamurtaşı gibi içeriğinde kil bulunan şevler, şiddetli yağışlardan sonra kuruyarak bünyesindeki fisürleşme (ince çatlak oluşumu) daha da yaygın hale gelebilir ve şiddetli yağış sonrasında, şev stabilitesini tamamen kaybederek göçebilir [13]. Ayrıca çamurtaşında gözlenen ayrışmanın boyutu, özellikle kayma mekanik büyüklüklerini (kohezyon ve içsel sürtünme açısı) azaltarak şevin stabilitesini olumsuz yönde etkiler. Diğer taraftan bunların aksine, şev yüzeyinde suyun bir 'dış kuvvet' gibi etkilemesi de stabiliteyi arttıran etken olarak karşımıza çıkabilmektedir [14].

1.4.3. Malzeme Özellikleri

Şev duraylılık analizinde kullanılan malzeme özellikleri; kohezyon, içsel sürtünme açısı ve zeminin yoğunluğudur. Bu parametreler denge sınırı yöntemine göre güvenlik sayısının hesaplanmasında kullanıldığından özellikle kohezyon ve içsel sürtünme açısındaki küçük değişiklikler, güvenli şev yüksekliği ve şev açısında önemli değişiklikler meydana getirmektedir. Bu faktörlere ek olarak şev kütlelerinin dayanımı, şevdeki gerilmeler ve deformasyonlar da ayrıntılı şev duraylılık analizlerinde dikkate alınmaktadır [12].

1.4.4. Depremsellik Etkisi

Sıvılaşma genç ve suya doymuş çökellerde oluşmaktadır. Yanal yayılma, sıvılaşan zemin seviyesinin üzerinde, zeminin geniş bloklara ayrılması ve blokların yüzey topografyasının eğimi yönünde hareket etmesidir. Bu hareket, depremden kaynaklanan dinamik kuvvetlerin, statik kuvvetlerle birlikte etkimesiyle oluşmaktadır. Yanal yayılma, genellikle eğimi çok küçük (0.3-3 derece) olan yamaçlar boyunca ve nehir yatağı, göl veya deniz kıyısı gibi harekete engel olmayacak serbest yüzeylere doğru gelişir. Yatay yöndeki hareket birkaç santimetreden onlarca metreye kadar ulaşabilir. Hareket sırasında zemin yer değiştirir, bloklara ayrılır ve buna bağlı olarak zeminde; fisürler, kırıklar, küçük çöküntüler ve yükselmeler gözlenir. Kısaca, yanal yayılmanın yol açtığı hasarlar, zeminin üzerindeki yapıların yoğunluğuna bağlı olarak çok ciddi boyutlara ulaşabilmektedir [15].

1.5. Şev Kayma Tipleri ve Hareketlerinin Sınıflandırılması

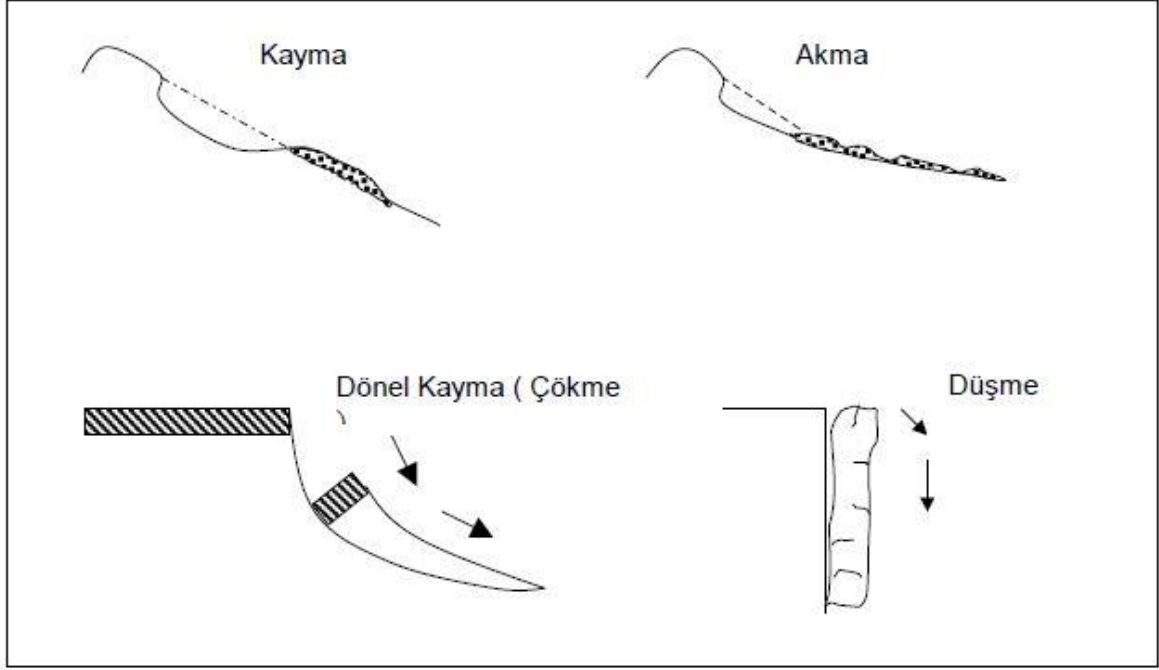
Şev, mevcut arazi yüzeyi ile ya da yatayla belirli bir açı yapan zemin kütlesi olarak tanımlanabilir. Zemin ya da kaya şevlerin özellikleri, arazide buldukları doğal denge durumları ve etkisi altında kaldıkları yükler birbirinden farklı olduğu için her şevin kendine ait özel koşullarda değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, çoğu araştırmacının yaptığı gibi şev kaymalarını tanımlamak ve sınıflandırmak olası problemi çözme adına zaman tasarrufu sağlayacaktır. Ayrıca çeşitli zemin cinslerine göre, çok sayıda faktörün sebebiyet verdiği bu problem, sınıflandırma yapan kimsenin önem verdiği yöne bağlı olarak değişmektedir. Sınıflandırmalar, genelde aşağıdaki parametrelere bağlı olarak yapılmaktadır.

1. Kayma yüzeyinin ve etkilenen alanın morfolojisi,
2. Hareketin tipi, boyutu, sebepleri ve miktarı,
3. Hareketin hızı,
4. Kayan zeminin, yerini aldığı kütle için yer değiştirme derecesi [6].

Oldukça basit ve kullanışlı bir şev hareketi sınıflandırılması Blong [16] tarafından önerilmiştir. Buna göre şev hareketleri aşağıda gösterildiği gibi dört ana gruba ayrılmıştır.

1. Kaymalar,
2. Dönel kaymalar ve çökmeler,
3. Akmalar,

4. Düşmeler.



Şekil 6. Blong tarafından yapılan şev hareketleri sınıflandırılması [16].

1.5.1. Akma Türü Yenilmeler

Akmalar, belirgin bir kayma yüzeyine sahip olmayıp zeminin çok değişik deformasyon özellikleri gösterdiği ve kütle hareketinin hakim olduğu şev hareketleridir. Hareket eden kütle içerisindeki kayma yüzeyleri çoğunlukla görülmez veya çok kısa ömürlü olur. Genellikle sağlam bir zemin üzerine oturmuş dolgu zeminlerde, çoğu zaman şiddetli yağış ve kar erimesi ile tetiklenen su oluşumuna bağlı olarak gelişen bir duraysızlık türüdür. Boşluk suyu basıncı, zeminin kayma dayanım büyüklüklerini (c , ϕ) azaltarak gevşek ve zayıf bir yapı oluşturmakta, adeta bir akışkan (sıvı) gibi davranıp akmasına neden olmaktadır.

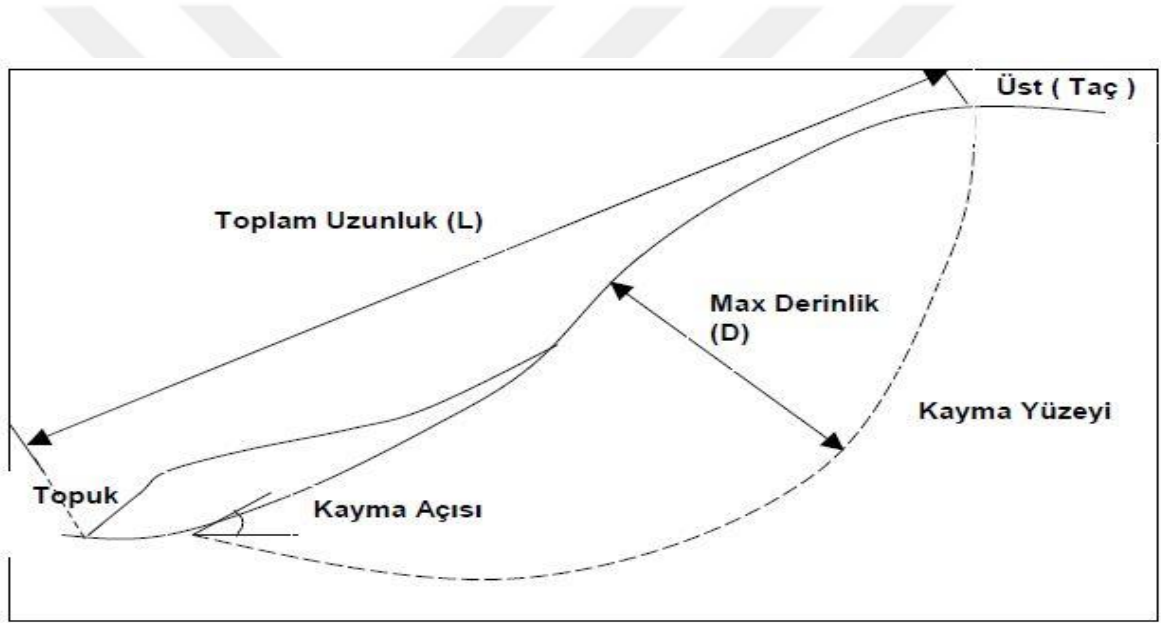
1.5.2. Düşme Türü Yenilmeler

Düşmeler, kütlelerin dik bir yamaçtan koparak yer çekimi etkisiyle serbest düşme, sıçrama, sekme veya yuvarlanma hareketi yapması olarak tanımlanabilir. Hareketin, hızlıdan çok hızlıya doğru değiştiği bu tür stabilite bozukluklarında, hareket eden kütlelerin

birbirine etkisi ya çok azdır ya da hiç yoktur. Genellikle dik ve yüksek artkzemin şevleri veya ayrılmış eklemli kayalarda gözlenmektedir. Eklem doğrultuları boyunca kayma dayanımını kaybeden şev kütleleri, serbest düşme yoluyla stabilitelerini kaybetmektedirler [4].

Skempton, kayma sırasında hareket eden kütlenin boyutlarıyla, kayma tipi arasında önemli bir ilişki saptamıştır. Arazide yapılan ölçmelere göre de belirli kayma türlerinin, farklı kayma derinliği (D) / kayan kütlenin yamaç uzunluğu (L) oranlarını verdiği saptanmış ve bu orana göre sınıflandırma yapılmıştır [17].

Aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere; D, kaymanın maksimum derinliğini, L ise kayan kütlenin maksimum uzunluğunu vermektedir.



Şekil 7. Skempton' a göre sınıflandırmada şev geometrisi [17].

D/L oranına göre belirlenen hareket tipleri de Tablo 1'de gösterilmektedir.

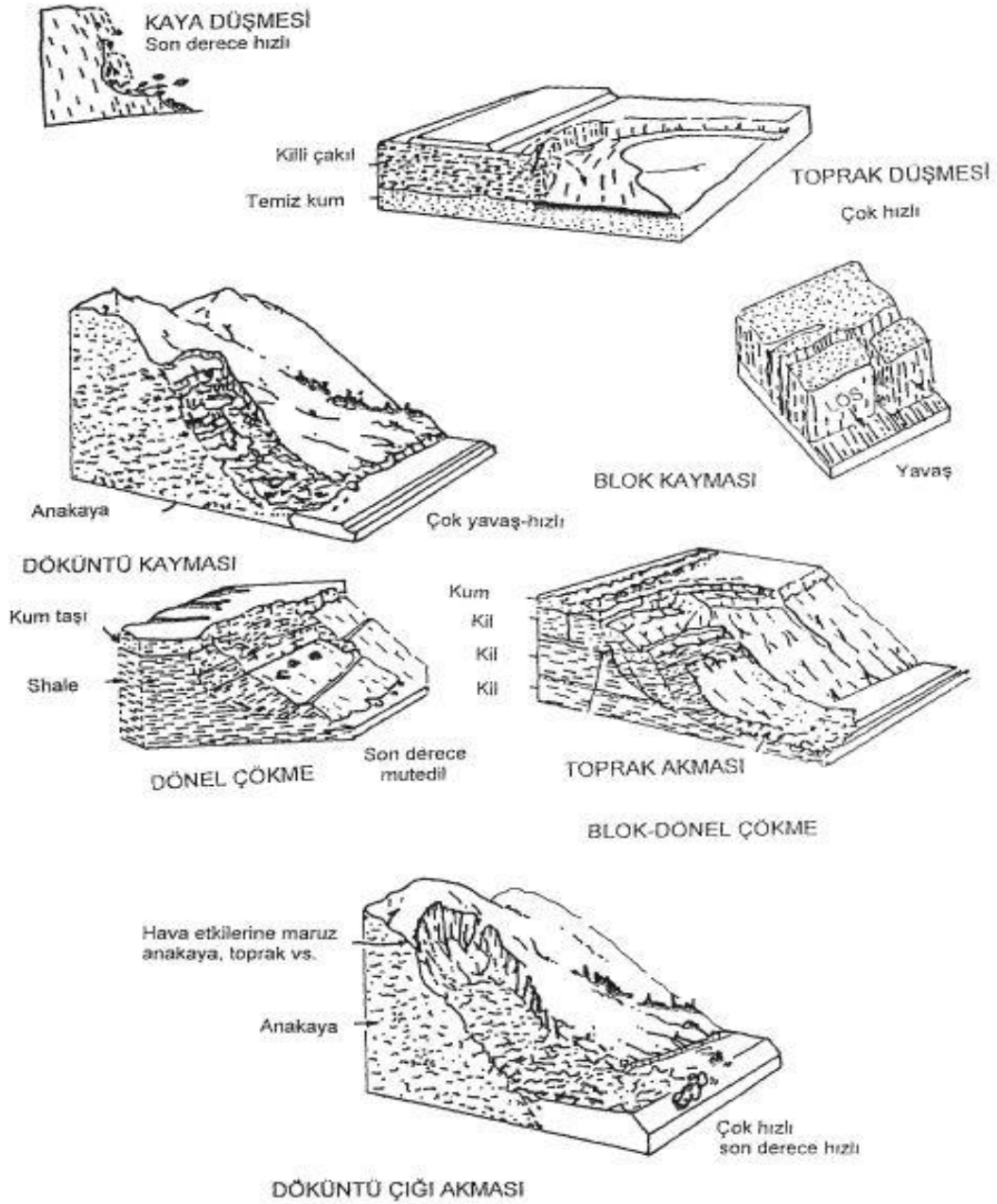
Tablo 1. Farklı hareket tiplerine göre D/L oranları [17].

HAREKET TİPİ	D/L (%)
Akmalar	0.5-3
Kaymalar	5-10
Dönmeler	15-30

Şev hareketlerine dair bir diğer sınıflandırmada Varnes tarafından yapılmıştır. Varnes yaptığı çalışmada şev kayma tiplerini sınıflandırmak için yavaş sayılabilecek hareketten, çok hızlı sayılabilecek harekete kadar olan şevleri incelemiştir. Varnes'ın sınıflandırma sisteminin ilgi görmesinin nedeni Şekil 8'de görüldüğü gibi sistemin üç boyutlu olarak sunulmasıdır [8]. Varnes, sınıflandırmada öncelikle göz önüne alınması gereken kriterlerin hareket tipi ve ardından malzeme cinsi olması gerektiğini belirtmiş ve sonuç olarak Tablo 2'de verilen sınıflandırmayı hazırlamıştır [18].

Tablo 2. Varnes' a göre doğal şev kaymalarının sınıflandırılması [18].

HAREKET TİPİ	MALZEME ÖZELLİĞİ		
	ANA KAYA	İRİ	İNCE
DÜŞME	Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Toprak Düşmesi
DEVİRİLME	Blok Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Toprak Göçmesi
DÖNEL KAYMA	Kaya Çökmesi	Moloz Çökmesi	Zemin Yayılması
DÜZLEMSEL KAYMA	Blok Kayma	Moloz Kayması	Zemin Kayması
YANAL YAYILMA	Kayma Yayılması	Moloz Yayılması	Zemin Akması
AKMA	Kaya Akması (Derin Sünme)	Moloz Akması (Zemin Sünmesi)	Zemin Akması (Zemin Sünmesi)



Şekil 8. Varnes'in sınıflandırma sistemi [8].

1.5.3. Kayma Türü Yenilmeler

Kaymalar, bir ya da birkaç yüzey boyunca kayma gerilmesinin, kayma mukavemetini aştığı durumlarda oluşur ve esas olarak etkilenen yüzeye paralel olarak gelişir. Ancak bazı durumlarda da kırılma ve akmanın bir noktadan başlayıp giderek yayılması söz konusu olabilir. Kayma türü yenilmeler, kendi içinde dört esas gruba ayrılmaktadır. Bunlar; düzlemsel kayma, dairesel kayma, kama tipi kayma ve devrilmedir.

1.5.3.1. Düzlemsel Kayma

Genellikle yenilme yüzeyi doğrusal olup bir katmanın zayıflık düzlemi (süreksizlik, tabakalaşma yüzeyi, fay, vb.) boyunca yer değiştirmesi sonucunda oluşur. Zayıflık düzleminde kayma dayanımı büyüklüklerinin yanı sıra bu düzlem boyunca hareket eden suyun oluşturduğu kaldırma kuvvetinin büyüklüğü de stabilite üzerinde etkilidir. Belirgin yapısal düzene (süreksizlikler, ayrışmaya maruz kalmış çatlaklı yüzey katmanları, ana kaya üzerinde yer alan geçirimsiz yamaç molozları, vb.) sahip kohezyonlu ve kohezyonsuz zemin ile kaya kütlelerinde gözlenir.

1.5.3.2. Dairesel Kayma

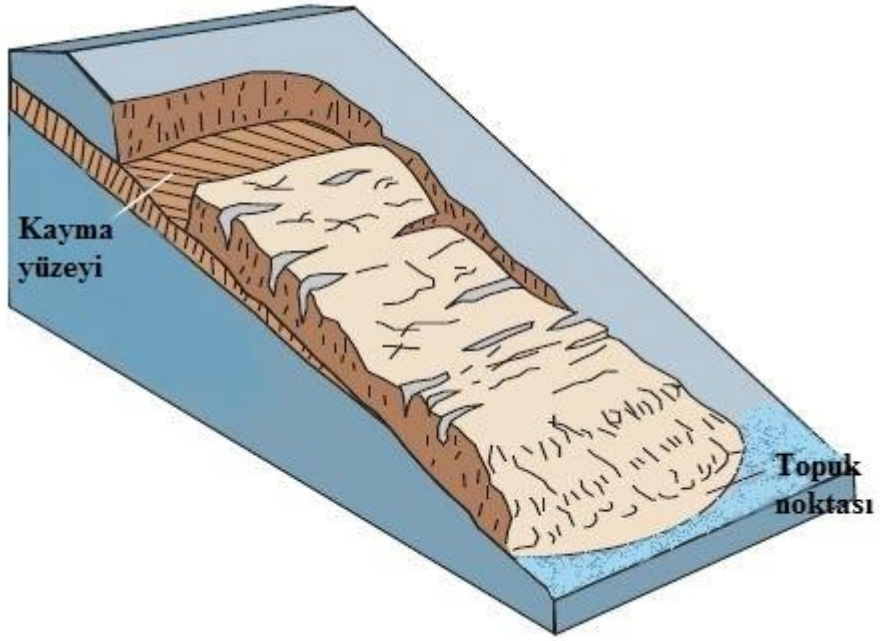
Bu tür yenilmelerde kayma yüzeyinin geometrik formu daireseldir. Kayma yüzeyinin derinliğine göre dairesel kaymalar üç gruba ayrılır.

1. Sığ (yüzeysel) şev kayması,
2. Topuk şevi kayması,
3. Taban şevi kayması.

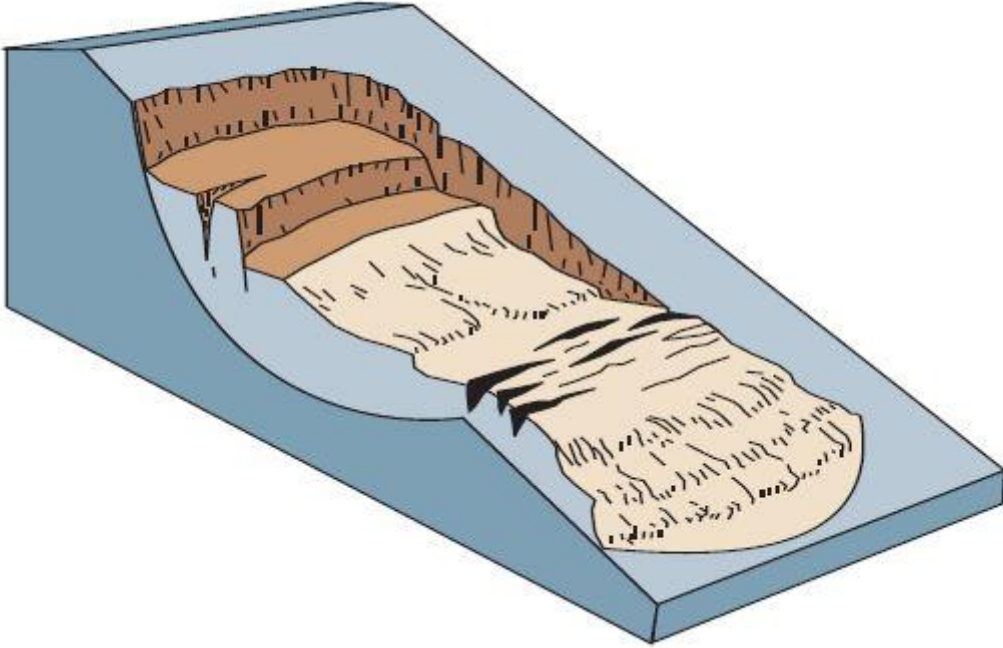
Verilen şev geometrisinde ince daneli zeminin kohezyon büyüklüğü şev derinliğinde artıyorsa, bu şevin yenilme modu ‘yüzeysel şev kayması’ ya da ‘topuk şevi kayması’ adını alır. Bu tür şev yenilme modları, makaslama (kesme) gerilmelerinin topukta yoğunlaşması sonucu, kaymanın topuktan geçtiği kayma daireleridir. Kohezyon büyüklüğünün sabit olması durumunda, daha derin yenilme yüzeyi gözlenir. Genellikle yenilme yüzeyinin derinliği, şevin hemen altında yer alan sıkı / sert-sağlam bir katmanın yüzeyi tarafından denetlenir. Daha sağlam katmanın yüzeyiyle sınırlanan bu tür şev kaymasına ‘taban şevi kayması’ denilmektedir.

Bu kayma tipleri, yapısal özelliklerin görülmediği; homojen zeminlerin şevlerinde, dolgu şevlerinde, toprak / kaya dolgu baraj şevleri ve ayrışmış-çatlaklı kaya kütlelerinin şevlerinde gözlenmektedir [2].

Şekil 9 ve 10’da topuk ve taban şevi kaymalarına ait örnekler gösterilmiştir.



Şekil 9. Zeminde topuk şevi kayması [11].



Şekil 10. Zeminde taban şevi kayması [11].

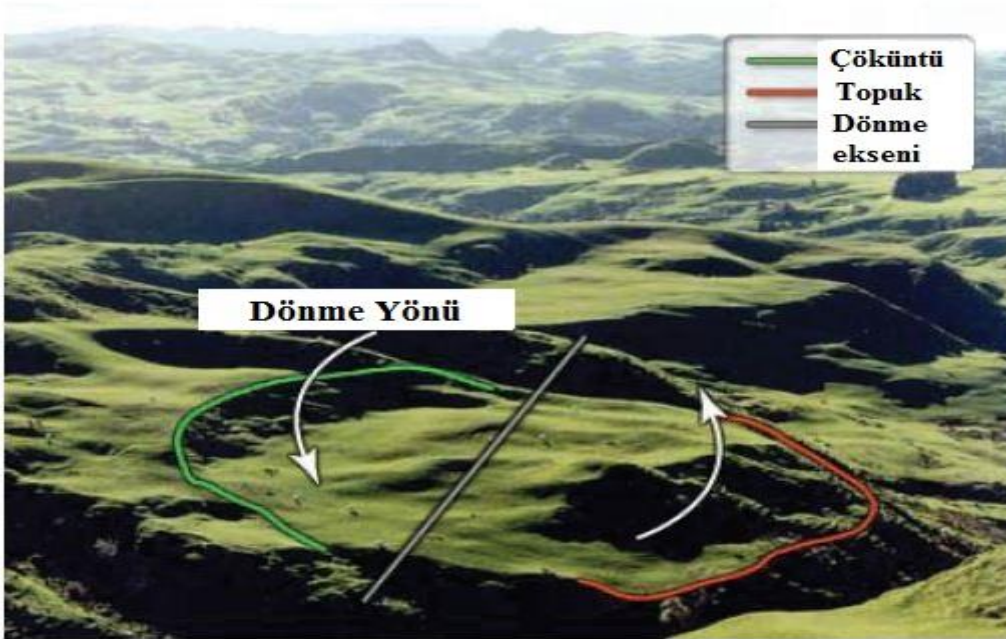
1.5.3.3. Kama Tipi Kayma

Kama tipi yenilme, bir doğru boyunca kesişen iki süreksizliğin oluşturduğu tetrahedral (dört tane üçgen yüz) bir kama bloğunun, eğimi şevinkinden daha yatık olan kesişme hattı boyunca öne doğru hareket etmesi sonucu meydana gelir. Eklemlili (çatlaklı) kayalarda kesişen iki süreksizlik üzerinde belirgin olmaktadır [19].

1.5.3.4. Devrilme

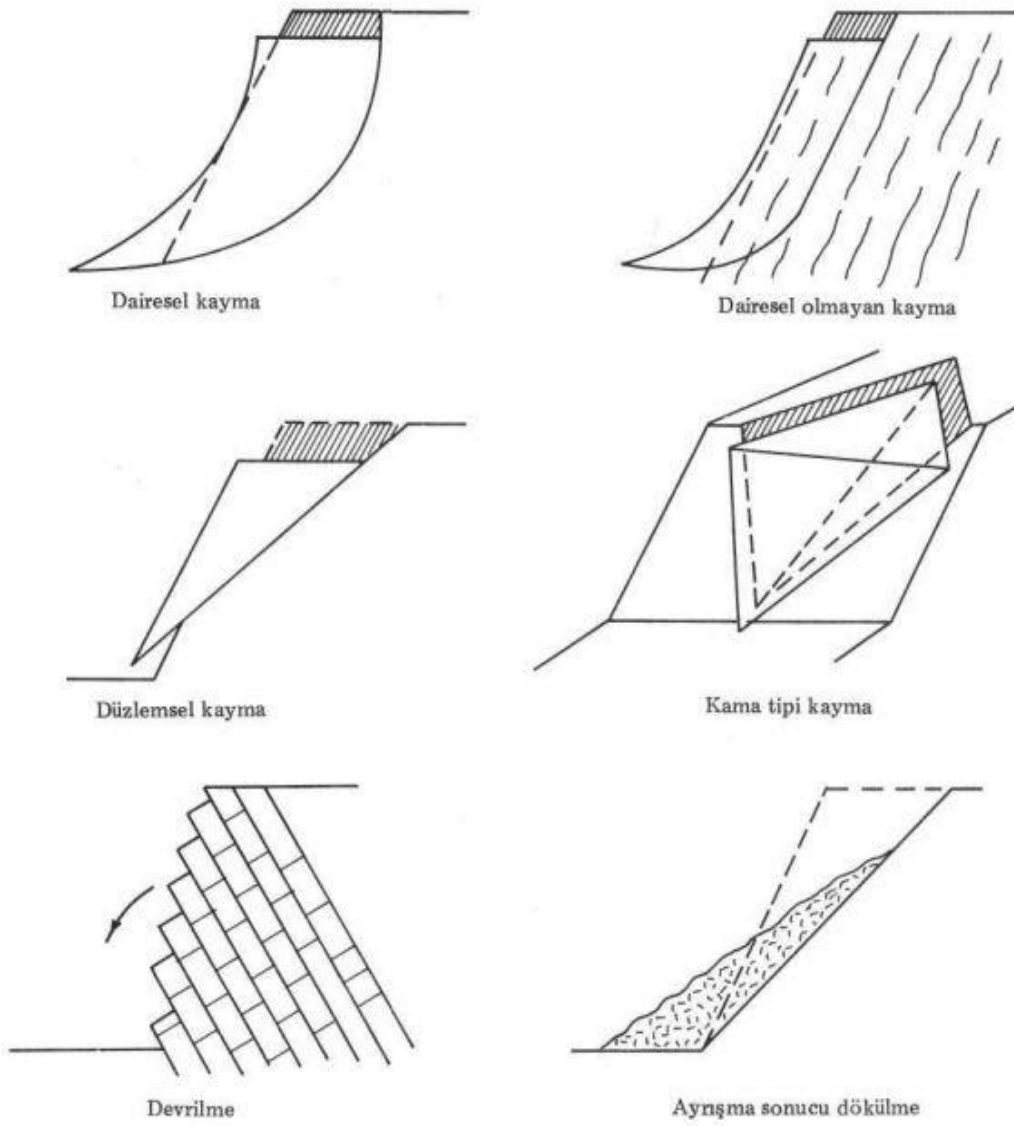
Kaya bloklarına ait ağırlık vektörünün taban alanı dışına düşmesi devrilme tipi yenilmeye sebebiyet vermektedir. Devrilme tipi yenilmenin oluşabilmesi için, şev içine doğru eğimli süreksizliklerin eğim yönü, şevin eğim yönünden en fazla 10° sapma göstermeli, şev yüzeyine paralel bir dizi blok oluşmalıdır. Düzlemlerin eğimi düzlem arası kayma oluşmaya yetecek kadar büyük olmalıdır. Ayrıca blokların en / yükseklik oranı da devrilme üzerinde etkili olmaktadır. Dik eğimli süreksizlikler içeren ve kolonlu yapısal özellik gösteren sağlam kayalarda oluşur [19].

Genel anlamda sınıflandırma içinde olmayıp dairesel kaymayı temsil eden, döne kayma ve çökmeye ait örnek Şekil 11’de gösterilmiştir.



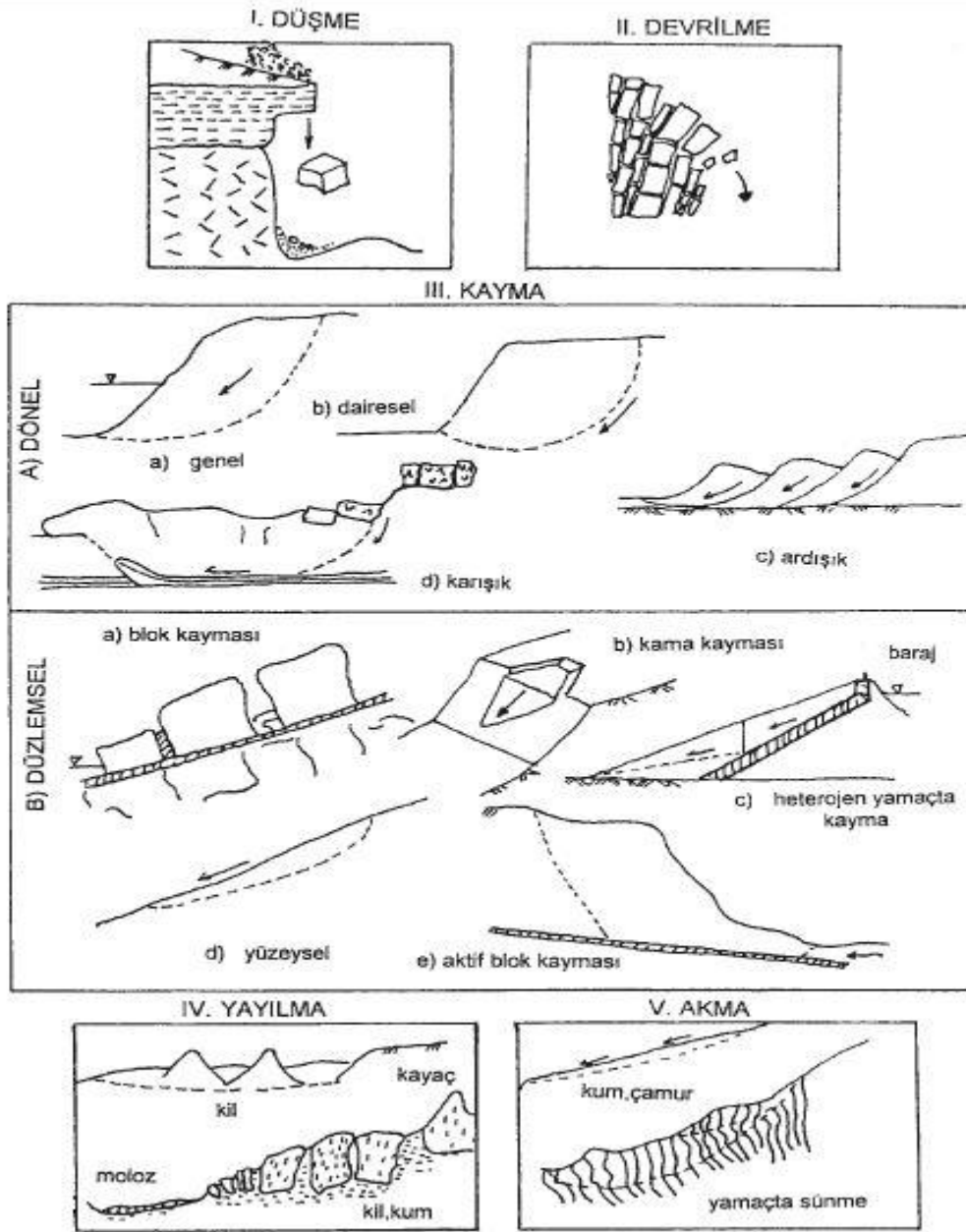
Şekil 11. Zeminde döne kayma ve çökme oluşumu [11].

Kayma türü yenilmeler, sembolik olarak Şekil 12’de sınıflandırılmıştır [12].



Şekil 12. Kayma türü yenilmelere ait şev yenilme mekanizmaları [12].

Tüm şev kayma türleri, Şekil 13’te toplanıp bir arada kategorize edilmiştir [20].



Şekil 13. Genel anlamda tüm şev hareketlerinin sınıflandırılması [20].

Şev hareketlerini sınıflandırmada literatürde, oldukça geniş kaynaklara rastlanmaktadır. Yapılan sınıflandırmanın en önemli tarafı, sınıflandırmayı yapan araştırmacının amacına hizmet etmesidir. Bu bağlamda en basit (sade) sınıflandırma Blong [16] tarafından verilmiştir. Blong sınıflandırması basit olmasına karşın çoğu amaçlar için yeterli düzeyde olmaktadır. Ancak daha detaylı ve kapsamlı bir sınıflandırma yapmak gerekiyorsa, Varnes [18] tarafından geliştirilen sınıflandırma tercih edilebilir.

1.6. Şev Stabilite Problemleri

Bir şevin kullanım ömrü boyunca, meydana gelebilecek göçme mekanizmalarına göre, yükleme hızı ve drenaj koşullarının birlikte göz önünde bulundurulması gerektiği, farklı sızma ve yükleme durumları ile karşılaşılabilir.

Stabilite analiz koşullarında en önemli parametrelerden biri, şevi oluşturan zeminin geçirgenliğidir. Geçirgenliği yüksek zeminlerde su, çabuk drene olacağından, yükleme sırasında zemin konsolide olma imkanı bulacaktır. Bundan yola çıkarak stabilite analizinin drenajlı koşulları içeren parametrelerle yapılması daha doğru olacaktır. Geçirgenliği düşük zeminlerde ise yükleme sırasında su, drene olma imkânı bulamayacağından, analiz drenajsız koşulları içeren parametrelerle yapılmalıdır. Ayrıca uygulamada her iki durumu da içeren sorunların ortaya çıktığı da bilinmelidir [6].

Mühendislik açısından, şev stabilitesi ile ilgili problemler aşağıdaki şekillerde ortaya çıkmaktadır:

- I. Tepe, dağ ve yarma yüzeylelerinin oluşturduğu doğal şevlerin kayma mekanizmalarının incelenmesinde,
- II. Karayolu ve demiryolu inşaatlarındaki yarma ve dolgulara ait yapay şevlerin oluşturulmasında,
- III. Toprak veya kaya dolgu baraj ve seddelerinin inşaatında,
- IV. Kayan şevlerdeki hasarın giderilmesi ve hasarın genişlemesinin önlenmesi konusundaki tedbirlerin alınmasında [4].

Kısa vadeli stabilite problemlerinde yani inşaat ve kazı sırasında, drenajsız durumlar geçerli olurken uzun süreli stabilite sorunlarında, drenajlı durumu dikkate almak daha uygun olacaktır. Uygulamada hiç beklenmeyen durumlarla karşılaşmakta ve bunların tümünü tek bir deney yöntemine indirgemek pek de mümkün olamamaktadır. Bu nedenle, olası durumları uygun bir biçimde kategorize etmek ve kayma mukavemeti parametrelerini ona göre belirlemek gerekmektedir. Faktörler, zeminlerin kayma mukavemetini etkilediğinden, şevde potansiyel göçme ve yapım sırasında oluşabilecek kritik durumlar ve aşamalar dikkate alındığında, stabilite problemleri; drenajsız durum, drenajlı durum ve kısmen drenajlı durum olmak üzere üç grupta incelenebilir.

1.6.1. Drenajsız Durum

Bir zeminin kayma mukavemeti, oluşan her türlü şartlarda efektif gerilmelere bağlıdır. Boşluk suyu basıncındaki değişimler de doğrudan efektif gerilmeleri ve dolayısıyla da kayma mukavemetini etkiler. Zeminde konsolidasyon olayının gözlenmediği yani suyun herhangi bir biçimde drene olamadığı durumlar, drenajsız duruma dahil edilebilir. Silt ve killerin doygun, örselenmemiş ve yoğrulmuş numunelerinde ayrıca arazide yüklemenin çabuk olduğu, suyun drene olmak için fırsat bulamadığı zeminlerde görülür [10].

1.6.2. Drenajlı Durum

Geçirimsizliği yüksek olan kum ve çakıl gibi zeminlerde, birçok yükleme hızı için zemin içindeki su oldukça çabuk biçimde drene olmakta ve konsolidasyon olayı da buna bağlı olarak oldukça hızlı gelişmektedir. Hatta bazı durumlarda, yükün uygulanma esnasında bile konsolidasyon sona erebilmektedir. Deney sonucunda elde edilen toplam gerilmeler aynı zamanda efektif gerilmelerdir. Bu tip deneyler aynı zamanda, örselenmemiş–yoğrulmuş kil ve silt numunelerde de uygulanabilmektedir [10].

1.6.3. Kısmen Drenajlı Durum

Bazı yükleme durumlarında, zemin cinslerine göre oluşan boşluk suyu basınçlarının, kısmen sönmüldüğü kabulünü yapmak daha gerçekçi bir yaklaşım olmaktadır. Bu tip problemlerde efektif kayma mukavemeti parametreleri kullanılmaktadır. Deney sırasında, su muhtevasının azaldığı ve yükleme nedeniyle pozitif boşluk suyu basınçlarının olduğu kademeli yükleme durumlarında bu analizi kullanmak daha doğru bir yaklaşım oluşturmaktadır [6].

Stabilite problemlerine sebebiyet veren parametrelerden olan kayma mukavemeti ve gerilme, bazı etkiler sonucunda değişerek şev dengesinin kaybolmasına neden olabilmektedir.

Bu bağlamda Tablo 3, bu etkileri göstermek adına yandaki gibi verilmektedir.

Tablo 3. Şev dengesinde etkenler [21].

1) Gerilme Artışı	2) Kayma Mukavemetinde Azalma
a) Şev üstündeki yüklerin artışı	a) Aşınma ve yıpranma
b) Topuğa yakın bölgeden malzeme kaybı	b) Süreksizlik yüzeylerinde su basıncı
c) Deprem ve diğer titreşim ivmeleri	c) Kuru ortamda ani ıslanma, yapının bozulması
d) Boşluk veya çatlak suyu basınçlarının artışı	d) Zaman ve hareket sonucu direnç kaybı
e) Çekme çatlaklarına su dolması	e) Killi tabakanın şişmesi
f) Giderek kırılma olayı	f) Çatlak ve boşluklarda oluşan buz mercleklerinin erimesi
g) Yamaç dışındaki su düzeyinde düşme	g) Çimentolayıcı malzemenin yıkanması

Yukarıdaki faktörlerin etkinlik derecesinin bilinmesi, hareketin boyutu ve süresi hakkında sağlıklı tahminler yapılarak projelendirme ve inşaat aşamalarında birçok yarar sağlayacaktır.

1.7. Şev Stabilizasyon İşlemleri

Şev stabilite analizinde kullanılan yöntemlerin amacı, karşılaşılan şev kaymalarında, uygulayabilecekleri uygun ıslah yöntemlerini bulma adına mühendislere yardımcı olmaktır. Kaymanın meydana geldiği yüzey, yer değiştiren zemin boyunca açılan muayene çukurları ve galeriler yardımıyla dikkatlice incelenir. Bunların yapılmasının pratik olarak imkânsız olduğu derin (taban şevi) kaymalarda ise sondajlardan çıkarılan numunelerin durumu, kayma yüzeyinin derinliği hakkında bilgi vermektedir [10].

Şev stabilitesini etkileyen temel faktörlerden biri olan proje faktörü içerisinde yer alan stabilizasyon işlemlerinden bazıları şu şekildedir: Ankraj uygulamaları, zeminde yapılan çivileme ve akabinde püskürtme beton ile kaplama işlemi, donatılı şev uygulamaları, stabilizasyon kazıkları, gabyon ve istinat duvarları (dayanma yapıları) ve bitkilendirme önlemleri (biyo-mühendislik teknikleri) [2].

Arazi kaymasının meydana getirdiği tahribatın giderilmesi ve kaymanın tekrar yaşanmasının engellenmesi anlamına gelen ıslah, çeşitli şekillerde olabilir. Bu çözüm, meydana gelen göçmenin cinsine, büyüklüğüne, şekline ve önemine göre değişmektedir.

Aşağıda yapılan sınıflandırmayla birlikte şev stabilitesi ıslah metodları oluşturulmuş ve detaylı bir şekilde Tablo 4’te gösterilmiştir [22].

Tablo 4. Şev stabilitesi ıslah metotları [22].

Yöntemin Prensibi	Uygulanabilecek Yöntemler	Açıklamalar
1. Göçmeye neden olan yüklerin azaltılması	1. Kayma alanının üst kısmındaki zeminin kaldırılması 2. Şevlerin yatırılması 3. Yüzeysel suların derivasyonu 4. Sızan boruların alan dışına çıkarılması	1. Her zaman fizibil değil 2. Her zaman fizibil değil
2. Topuk dolgusu, toprak payanda ve topuk yüklemesi yoluyla, direnen kuvvetlerin artırılması	1. Kayan kütlelerin aşağı kesimi üzerinde ve topuk ötesinde dolgu oluşturulması 2. Örselenmemiş zemin üzerine oturan, yüksek dirençli toprak payanda yapılması	1. Olabiliyorsa serbest drenajlı malzeme kullanılmalıdır. Kaymanın topuk ötesine ulaşmasını önlemek bakımından yeterli genişlikte olmalıdır. 2. Olabiliyorsa serbest drenajlı malzeme kullanılmalıdır.
3. Yükü, kayma alanı dışındaki sağlam zemine aktaran yapılar yoluyla, direnen kuvvetlerin artırılması	1. İstinat duvarları 2. Zemin ankrajları 3. Düşey kazıklar veya perdeleme	1. Yeterli desteği sağlayabilecek biçimde projelendirilirse aşırı maliyetli olabilir. 2. Özellikle sürekli destek sağlama amacıyla yapılacak yerlerde, yüksek güvenlik sayıları alınarak özenle projelendirilmelidir. 3. Düşey kazıkların yatay veya eğik yükleme dayanımı, zeminin kazıklar arasından kayması veya kazıklarla birlikte toptan göçmesi olasılıkları çok iyi incelenmiş olmalıdır.

1.8. Şev Stabilite Analizine Genel Bakış

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

Şev stabilite analizinde yerine getirilmesi gereken iki temel husus vardır. Bunlardan birincisi; verilen geometrik ve geoteknik koşullarda, şevin proje süresi boyunca “yapısal güvenliliğinin” sağlanmış olunmasıdır. Daha açık bir deyişle; analiz için temel parametre olan güvenlik sayısı; $G_s > 1$ olmalıdır. Bu durum da, şevin yenilmeye karşı stabil kalma durumunu ortaya koymaktadır. İkinci husus ise; şevin proje süresi boyunca, can ve mal kayıplarına yol açabilecek “olası riskleri” en ekonomik şekilde karşılayabilecek özellikte tasarlanmış olunmasıdır. Bu ikinci şartın projede temini, beraberinde bir sürü önlemlerin (şev açısının küçültülmesi, kademeli şevin (palye) oluşturulması, proje alanında şev drenajının kontrolü, dayanma yapılarının (gabyon ve istinat duvarları) inşası, şev kütlesi içinde kazık/ankraj sistemlerinin uygulanması, vb.) alınmasını gerektirebilir. Bu işlemlerin birinin veya birkaçının proje yerinde uygulanması ise proje maliyetini önemli ölçüde yukarıya doğru çekecektir. Kısacası, önlemlerle birlikte şevin göçme olasılığında azalma gözlenirken, şevin toplam maliyetinde ise artışlar olacaktır. Hiç önlem alınmaması durumunda ise; bu sefer şevin göçme riskinden doğacak olası kayıplar, toplam maliyette artışlara sebep olacaktır. Bu bakımdan, güvenlik-maliyet dengesini optimum seviyede tutmak adına, mühendisler şevlere ait gerekli etüt ve kontrolleri titizlikle yapmalı ve en uygun stabilite analiz yöntemiyle şevi projelendirmelidir.

1.8.1. Şev Stabilite Analizlerinin Amacı

Şevlerde oluşan yenilmelerin nedenleri ve sonucunda oluşan şekillerinde çeşitli olması, duraysızlığın doğasını matematiksel olarak yorumlamayı zorlaştırmaktadır.

Şevlerde, yalnızca nedenlerine ve çeşitlerine bakarak analiz yapmak bir bakıma hatalıdır. Bunun nedeni, şevden beklenen fonksiyonların da analiz aşamasında öneminin büyük olmasıdır. Çoğu hallerde şevlerin fonksiyonel tasarımı için şev zemininde oluşacak deformasyonların sınırlı olması gerekmektedir.

Şevin proje alanında özel herhangi bir yapı yoksa deformasyonlar göçmeyi gerçekleştirecek kadar kontrolsüz olmamak şartıyla büyük olabilirler. Fakat şev yakınlarında ya da altında önemli yapılar varsa küçük deformasyonlar bile maruz görülmemektedir. Bu durumda işlevsel bir tasarım için, zemin kütlesinde ortalama gerilme seviyesi de düşük olmalıdır. Tasarımın can alıcı noktalarından biri de şevin kullanım ömrüdür. Bu durumun, stabilite analiz yöntemlerinde en az yapım süreci, drenaj koşulları ve malzeme özellikleri kadar önemli olduğunu da vurgulamak gerekir. Bu bağlamda; kazı, yol dolgusu, dolgu tipi barajlar, pasa, atık yığını ve açık işletme madenciliğindeki şevlerin ekonomik ve güvenli şekilde tasarımı için aşağıda belirtilen iki aşama esas alınarak şev duraylılık analizleri yapılabilir.

Ön analizler: Kritik olabilecek jeolojik, hidrojeolojik, malzeme ve çevre koşullarının belirlenmesi ve ekonomik değerlendirme yapılması aşamalarını kapsar.

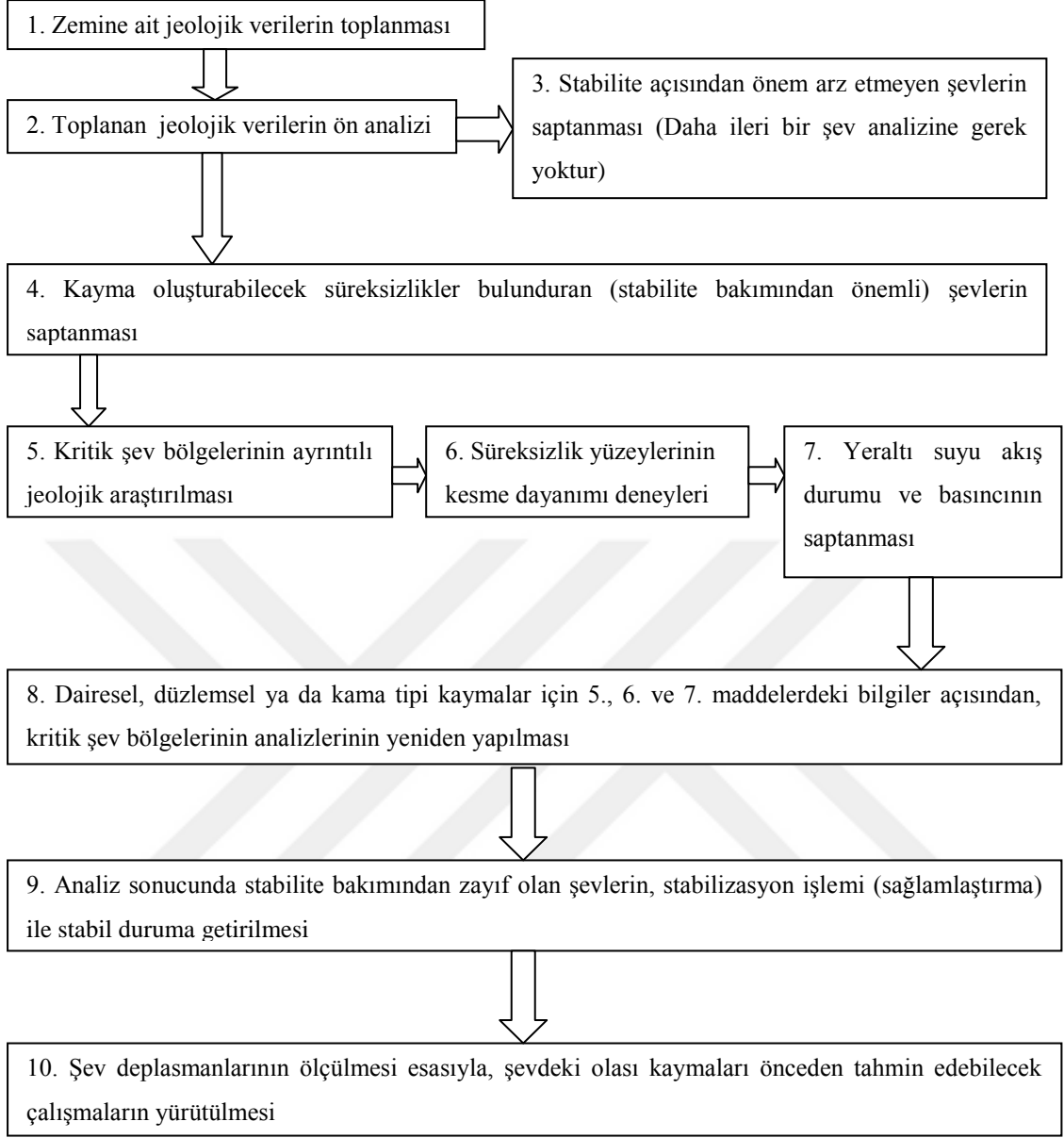
Ayrıntılı analizler: Şev duraysızlığının özelliklerinin, tekrarlanma sıklığının araştırılıp, tasarıma gidilmesi ve iyileştirme yöntemlerinin belirlenmesi aşamalarını içerir.

Şev stabilite analizlerinin başlıca amaçları şunlardır:

- Değişik koşullar altında farklı özellikteki şevlerin duraylılığının araştırılması,
- Şev yüksekliği ve şev açısı gibi şev tasarımında kullanılan parametrelerin tayini amacıyla şev ve malzeme parametrelerinin birbirine bağlı değişimlerinin incelenmesi,
- Kayma (duraysızlık) mekanizmasının belirlenmesi,
- Şevin yeniden boyutlandırılması ve iyileştirici (duraylılığı arttırıcı) yöntemlerin belirlenmesi,
- Deprem, yoğun miktarda yapılaşma, trafik, vb. gibi etkilerden kaynaklanan dış yüklerin, şev duraylılığı üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır [23].

1.8.2. Şev Stabilite Analizleri Planlaması

Şev duraylılık analizleri, iyi bir planlama sonucunda olumlu sonuçlar verebilmektedir. Bu planlamalar, Hoek ve Bray tarafından bir algoritma halinde düzenlenip Şekil 14'teki gibi sunulmaktadır [24].



Şekil 14. Genel anlamda şev stabilite analizlerine ait planlama [24].

1.8.3. Şevlerde Güvenlik Sayısı

Yapılan bütün zemin yapılarının, göçmeye karşı yeterli güvenilirlikte tasarlanmış olması gerekmektedir. Şevlerin stabilitesini tanımlayan büyüklük olan güvenlik sayısı, (G_s) zemin yapısının güvenliğinin çoğu kez kontrol edildiği bir parametredir. Değişik biçimlerde de tanımı yapılsa da, genel anlamda güvenlik sayısı; dengeyi koruyan kuvvet ve momentlerin, kaymayı sağlayacak kuvvet ve momentlere oranı olarak tanımlanmaktadır.

Stabilite analizinin sonuçları normal olarak güvenlik sayısı terimleri ile açıklanır. Güvenlik sayısı, yapının stabilitesini temsil eden matematiksel bir oran olduğundan, kayma mukavemeti ve gerilmelere göre değişmektedir. Birçok basitleştirici varsayımın yapıldığı, yarı amprik analiz yöntemlerinde, hangi metodun uygulanacağına, mühendis kendi deneyimleri doğrultusunda karar verir. Böylece güvenlik sayısı gerçekte, mühendise bir proje ile diğerini kıyaslama imkânı tanıyan bir deneyim faktörü olarak ortaya çıkar [25].

Geoteknik mühendisliğinde yapılan çeşitli güvenlik sayısı tanımları aşağıdaki gibidir:

1. Kuvvet bazında: Potansiyel kayma yüzeyi boyunca direnen kuvvetlerin, kaydıran kuvvetlere oranı,

$$G_s = \frac{\sum Fd}{\sum Fk} \quad (1)$$

2. Moment bazında: Bir noktada direnç gösteren momentlerin, kaydıran momentlere oranı,

$$G_s = \frac{\sum Md}{\sum Mk} \quad (2)$$

3. Dayanım bazında (uzun süreli yükleme): Potansiyel kayma yüzeyi boyunca, zemindeki mevcut kayma mukavemetinin, ortalama kayma gerilmelerine oranı,

$$G_s = \frac{\tau f}{\tau} \quad (3)$$

şeklinde tanımlanabilir.

Problemin tüm stabilitesi için güvenlik sayısı ilk defa Collin [26] tarafından; direnen kuvvetlerin harekete geçiren kuvvetlere oranı olarak tanımlanmıştır. O günden beri bu bağıntı, mobilize olmuş kayma mukavemeti denklemi ile birlikte, lokal veya tüm stabilite eşitliklerinde kullanılmaktadır. Güncel şev stabilite anlayışında ise aynı büyüklük; $G_s=f(\text{proje süresi, can/mal kaybı riskleri})$ şeklinde tanımlanmaktadır. Bugünün geçici (kısa süreli) şev projelerinde (minimal hasar riski taşıyan) önerilen güvenlik sayısı minimum 1.3 iken, uzun süreli şevlerde ise (belirgin mal / can kaybı riski altında) güvenlik sayısında en az 1.5 koşulu aranmaktadır [27].

Hong Kong Geoteknik Kontrol Ofisi'nce önerilen, şev kütlelerinin duraysızlığına ait sonuçları ekonomik ve yaşamsal risk bazında gözetilen minimum güvenlik sayıları Tablo 5'te gösterilmektedir [28].

Tablo 5. Hong Kong Geoteknik Kontrol Ofisi'nin 1984 karayolu kazı projeleri için önerdikleri minimum güvenlik sayıları [28].

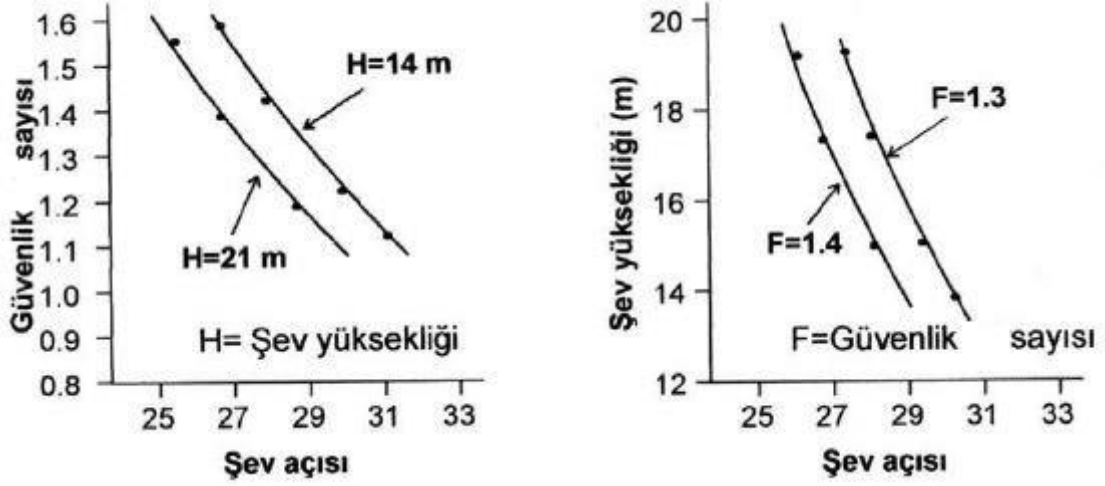
EKONOMİK KAYIPLARIN RİSKİ	İNSAN (CAN) KAYIPLARI RİSKİ		
	İhmal edilebilir risk	Ortalama risk	Yüksek risk
İhmal edilebilir risk	1.1	1.2	1.4
Ortalama risk	1.2	1.3	1.4
Yüksek risk	1.4	1.4	1.5
İNSAN (CAN) KAYIPLARI RİSKİ			G_s
İhmal edilebilir risk			>1.1
Ortalama risk			>1.2
Yüksek risk			>1.3

Tablo 5 yakından incelendiğinde, hem yaşamsal riskin hem de ekonomik riskin yüksek olduğu projelerde; örneğin, yoğun yerleşim alanlarından geçen karayolu kazı şevlerinde, sağlanması gereken minimum güvenlik sayısı $G_s=1.5$ olmaktadır. Diğer bir örnekte ise toprak dolgu baraj şevlerinde, yenilmeye karşı güvenlik sayısı $G_s=1.5-1.7$ olarak önerilmiştir [29]. Şev stabilite analizlerinde, değişik proje şartlarında sağlanması gereken minimum güvenlik sayıları, Türk Standartları Enstitüsü'nde TS 8853'te yer alan Yamaç ve Şevlerin Dengesi ve Hesap Metotları ilkesine göre Tablo 6'da gösterilmektedir [21].

Tablo 6. Farklı parametreler altında şevlerdeki minimum güvenlik sayıları [21].

ŞART	GÜVENLİK SAYISI (G_s)		
	Toplam gerilme	Efektif gerilme	Deprem
Dolgularda yapım sonu	1.50	-	-
Yarmalar	1.50	1.25	1.0
Barajda sızıntı	1.50	1.25	-
Barajda ani su düşmesi	1.50	1.10	-
Laboratuvar maksimum direnç parametreleri kullanımı sonucunda	1.50	1.35	1.0
Kalıcı dirence göre	-	1.20	1.0
Uzun vadede duraylılık	-	1.20	-
Yamaç üzerinde yapı bulunması	1.80	1.50	1.2
Fisürlü killer	-	1.50	-

Güvenlik sayısını etkileyen parametrelerden olan şev yüksekliği ve şev açısının, birbirleriyle olan ilişkileri Şekil 15'teki grafiklerde gösterilmektedir [23].



Şekil 15. Güvenlik sayısının şev yüksekliği ve şev açısına bağlı değişimini gösteren duraylılık analizi sonuçları [23].

1.8.4. Stabiliteye Uygun Kayma Yüzeyinin Seçilmesi

Şev stabilitesi analizlerinde, kayma yüzeyi geometrik olarak tanımlanabilecek ve çözülebilecek şekilde idealize edilebilir. Kayma yüzeyinin üzerinde etkili olan faktörler arasında yatay veya eğimli olabilen sert bir tabakanın varlığı ya da daha düşük mukavemetli bir zeminin olması sayılabilir.

Dairesel kaymalar genellikle homojen zemin şartları ile dairesel olmayanlar ise homojen olmayan zemin şartları ile açıklanabilir.

Düzlemsel ya da karışık kayma tipleri ise kayma yüzeyinin, farklı mukavemetteki bir tabakanın etkisi altında kaldığı durumlarda oluşur.

Şev stabilite analizlerinde, hesaplara en uygun kayma tipleri, genelde kohezyonlu zeminlerde oluşan dairesel kaymalardır. Bu tip kaymalarda, şevi oluşturan büyük bir zemin kütle, şev tepesinden başlayan ve şev topuğunda veya onun yakınında sonuçlanan eğrisel bir yüzey üzerinde kayar. Kayma yüzeyinin şev boyunca kısa bir mesafede silindirik, incelenen şev kesitinde ise dairesel olduğu varsayılarak analiz yapılır [30].

1.9. Şev Stabilitesi Analiz Yöntemleri

Doğal ve yapay şevlerin stabilitelerinin analizi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında uygulamada ve kullanım alanında bazı farklılıklar olmasına rağmen hemen hemen tüm yöntemlerdeki ortak özellik, bilinen veya kabul edilen kritik bir kayma yüzeyinde, kayma kütesinin dengesinin araştırılmasıdır. Bu noktadan yola çıkarak olası göçme (kayma) yüzeylerini tanımlamak, analizin ilk aşamasını oluşturmaktadır. Bu aşamayı da tanımlanan bu yüzeyler için göçmeye karşı güvenlik sayısını hesaplama kısmı takip etmektedir. Son aşama ise en küçük güvenlik sayısını veren yüzeyi (olası göçme yüzeyi) belirlemektir.

Kayma yüzeyi, gerçekte iki veya daha fazla daire yayının ya da elips şeklindeki yayların oluşturduğu yüzeylerin birleşiminden oluşur. Kayma yüzeyi birçok faktör tarafından etkilenmekte ve geometrik olarak belirli tek bir yüzeyden oluşmamaktadır. Buna rağmen yöntemlerin genelinde kullanılan ‘dairesel kayma yüzeyi’ kabulü, analize uygunluk ve gerçek duruma yakınlık açısından gayet iyi sonuçlar vermektedir.

Pratikte kullanılan dilim yöntemleri, kayma yüzeyinin yeterli miktarda düşey dilimlere ayrılması esasına dayanmaktadır. Bu durumda farklı zemin şartlarının da hesaplara dâhil edilmesi mümkün olabilmektedir. Dilim metotları arasındaki farklar, dilim kuvvetleri ile ilgili yapılan kabullerden kaynaklanmaktadır. Dilim yöntemlerinde yapılan en basit yaklaşım, her dilimin dönmesini ve güvenlik sayısını bulmaktır. Kaymaya karşı direnç gösteren kuvvetlerin toplamı, şevi harekete geçiren kuvvetlerin toplamına bölünerek topuk kısmında oluşacak sorunlara karşı önlem alınmaya çalışılmaktadır.

Tüm mühendislik problemlerinde olduğu gibi, şevlerin stabilitelelerinde de güvenlik sayısı kavramı geçerlidir. Elde edilen güvenlik sayısı, bir şevin stabil olup olmadığının veya ne kadar stabil olduğunun göstergesidir [31].

Şev duraylılık analizlerinde analize başlamadan önce, şevdeki zemin kütesine ait bazı kabuller yapılmaktadır. Bu kabuller aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

1. Göçmenin belirli bir yüzey boyunca meydana geldiği ve bu yüzey boyunca limit dengeye ulaşıldığı kabul edilir.
2. Analizlerde şev iki boyutlu olarak modellenir.
3. Bir olası kayma yüzeyi boyunca, her noktadaki kayma dayanımı büyüklüğü aynı düzeyde kabul edilir.
4. Kayan zemin kütesinin rijit cisim hareketi yaptığı kabul edilir [32].

Tablo 7’de, geoteknikte en çok tercih edilen şev stabilite analiz yöntemlerine ait özellikler gösterilmektedir.

Tablo 7. Şev stabilite analizi metotlarının özellikleri [33].

METOT	KAYMA YÜZEYİ	TOPLAM MOMENT DENGESİ	TOPLAM KUVVET DENGESİ	DİLİMLERARASI KUVVETLERDE YAPILAN KABULLER
$\emptyset_u=0$	Dairesel	*		
İsveç Dilim Yöntemi	Dairesel	*		Dilimlerarası kuvvetlerin bileşkesi dilim tabanına paralel
Kama Analizi	Dairesel değil		*	Belirli eğim
Sonsuz Şev Analizi	Dairesel değil		*	Şeve paralel
Bishop	Genel	*		Paralel
Basitleştirilmiş Janbu	Genel		*	Paralel
Genelleştirilmiş Janbu	Genel	*	*	Belirli itki çizgisi
Spencer	Genel	*	*	Sabit eğim
Morgenstern-Price	Genel	*	*	$S/E=\lambda f(x)$
Genel Dilim Yöntemi	Genel	*	*	$S/E=\lambda f(x)$

Verilecek olan stabilite analiz yöntemleri lineer ve lineer olmayan yöntemler olarak iki kısımda incelenecektir.

1.9.1. Lineer Yöntemler

Analiz yöntemlerinden el ile çözüme en uygun olanlar; sonsuz şev analizi, $\emptyset_u=0$ analizi, Fellenius (İsveç Dilim) yöntemi ve kama analizidir. Bu yöntemlerin basit olmalarının nedeni, her birinin içinde güvenlik sayısı için lineer bir eşitliğin bulunmasıdır. Bu sayede, bu yöntemlerde güvenlik sayısı direkt olarak hesaplanabilmektedir. Bundan dolayıdır ki pratikte, çoğunlukla bu yöntemler tercih edilmektedir.

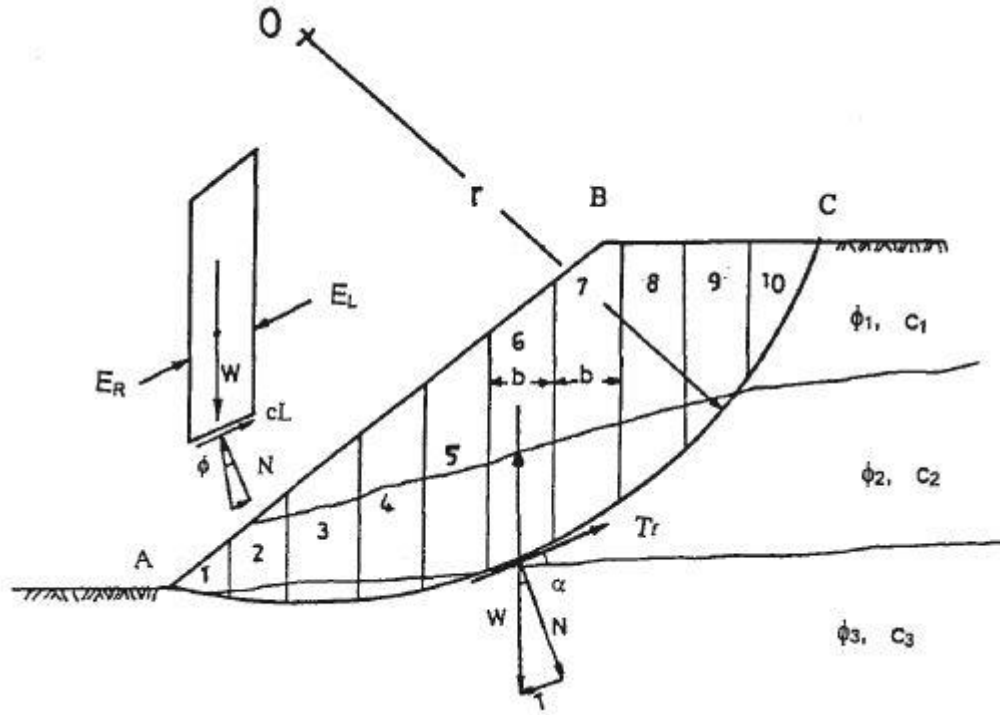
1.9.1.1. $\sigma_u=0$ Yöntemi

Dilim yöntemleri içerisinde, sonuca en sade yaklaşımla ulaşan metotlardan biridir. Hareketin, silindirik bir yüzey üzerinde, tek bir rijit bloğun kaymasıyla meydana geldiği ve zemin mukavemetinin sadece kohezyondan (c) kaynaklandığı kabulüne dayanır.

Bu metot esas olarak örselenmemiş numunelerde, vane veya serbest basınç deneyi ile bulunan drenajsız kayma mukavemeti hesabına dayanır. Ayrıca bu analiz, efektif gerilmeleri ve boşluk suyu basınçlarını ayrı ayrı ele almadığından, toplam gerilmeye dayanan bir analiz tipidir. Basit dilim yöntemi olarak da adlandırılan, hatta elle hesap imkânına sahip olan yöntemde kullanılan güvenlik sayısı, seçilen merkez noktaya göre momentlerin dengesinden yani dönmeye karşı koyan momentin, döndüren momente oranı olarak hesaplanmaktadır [33].

1.9.1.2. Fellenius (İsveç Dilim) Metodu

Fellenius şev duraylılık yöntemi, dairesel yenilme için kullanılan en eski yöntemdir ve daha sonra geliştirilen pek çok yöntem, sınır denge ilkesiyle ışık tutmuştur. Yöntem, toplam gerilme analizine dayandığından, kayma dayanımı büyüklüğü olarak sadece kohezyon değeri kullanılır. Yöntemde; şevde kaymayı engelleyen ve şevi kaydıran momentler, dairesel kayma yüzeyine ait merkez nokta esas alınarak hesaplanır. Fellenius yönteminde dilimler arası kuvvetlerin aynı doğrultuda fakat zıt yönde ve birbirine eşit oldukları kabul edildiği için bu kuvvetler hesaba katılmamaktadır. Geriye kalan sadece dilim ağırlığı, kohezyon, sürtünme mukavemeti ve varsa sızıntı kuvvetleri ile dilim dengededir. Kayma yüzeylerini tanımlayan çok sayıda dairesel kayma yüzeyi ve bunların merkezleri ve yarıçapları tespit edilip emniyet sayıları hesaplanır. Emniyet sayısı en küçük olan kayma dairesi, en kritik kayma dairesini tanımlar [34].



Şekil 16. İsveç dilim yönteminde bir dilime etkiyen kuvvetler [35].

1.9.1.3. Kama Analizi

Bazı durumlarda kayma yüzeyi, bir veya iki doğru çizgi ile birleştirilerek elde edilir. Bu durum, yamacın altında sağlam bir seviye (kaya) veya yamacın içinde ya da altında zayıf bir seviye olduğunda meydana gelmektedir. Kama şeklindeki kırılma düzlemlerine genellikle kaya mekaniğinde rastlanmaktadır. Kama yöntemi, göçme yüzeyinin dairesel olmadığı durumlarda kullanılan en uygun yöntemdir. Bu yöntemde göçmeye karşı güvenlik, denge için gerekli kayma mukavemetinin kayma gerilmesine oranı olarak tanımlanır. Her zemin için kohezyon (c) ve $\tan \phi$, güvenlik sayısına bölüldüğünde, şevin denge durumuna geldiği kabul edilir. Bu tür kırılma düzlemleri, zeminlerde ise çok nadir oranlarda görülmektedir.

1.9.1.4. Sonsuz Şev Analizi

Potansiyel kayma yüzeyinin, şev yüzeyine paralel olduğu ve şevin boyuna oranla daha az derinlikte olduğu durumlarda, uç etkileri ihmal edilerek, sonsuz uzunlukta olduğu kabulü yapılabilir [36]. Analizde yapılan diğer kabuller de aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

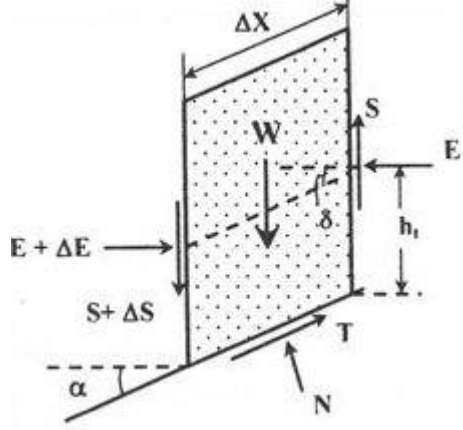
1. Kayan zemin kütlesi düzlemseldir.
2. Kayma yüzeyi, yeryüzüne yaklaşık olarak paralel kabul edilir.
3. Dilimler arası kuvvetler, kayma yüzeyine paraleldir.
4. Yerüstü ve yeraltı suyunun oluşturduğu şartlar, kayma yüzeyi boyunca sabittir.

Sonsuz şev kayması, homojen bir kütlede meydana gelebildiği gibi şev yüzüne paralel tabakalanma gösteren zeminlerde de meydana gelmektedir. Ayrıca sonsuz şevde, dönmeli kayma da oluşabilmektedir [37].

Verilen koşullara bağlı olarak, artan kohezyon değeriyle birlikte şevin stabilitesi de olumlu yönde etkilenmektedir. Bunun aksine, şev yüksekliği değerinin artmasıyla da kohezyonun, güvenlik sayısı üzerindeki etkisinde azalma gözlenmektedir [2].

1.9.2. Lineer Olmayan Yöntemler

Bu tip yöntemler için analize, kayan zemin kütlelerinin dilimlere ayrılmasıyla başlanabilir. Şekil 17’de bir dilime etkiyen kuvvetler gösterilmekte ve bu kuvvetlerin etkime noktaları ve değerleri analizin başlangıcında bilinmediği için çözüme ulaşmak adına, yeteri kadar varsayımın yapılması gerekmektedir.



Şekil 17. Tipik bir dilime etkiyen kuvvetler [2].

Eğer bir şev, n tane dilime bölünmüş ise her bir dilime etkiyen kuvvetlerle birlikte toplam bilinmeyen sayısı $4n-2$ adet olmaktadır. Toplam bilinmeyenlere karşılık, her bir dilim için iki doğrultuda (X ve Y) kuvvet ve bir adet moment denklemi olmak üzere 3 adet denge denklemi yazılabileceğinden toplamda $3n$ kadar denge denklemi yazılabilir. Bu

durumda bu problem $4n-2-3n=n-2$ mertebeden belirsiz olup çözüm için yeteri kadar varsayım yapılmalıdır. Tablo 8’de dilim yöntemindeki toplam bilinmeyenler gösterilmektedir [32].

Tablo 8. Dilim metodundaki bilinmeyen parametreler [32].

BİLİNMEYEN PARAMETRE	SAYISI
G _S : Genel güvenlik sayısı	1
N: Dilim tabanı normal kuvveti	n
S: Dilim sınırı kesme kuvveti	n-1
E: Dilim sınırı normal kuvveti	n-1
h: İç kuvvet bileşkesi etkime yeri	n-1
Bilinmeyen toplamı	4n-2

Dilim yöntemini esas alan stabilite analizleri, bu belirsizliğin ortadan kaldırılması için yapılan varsayım ve güvenlik sayısının bulunması için yazılan genel denge eşitliğinin (kuvvet veya moment) türüne göre farklılık göstermektedir.

1.9.2.1. Genelleştirilmiş Dilim Yöntemi

Üniform olmayan tabakalı zeminlere sahip bir şevin duraylılığını belirlemek üzere dilim yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler, tabakalı zeminlerde ve karmaşık yüklemeye ve drenaj koşullarına sahip şevlerde kullanılabilir.

Bu dilim yönteminde, dikkat edilecek hususlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- Seçilen dilim sayısı, 5’ten büyük olmalıdır. Artan dilim sayısı ile güvenlik sayısının da gerçeğe yakın olarak belirlenme olasılığı artmaktadır.

- Dilim yönteminde hesaplanan güvenlik sayısı, genellikle güvenli tarafta yer alır. Daha açık bir deyişle; bulunan güvenlik sayısı değeri, diğer yöntemlerde hesaplanan güvenlik sayısı değerinden daha küçüktür.

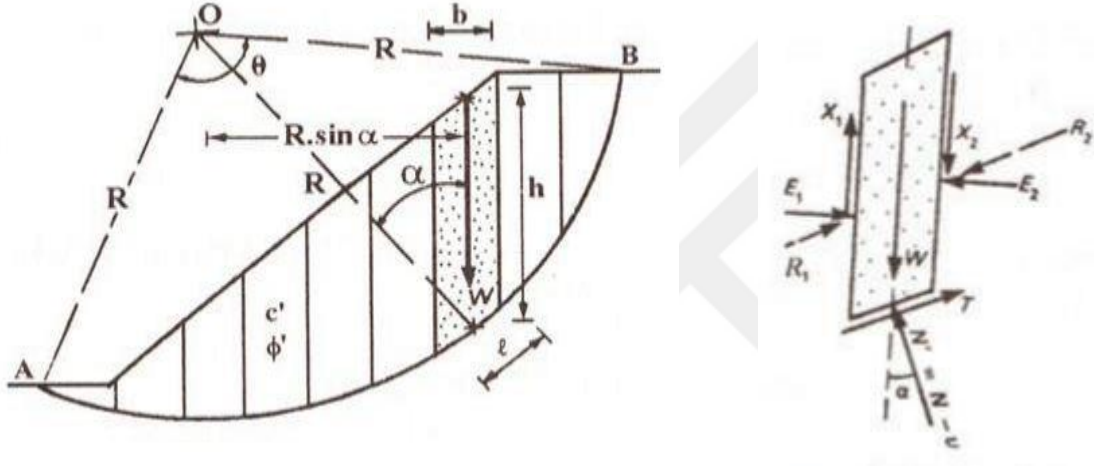
- Boşluk suyu basıncının (u) büyüklüğü zamanla değişmektedir. Bu sebeple, genelleştirilmiş dilim yöntemi boşluk suyu basınç değişiminin çok belirgin olduğu, aşağıda yer alan mühendislik yapılarında tercih edilmektedir.

- Dolgular,
- Aşırı konsolide olmuş killerde oluşturulan şevler,
- Dolgu barajlarında tutulan su seviyesinin ani değişim yaşandığı zeminler,

- Hizmet süresi çok uzun olan şevler.

Bu durumlarda, stabilite analizi 'efektif gerilme' ilkesine göre yapılmalıdır. Eğer boşluk basınç oranı ' r_u ' yüksek ve kayma yarıçapı ' R ' göreceli olarak kısa ise, stabilite analizi 'hata' içerebilir. Bu durumlarda 'Bishop yöntemi' önerilmektedir.

- Aşırı konsolide olmuş fisürlü killerde, ' ϕ ' efektif içsel sürtünme açısı yerine ' ϕ_r ' kalıntı (rezidüel) içsel sürtünme açısı analize katılmalıdır (Güvenli tarafta kalmak üzere $c'=0$ kabulü yapılabilir) [38]. Şekil 18 a'da ve b'de genel dilim yöntemine ait, şev dilimine etki eden kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 18. a. Genel dilim yöntem parametreleri b. Bir şev dilimine etki eden kuvvetler [2].

1.9.2.2. Bishop Şev Stabilite Analiz Yöntemi

Genellikle homojen zeminlerde meydana gelen dairesel kaymalar için limit denge kabulüyle, dilimlere etkiyen yanal kuvvetlerin yatay, dilimler arası kesme kuvvetlerinin sıfır olduğu kabulü esasına dayanır. Ayrıca normal kuvvet ve ağırlığın dilim tabanının ortasına etki ettiği varsayılmaktadır [21]. Daha önceki şekliyle, genel kayma yüzeyleri için geliştirilen bu metot, sonradan dairesel yüzey varsayımının hesaplarda önemli hatalar meydana getirmediği ve pratik olduğu anlaşılınca, sadece dairesel kayma yüzeylerine uygulanır hale gelmiştir. Bishop, X dilim kesme kuvvetlerinin dikkate alınması durumunda çözümün daha karmaşık hale geleceğini savunmuştur [39]. Ayrıca Bishop'a göre, bu kuvvetlerin ihmal edilmesi, hesaplarda %1'den daha az bir hata meydana getirmektedir. Yönteme göre kayma yüzeyi, bir daire yayı olarak kabul edilir ve güvenlik sayısı ise

zeminin gerçek kayma dayanımının, zemini harekete geçiren kayma dayanımına oranı olarak tanımlanır.

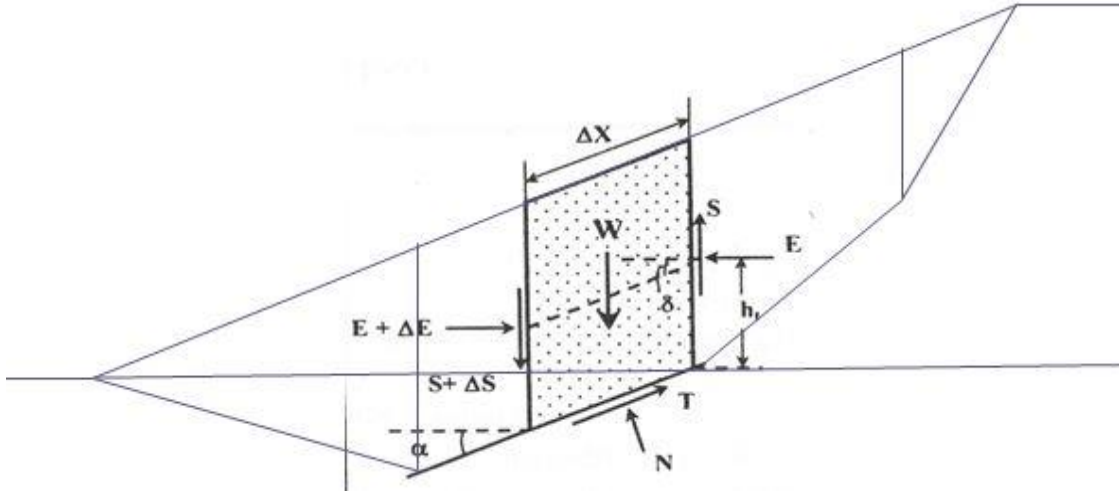
Yöntem, her bir dilim için geometrik yolla bulunan dilim sınır açıları üzerinden, çeşitli emniyet sayısı değerleri için abaklardan bulunan sabit değerler ve içsel sürtünme açıları üzerinden, gerçek güvenlik sayılarının hesaplanarak tahmin edilmesi esasına dayanır. Bu işlem, başlangıçta kullanılan güvenlik sayısı değerlerinin, hesaplamayla bulunan güvenlik sayısı değerlerine eşit olması durumuna kadar devam ettirilir. Bu eşitlik sonucunda bulunan güvenlik sayısı, şevin gerçek güvenlik sayısı değerini vermektedir [1].

Bishop yönteminin, genelde gelişmiş çözümlere çok yakın sonuçlar verdiği bilinmektedir. Ancak derin kayma yüzeylerinde –güvenlik sayısının 1’den küçük olduğu durumlarda– bu yöntemin yanıltıcı sonuçlar verebileceği araştırmacılar tarafından belirtilmektedir [32].

1.9.2.3. Genelleştirilmiş Janbu Şev Stabilite Analiz Yöntemi

Janbu yöntemi, temelde Bishop yöntemine benzer olup, en belirgin farklılığı ise herhangi bir yenilme yüzeyine uygulanabilmesidir. Yani bu metot, hem dairesel hem de dairesel olmayan kayma yüzeyleri için kullanılabilir. Genelleştirilmiş Janbu yöntemi, dilimler arası kuvvetlerin etkidiği noktayı dikkate alarak yapılan bir kabulle, bu kuvvetlerin etkisini içermektedir. Ayrıca bu yöntem, kuvvet dengesini tam, moment dengesini de yaklaşık olarak sağlamaktadır [40, 41]. Moment dengesini de yaklaşık olarak sağladığı için diğer kuvvet dengesi yöntemlerinden daha üstün tutulmaktadır. Bunların yanı sıra, çeşitli şev kütleleri için ve üniform şevler dışında da kullanılabilmesi bu yöntemin avantajlarından biridir.

Yapılan bu tez çalışmasında, Genelleştirilmiş Janbu Yöntemi’nin değiştirilmesi ile yeni bir yöntem geliştirilerek analiz aşaması oluşturulmuş ve bu yöntemin işleyişi ‘YAPILAN ÇALIŞMALAR’ kısmında ayrıntılı olarak ele alınmıştır.



Şekil 19. Genelleştirilmiş Janbu Yöntemi'nde bir dilime etkiyen kuvvetler [2].

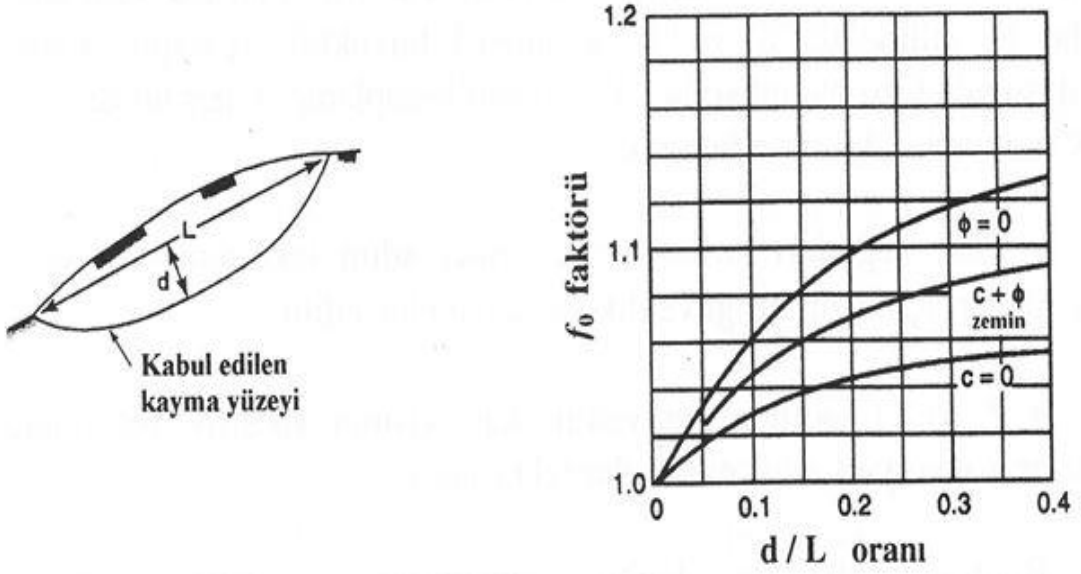
Genelleştirilmiş Janbu Yöntemi'nin uygulaması zahmetli olup özellikle hesapların elle yapılma olanağını güçleştirmektedir. Bu nedenle de pratik olması adına, mühendislikte Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi tercih edilmektedir.

1.9.2.4. Basitleştirilmiş Janbu Şev Stabilite Analiz Yöntemi

Genelleştirilmiş Janbu Yöntemi'nde herhangi bir varsayım yapılmadığından, genel denklemdeki bilinmeyenlerin sayısı, bilinenlere karşı artmaktadır. Bu nedenle, çözüm karmaşık bir hal almakta, çoğu zaman da el ile çözüme imkân vermemektedir. Böylece, çözümde dilimler arası kesme (düşey) kuvvetleri sıfır alınarak Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi geliştirilmiştir. Janbu tarafından geliştirilen yöntemin en önemli özelliği, her tipteki kayma yüzeyine uygulanabilir olmasıdır. Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi'nde, kuvvet dengesi kullanılarak stabilite analizi yapılmaktadır [42].

Bu yöntem, Bishop yönteminin genel hatlarını izleyerek güvenlik sayısına ulaşmaktadır. Güvenlik sayısı da tıpkı Bishop yönteminde olduğu gibi iterasyon yapılarak hesaplanmaktadır.

Janbu, genelleştirilmiş yöntemdeki hesaplamalarda yapılan bazı hataları ortadan kaldırmak adına güvenlik sayısını, amprik bir düzeltme faktörü (f_0) ile çarpmaktadır. Bu düzeltme faktörü, Şekil 20'deki diyagramdan çıkarılmakta ve güvenlik sayısı ile çarpılarak düzeltilmiş olan yeni güvenlik sayısı bulunmaktadır [33].



Şekil 20. Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi'nde kullanılan düzeltme faktörü [33].

Düzeltilme faktörü f_0 , kayma bölgesinin derinlik-uzunluk (d/L) oranı ile artmakta ve aynı zamanda güvenlik sayısını da %13 oranında arttırmaktadır [6].

1.9.2.5. Spencer Şev Stabilite Analiz Yöntemi

Spencer [43], kendi adıyla anılan bu yöntemi ilk başta dairesel kayma yüzeylerine uygulamıştır. Yöntem, dairesel kayma yüzeyleri için kuvvet ve moment dengesini sağlamaktadır. Metodun esası, basitleştirilmiş Bishop metodu ile çözümde yatay oldukları kabul edilen dilim kuvvetlerinin bileşkeleri, paralel ve tüm dilimler için sabit bir açıyla (Θ) etkidikleri varsayımına dayanmaktadır. Bu metotta, moment dengesi sağlanarak geliştirilen ve Bishop metodu ile elde edilen sonucun hassasiyetine etki eden şev yüksekliği, eğimi ve zemin özellikleri incelenmiştir.

Spencer, güvenlik sayısının tanımı için hem moment hem de kuvvetlerin yatay dengesini, tüm şev için gözettiğinden Θ 'ya bağlı olarak güvenlik sayıları elde etmektedir. Bu yönteme göre, dilimler arası kuvvetlerin tüm dilimler için paralel yani eşit eğimde (aynı Θ açısında) alınmalarının, bulunacak olan güvenlik sayısında fazlaca bir hataya sebep olmayacağı göze çarpmaktadır [44].

1.9.2.6. Morgenstern-Price Şev Stabilize Analiz Yöntemi

Morgenstern ve Price [45, 46], daha önce bilgisayar formatında yapılmış programın zorluklarını ortadan kaldırmak amacıyla her bir dilim tabanının merkezi etrafındaki moment toplamını ve bir dilim tabanının normal ve teğet kuvvetlerinin toplamını kullanarak güvenlik sayısını hesaplamak için yeni bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Diğer yöntemlerde ele alınan dilimlerden farklı olarak daha geniş ölçüde alınan bu dilimlerin, her birinin içinde cebirsel anlamda bir eleman belirtilip bu eleman için kayma yüzeyine paralel ve dik kuvvetlerin dengesi yazılmaktadır.

1.9.2.7. Sürtünme Dairesi Yöntemi

Taylor tarafından geliştirilen bu yöntem, c-Ø zeminlerinde tüm kütlelerin dengesini incelemek için gerçekçi çözüm sağlayan ilk çalışmalardan biridir. Yöntemin esası, kayma yüzeyi üzerinde bulunan N bileşke kuvvetinin; merkezi, kayma yüzeyinin merkezi ile aynı olan $r \cdot \sin \theta$ yarıçaplı bir daireye teğet olması kabulüne dayanmaktadır [10]. Homojen şevlerde, toplam ve efektif gerilme analizine uygulanabilen bu yöntemde, kayan kütleyle etkileyen kuvvetler; ağırlık (W), kohezyon kuvvetlerinin bileşkesi (C) ve kayma yüzeyi üzerine etkileyen dikey ve teğetsel kuvvetlerin bileşkesi olan N'dir. Sürtünme dairesi yönteminde, kayma yüzeyi boyunca zemin şartlarının sabit olarak düşünülmesi gerektiğinden, bu yöntemin sınırlı kullanım alanı olmaktadır [6].

1.9.3. Diğer Şev Stabilitate Yöntemleri ve Abakları

Culmann yöntemiyle olası süreksizlik yüzeyi içeren şevin stabilite analizi, α eğimli bir şev ve β eğimli bir süreksizlik düzleminde, süreksizlik düzlemi ile ana kütlede ayrılmış bloğun, süreksizlik düzlemi boyunca kayıp kaymayacağına analitik şekilde hesaplanmasına dayanır. Öncelikle bloğun ağırlığı; zemin kütlelerinin doğal birim hacim ağırlığı, şev yüksekliği ve açıl değerler üzerinden hesaplanır. Daha sonra bloğu kaydıran ve yerinde tutan kuvvetler dengesinden kritik kayma açısı belirlenir. Süreksizlik kayma düzlemi boyunca normal ve kayma gerilmeleri tespit edilir. Kritik kayma açısı üzerinden, kohezyon ve içsel sürtünme açıları da tespit edildikten sonra bu değerlere bağlı olarak iki farklı güvenlik sayısı değerine ulaşılır [1].

Koppula şev stabilite analiz yöntemi, kohezyon değerinin derinlikle değişimini göz önüne alan bir yöntemdir. Dairesel şev yenilme olasılığı üzerinden; drenajsız şevlerde, derinlikle doğrusal şekilde artan kohezyon değerlerinde şevlerin duraylılık analizi için kullanılan bir yöntemdir. Kritik kayma dairesinin geometrik büyüklükleri, şevi kaydıran ve kaymasını engelleyen momentler kullanılarak stabilite sayısı ve güvenlik sayısı değerleri hesap edilebilir [47].

Bishop-Morgenstern şev stabilite analiz yöntemi, daireysel yenilme için drenajlı yükleme koşullarında, tanımlanmış abaklardan bulunabilen stabilite faktörlerini kullanarak uzun süreli duraylılık analizi esasına dayanmaktadır. Yeraltı suyu veya sızıntının, zeminin kayma mukavemetini ve ilgili şev duraylılığını etkilediği koşullarda, bu yöntemin çalışmasına dayanan tablolar ve grafikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntemin esası; denenen kayma dairelerine ait derinlik faktörü, kohezyon ve içsel sürtünme açısına bağlı olarak bulunan şev stabilite sayılarının tanımladığı güvenlik sayılarının minimum değerinin belirlenmesine dayanmaktadır [48].

Birçok problemde, şev stabilitesi; gerçek değerine yakın ve aynı zamanda da hızlı bir çözümü gerektirmektedir. İşte, bu hesapları hızlandırmak ve daha kolay bir ön tasarım yapma adına, 'stabilite abakları' geliştirilmiştir. Bu abakları kullanmadan önce şev geometrisinin ve zemin şartlarına ait parametrelerin standart bir şekle sokulmasının, beraberinde getirdiği bütün olumsuzlukları da bilmek gerekir. Abaklarla çözüm yapabilmek için genellikle çok basitleştirilmiş bir şev geometrisi ve homojen zemin şartlarına ihtiyaç vardır.

Uygulamada bütün şevler, düzensiz geometrileri ve üniform olmayan zeminleri ile değişken zemin profiline sahiptirler. Homojen yamaçta çözümler; şev yüksekliği H , şev açısı β , kesme kuvveti parametreleri c ve ϕ , zeminin birim hacim ağırlığı γ ve güvenlik sayısı G_s ' yi içermektedir.

Taylor şev stabilite abakları, standartlaştırılmış abaklar üzerinden; şev açısı, şev yüksekliğine bağlı derinlik faktörü, kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerinin bulunması esasına dayanan daireysel yenilme analiz yöntemidir ve bu yöntem toplam gerilme analizine dayanmaktadır. Abaklardan, kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri için bulunan stabilite sayısı değerlerinin birbirine oranlanması ile güvenlik sayısı değerine ulaşılmaktadır. Bu abaklar, şev drenajı sonucunda oluşan boşluk suyu basınçları ve tanecikler arası gerilmelerdeki değişikliklerin gerçekleşmeye fırsat bulamadığı, inşaat sonrası ve kısa vadeli stabilite analizlerinde kullanılmaya uygundur [49].

Spencer şev stabilite abakları, farklı boşluk suyu basıncı oranları için yarma ve dolgu şevlerinin duraylılık analizinde kullanılır. Abakların kullanımı için stabilite sayısı, boşluk suyu basıncı ve içsel sürtünme açısı değerleri tespit edilir. Stabilite sayısı ve abaklardan ulaşılan değerler yardımıyla güvenlik sayısı değerleri hesaplanır [43].

Cousins şev stabilite abakları, kohezyonun sıfırdan farklı olduğu şevlerde kullanılır. Taylor'ın başlattığı grafik çözümlerini Cousins [50] geliştirerek sürtünme dairesi yaklaşımıyla, günümüzde kullanılan en gelişmiş abakları hazırlamıştır. Bu abaklarla, şev açısı ve stabilite sayıları yardımıyla güvenlik sayısının kolaylıkla bulunabilmesinin yanı sıra belirli bir güvenlik sayısı için şev açısı ve yüksekliği de belirlenebilmektedir.

Dinamik (psödo-statik) analiz yöntemi ile şev duraylılığı analizinde, depremin ürettiği etkiler, sabit yatay veya düşey ivmelerle ifade edilen atalet kuvvetleri olarak dikkate alınır. Bu yöntemin ilk uygulamaları ise Terzaghi tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem aracılığıyla, sismik olarak dairesel ve düzlemsel yenilme yüzeylerinde şev stabilite analizleri yapılabilmektedir [1].

Tablo 9'da, literatürde kullanılmakta olan şev stabilite abakları ve özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 9. Literatürde kullanılan şev stabilite abakları [33].

Yazar	Parametreler	Şev açıları	Metot	Kullanım alanları
Taylor (1948)	c_u	0-90°	$\emptyset_u=0$	Sadece kuru şevlerde
	c, \emptyset	0-90°	Sürtünme dairesi	
Janbu (1954)	c, \emptyset, r_u	11-90°	İsveç dilim	Sadece topuk dairelerinde kullanılır. $\lambda_{c\emptyset}=(\gamma H/c')\tan\emptyset'$
Bishop ve Morgenstern (1960)	c, \emptyset, r_u	11-26.5°	Bishop	—
Morgenstern (1963)	c, \emptyset	11-26.5°	Bishop	Hızlı su seviyesi düşüşünün olduğu durumlarda
Spencer (1967)	c, \emptyset, r_u	0-34°	Spencer	Sadece topuk dairesinde
Cousins (1978)	c, \emptyset	0-90°	Kama	3 boyutlu kama analizi
	c, \emptyset, r_u	0-45°	Sürtünme dairesi	$\lambda_{c\emptyset}$ 'yi kullanarak genişletmiştir

1.9.4. Limit Gerilme Yaklaşımı

Limit gerilme yaklaşımı, gerçekçi bir yaklaşım olup dış yükler ve kendi ağırlığı altındaki ortamın hangi ölçüde hareket edeceğinin, gerilmelerin hangi noktalarda yoğunlaştığının ve bunun sonucunda şevde herhangi bir yenilmenin olup olmayacağını irdelenmesi esasına dayanmaktadır. Ancak bu yaklaşım, gerilme analizini yapacak yöntem ve araçların bulunmasını ve ortamın özelliklerinin her noktada doğru olarak belirlenmesini gerektirmektedir. Ortamın özelliklerine ait parametreleri tarif etmek adına karşılaşılan güçlükler, yapılan pek çok araştırmaya rağmen henüz tam anlamıyla çözülememiştir [20].

Ortamın özelliklerini tanımlamada yetersiz kalınmasının en önemli sebepleri şunlardır:

1. Temel malzemesinde gerilme-yer değiştirme modelinin saptanması, bir diğer ifadeyle rijitliğin verilememesi,
2. Malzeme özelliklerinde yersel-yönsel değişimlerin yaşanması,
3. Üniform olmayan boşluk ve çatlak suyu basınçlarının varlığı,
4. Özellikle kayalarda görülen, yönü ve şiddeti belli olmayan doğal gerilmelerin varlığıdır [51].

Bu yaşanan sakıncalardan dolayı limit gerilme analizi, şev stabilitesinde kendine geniş bir uygulama alanı bulamamaktadır.

1.9.5. Limit Denge Yaklaşımı

Limit gerilme yaklaşımının, çözümde yarattığı zorluklardan dolayı başka yaklaşımların da geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Limit denge yaklaşımı da ölçülmüş veya seçilmiş yüzeyler boyunca stabilitenin hesaplanmasına dayanmaktadır. Yani, bir olası kayma yüzeyi boyunca, her noktada kayma dayanımı büyüklüğü aynı düzeyde varsayılmakta, başka bir ifadeyle zemin, rijit-plastik davranışlı bir malzeme gibi düşünülmektedir. En küçük bir hareketin, yenilme yüzeyi boyunca kayma dayanımının pik değerini uyandırmak için yeterli olduğu varsayıldığından, gerilmenin bu hareketteki etkisi göz ardı edilmektedir. Oysa bu varsayım, bir şevin topuğundan veya yakınından başlayıp geriye doğru gelişen süreksizliklerin oluşması gerçeğiyle çelişmektedir [32]. Diğer taraftan, limit denge prensiplerine dayanan basit yöntemlerle, gerilme altındaki yapıların deformasyonları hesaplanmasa bile yapıların güvenliği hakkında karşılaştırmalı sonuçlar

bulmak mümkün olabilmektedir. Dolgu veya kazı işlemi sonucunda geçerli olacak dayanım parametreleri ve boşluk suyu basınçları, genellikle standart laboratuvar deneyleriyle bulunarak arazi koşulları buna göre modellenmeye çalışılmaktadır.

Bu yaklaşımının esası; yenilme olasılığı olan bir yüzey varsayarak bu yüzey boyunca göçmeye sebebiyet verecek gerilme durumunu araştırmaya dayanmaktadır. Bu bağlamda yenilme yüzeyinin yeri ve şekli önceden yapılan bir kabul ile belirlenir. Ardından, yenilme bölgesindeki kütlenin dengede kalabilmesi için gerekli olan kayma direnci hesaplanır. Sonraki adımlar, kritik güvenlik sayısını bulma adına, değişik şekil ve konumdaki kayma yüzeylerine göre bir iterasyon ile tekrarlanır ve bu kombinasyonlardan sonra minimum güvenlik sayısı belirlenir. Kısacası limit denge yaklaşımı, sevi hiperstatik bir problem kabul ederek bilinmeyen kuvvet ve momentleri denge denklemleriyle hesaplamaktadır [6].

Limit plastik denge yöntemlerinde göz önüne alınan göçme yüzeyi; düz bir çizgi, bir daire parçası ve bir logaritmik spiral veya bunların birleşiminden oluşabilir. Zemin tipine göre kayma yüzeylerinin değişimi Tablo 10'da gösterilmektedir.

Tablo 10. Zemin cinsine göre kayma yüzeyleri tipleri [32].

Zemin tipi	Kayma dayanımı parametreleri	Kayma yüzeyi tipi
KUMLAR	$c=0$ zeminler için	Düzlemsel
	c küçük, \emptyset büyük ise	Düzlemsele yakın
KİLLER	$\emptyset=0$ ve $c>0$ ise	Dairesel
	\emptyset küçük, $c>0$ ise	Dairesele yakın

1.9.5.1. Geri Analiz Kavramı

Yenilmiş bir şev kütlesinde 'limit denge koşulu'na, daha açık bir deyişle; güvenlik sayısının bire ($G_s=1$) karşılık gelen ortalama kayma dayanımı büyüklüklerinin (c , \emptyset) bulunması için yapılan analize 'geri analiz kavramı' denilmektedir. Bu analizde belirlenen kayma dayanımı büyüklükleri, yenilmiş şevin kayma yüzeyi boyunca sahip olduğu 'ortalama kayma dayanımı' değerleridir. Yani, yenilmiş bir şevin özenli bir geri analiziyle, zemin / kaya kütlesinin 'yerinde (arazide) kayma dayanımı büyüklükleri' gerçeğe en yakın şekilde belirlenebilmektedir. Başarılı bir geri analiz için şu hususlar önemlidir:

- Yenilen şevin kayma öncesi ve sonrasına ilişkin şev geometrisi eksiksiz bir şekilde bilinmelidir.

- Yeraltı su seviyesinin değişimine ilişkin bilgiler iyi etüt edilmelidir. Şev kütlesi kendi ağırlığının dışında ek yüklemeye maruz kalmış ise bu yüklemeye ait dökümanlar (dağılımı, büyüklüğü) mevcut bulunmalıdır.

- Şevin yenilme mekanizmasına ilişkin arazi değerlendirmeleri rapor edilmelidir.

- $G_S=1$ koşulunu sağlayacak stabilite analiz yöntemi, şevde gözlenen yenilme mekanizmasına uygun olmalıdır [2].

1.10. Şev Stabilite Analizlerinde Drenajın Etkisi

Şev stabilite analizlerinde drenaj etkisinin göz önüne alınması için analizlerde iki farklı yaklaşım izlenmektedir. Bunlar, efektif gerilme ve toplam gerilme analizleridir.

1.10.1. Efektif Gerilmelerle Şev Stabilite Analizi

Doğal ve yapay tüm şevlerin gerek kendi ağırlıkları gerekse de uygulanan yüklerin etkisi altında göçmeye karşı stabiliteleri, elastik teoriye dayanan limit gerilme yaklaşımı veya limit denge prensibine dayanan metotlarla incelenebilir.

Limit gerilme metotlarında, gerilme yayılımı hesaplanır ve maksimum gerilmeler zemin mukavemeti ile kıyaslanır. Bu tür analizde zemin kütesinin, uygulanan gerilmelerin büyüklüğünden bağımsız bir homojen-elastik malzeme olarak idealize edilmesi, tahmini zor hatalar doğurmaktadır. Gerilme yayılımının etüdü ve deformasyonların değerinin önem arz ettiği durumlarda, sonlu elemanlar yöntemi ile çözüme gidilerek analiz yapılmalıdır.

Limit denge yöntemlerinde, bir kayma yüzeyi kabul edilerek kaymaya çalışan şev kütesinin duraylılığı araştırılır ve bir güvenlik sayısı elde edilir. Daha sonra, kayma olasılığı olan seri yüzeyler arasında, minimum güvenlik sayısını veren kritik kayma yüzeyi belirlenir.

Bu tür analizler, drenajlı durumun geçerli olduğu uzun süreli stabilite analizleridir. Doğal şevler ve rezidüel (kalıntı) zeminlerin oluşturduğu şevlerin stabilite analizlerinde kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda, efektif kayma mukavemeti parametreleri esas alınmaktadır [32].

Limit denge metotları ile analizde, genel olarak düzlem ya da gerçekteki kayma durumunu en iyi yansıtan dairesel yüzeyler ele alınmaktadır [10].

1.10.1.1. Efektif Gerilme Kavramı

Zemin içindeki herhangi bir düzlem boyunca kaymaya karşı oluşan maksimum direnç, düzlem üzerindeki toplam normal gerilme ile boşluk suyu basıncı arasındaki farkın bir fonksiyonudur. Stabilite analizleri genellikle, ilk olarak 1925 yılında Terzaghi tarafından suya doymuş zeminler için geliştirilen efektif gerilme kavramının Mohr/Coulomb kırılma denklemiyle birleştirilmesi esasıyla yürütülmektedir.

$$\tau = c' + (\sigma - u)\tan\phi' \quad (4)$$

Bu denklemde;

τ : Kayma esnasında, düzlem arasındaki kayma gerilmesini,

c' : Efektif gerilmelere göre kohezyonu,

ϕ' : Efektif gerilmelere göre içsel sürtünme (kayma mukavemeti) açısını,

σ : Toplam normal gerilmeyi,

u : Boşluk suyu basıncını göstermektedir.

Şev stabilite problemlerinde, toplam ve efektif gerilme analizlerinin kullanılabilmesi durumların iyi bilinmesi önemlidir. Efektif gerilme analizi, genellikle herhangi bir stabilite probleminin çözümü için geçerlidir. Bu analiz tipinde, stabilitenin toplam gerilme metodu ile görülemeyen eğilimi görülebilmektedir [52].

1.10.2. Toplam Gerilmelerle Şev Stabilite Analizi

Kumlu zeminlerde ve suya doymuş killi zeminlerde, boşluk suyu basıncının sönmelenemediği kısa süreli durumlar için toplam gerilmeler cinsinden kayma mukavemeti parametrelerinin kullanıldığı stabilite analizleridir [32].

Toplam gerilme analizi, bir inşaat sonu metodu olup stabilitenin zamanla arttığı problemlerin çoğunda güvenilir sonuçlar vermektedir. Yarmalarda ise zamanla güvenlik sayısının azalması olağan bir durum olduğundan bu hallerde de uzun süreli stabilite analizini konu alan efektif gerilme metotları ile incelenmelidir [52].

Şev stabilitesi problemlerinde, toplam ve efektif gerilme analizlerinin kullanılabilmesi durumların bilinmesi önemlidir. Tablo 11'de çeşitli yükleme şartlarını belirleyen durumlar ve her durum için uygun görülen yaklaşım metotları gösterilmektedir [53].

Tablo 11. Toplam ve efektif gerilme analizlerinin seçimi [53].

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

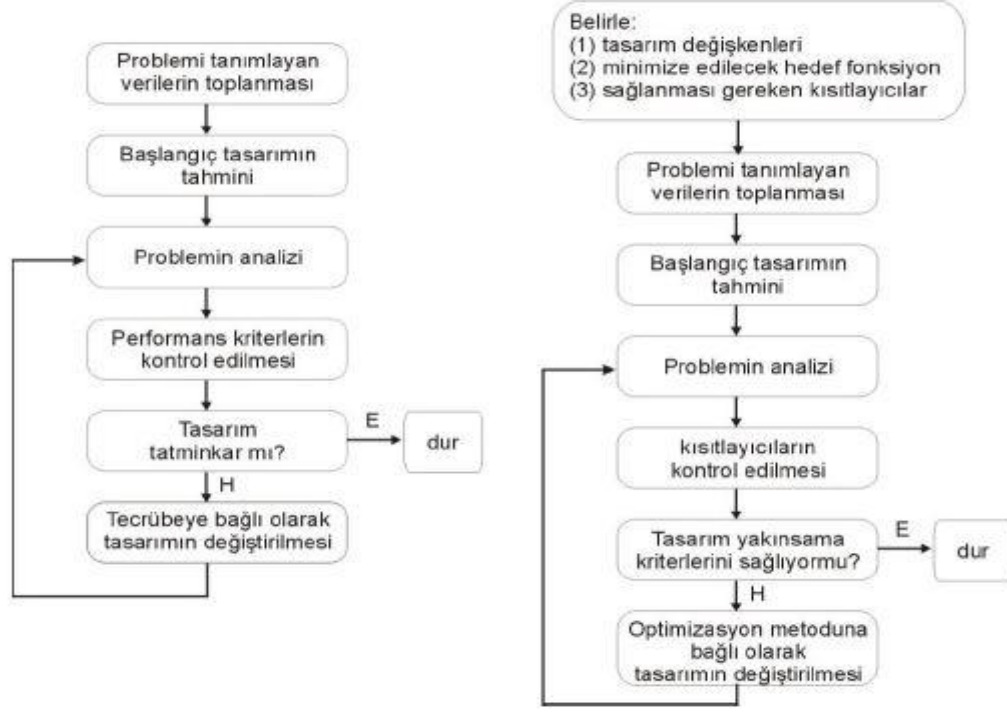
1.11. Optimizasyona Giriş

Optimum kelimesi, Latince bir kelime olup nihai, ideal manasına gelmektedir. Optimizasyon ise, bir problemin en iyi (en ideal) koşullardaki çözümünü veya tasarımını bulma işlemi olarak tanımlanabilir.

Mühendisler; tasarımda, imalatta veya bakım çalışmalarının aşamalarında en optimum kararı almak zorundadırlar. Bütün bu kararların nihai amacı, gerekli çaba, sermaye, malzeme veya teknolojinin minimum seviyede tutulması veya elde edilecek karın maksimum düzeyde sağlanmasıdır. Dolayısıyla optimizasyon, hedeflenen amacı minimum ya da maksimum yapacak şartları bulma işlemi olarak tanımlanmaktadır.

Optimum değeri bulma konusunda kullanılan metotlar 'matematiksel programlama' olarak da adlandırılır ve bu da *operation research* (operasyon araştırması) kısmının bir alt kademesidir. *Operation research* ise en iyi çözüm veya optimum çözümü bulmada karar verme (*decision making*) tekniklerini içeren bilimsel metotların uygulandığı bir optimizasyon aşamasıdır.

Aşağıda, bir probleme klasik tasarım yaklaşımının ve optimizasyonla yaklaşımın, algoritma halinde karşılaştırılması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 21. Klasik tasarım yaklaşımı ile optimizasyonun karşılaştırılması [54].

Genel bir optimizasyon probleminin matematiksel tanımı aşağıdaki gibidir:

$$\text{minimize } f(x), \quad x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

$$g_j(x) \leq 0, \quad j = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$h_k(x) = 0, \quad k = 1, 2, 3, \dots, t$$

Burada;

x : Tasarım değişkenleri,

$f(x)$: Hedef (amaç) fonksiyonu,

$g_j(x)$: Eşitsizlik tipindeki kısıtlayıcılar,

$h_k(x)$: Eşitlik tipindeki kısıtlayıcılar olarak tanımlanmaktadır.

Yukarıdaki optimizasyon işlemi, bir minimizasyon problemi olarak tanımlanmıştır. Eğer bir maksimizasyon problemine ihtiyaç duyulursa, hedef (amaç) fonksiyonu $f(x)$, (-1) ile çarpılarak işaret değiştirilir. Örnek: $\max \{f(x)\} = \min \{-f(x)\}$.

1.11.1. Optimizasyonun Temel Tanımları

Optimize edilecek büyüklük (maksimize veya minimize) ‘hedef fonksiyonu’ olarak adlandırılmaktadır. Optimum değeri bulmak için, aldıkları değerleri değiştirilen parametreler ise ‘tasarım değişkenleri’ adını almaktadır. Parametrelerin aldığı değerlerin üzerine konulan sınırlamalara da ‘kısıtlayıcılar’ denilmektedir.

-Hedef fonksiyonu: Bir sistemin birden fazla olası çözümleri olabilir. Bunlardan bazıları diğerlerinden daha optimum bir çözüm olduğundan, bu alternatif tasarımları karşılaştıracak bir kriter olmalıdır. İşte bu tür kriterlere hedef fonksiyonu adı verilir ve isteklere bağlı olarak ya minimize edilir ya da maksimize değerleri aranır. Hedef fonksiyonu ile ilgili şu şekilde örnekler verilebilir: Maliyet (minimize edilmeli), ağırlık (minimize edilmeli), kâr (maksimize edilmeli), enerji kullanımı (minimize edilmeli).

-Tasarım değişkenleri: Sistemi tanımlayan değişken setidir. Bu değişkenlere herhangi bir değer atanabilmelidir ve tasarım değişkenleri birbirinden bağımsız olmalıdır. Probleme ait uygun ve gerekli tasarım değişkenlerinin seçimi oldukça önemlidir. Aksi takdirde, problemin tanımı eksik veya hatalı olabilir.

-Kısıtlayıcı fonksiyonu: Tasarımı sınırlayan, tasarım değişkenlerinin alacağı değerlere limit koyan fonksiyonlardır. Örnek olarak; bir yapı, herhangi bir hasara uğramadan, üzerine gelen yükleri güvenle taşıyabilmelidir (rijitlik).

Uygulamada pek çok optimizasyon algoritması bulunmaktadır. Ancak bu metodların çoğu ancak belirli bir tür problemin çözümü için geliştirilmiş yöntemlerdir. Bu nedenle, optimizasyon probleminin çözümü ve gerekli metodun seçimi için optimizasyon probleminin türünün belirlenmesi önemlidir. Tablo 12, bu problemin türünün belirlenmesi adına yardımcı olabilecek nitelikte tasarlanmıştır.

Tablo 12. Optimizasyon probleminin karakteristik özelliğine göre sınıflandırılması [54].

KARAKTERİSTİĞİ	ÖZELLİĞİ	SINIFLANDIRMA
Tasarım değişkenlerinin sayısı	Bir	Tek değişkenli
	Birden fazla	Çok değişkenli
Tasarım değişkenlerinin türü	Sürekli	Sürekli
	Tamsayı	Tamsayı veya kesikli
	Hem sürekli hem de tamsayı	Karışık tamsayı
Hedef ve kısıtlayıcı fonksiyonlar	Doğrusal fonksiyon	Doğrusal
	Kuadratik fonksiyon	Kuadratik
	Doğrusal olmayan fonksiyon	Doğrusal olmayan
Problemin formülasyonu	Kısıtlama var	Kısıtlamalı
	Herhangi bir kısıtlama yok	Kısıtlamasız

Bir optimizasyon problemini çözmek için takip edilecek adımlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

1. adım: Temel yapılandırmanın oluşturulması,
2. adım: Tasarım değişkenlerinin tanımlanması,
3. adım: Hedef fonksiyonun kurulması,
4. adım: Kısıtlayıcı fonksiyonun tanımlanması,
5. adım: Uygun optimizasyon metodunun seçilmesi ve uygulanmasıdır [54].

1.11.2. Optimizasyon Modellerinin Oluşturulması

Modeller, temel bilimlerde ve mühendislikte yoğun olarak kullanılan, büyük kapsamlı bir sistemin tüm özelliklerini yansıtacak, daha küçük boyutlardaki yapılarıdır. Modellerde, genelde sistemin temel özelliklerini barındıracak ve modelin kullanım amaçlarını gerçekçi olarak içerecek detaylar bulunur. Optimizasyon modelleri ise, sistemin işleyişini ve özelliklerini yansıtan, sistemin içindeki ve çevresindeki diğer sistemlerle olan etkileşimlerini kapsayan matematiksel ifadelerden oluşmaktadır. Optimizasyon modelleri; içerdikleri tasarım (karar) değişkenlerinin, hedef (amaç) fonksiyonunun ve sistem kısıtlarının özelliklerine göre sistem parametrelerinin bilinen sabit değerleri aldığı durumlarda şu şekilde sınıflandırılabilir: Eğer bir optimizasyon probleminde, y değişkenleri yer almıyorsa ve $f(x)$, $g(x)$ ve $h(x)$ fonksiyonları doğrusalsa, o problem bir doğrusal programlama modeli olarak tanımlanır. Bir optimizasyon probleminde, y değişkenleri yer almıyorsa ve $f(x)$, $g(x)$ ve $h(x)$ fonksiyonlarının herhangi birisi doğrusal değilse, o problem doğrusal olmayan programlama modelidir. Optimizasyon probleminde,

y değişkenleri yer alıyorsa ve $f(x, y)$, $g(x, y)$ ve $h(x, y)$ fonksiyonları da doğrusal ise, problem tamsayı karışık doğrusal programlama modeli olarak tanımlanır. Yine aynı şekilde, problemde y değişkenleri yer alıyorsa ve $f(x, y)$, $g(x, y)$ ve $h(x, y)$ fonksiyonlarından herhangi birisi de doğrusal değilse tamsayı karışık doğrusal olmayan programlama modeli elde edilmektedir [55].

1.11.3. Optimizasyon Problemlerinin Çözüm Metotları

Yıllar boyunca yapılan araştırma ve geliştirme faaliyetleri sonucunda, özellikle doğrusal programlama problemlerinin çözümünde büyük ilerleme kaydedilmiş olup halen daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer optimizasyon problemlerinin çözümüne yönelik yazılımlar olmakla birlikte, bu problemlerin çözümünü en etkin şekilde elde eden çözüm yöntemleri devamlı olarak geliştirilmektedir.

Doğrusal programlama metotlarının temeli, doğrusal eşitliklerin çözümüne dayanmaktadır. Bu bağlamda, doğrusal programlama modelinde var olan $Ax \leq b$ eşitsizlikleri, her eşitsizlik için yeni bir değişkenin tanımlanmasıyla eşitliğe dönüştürülür ($Ax=b$). Bu eşitsizliklere ait problemlerin çözümü, teker teker elde edilip zaman kaybına yol açtığı için bilim dünyası akıllı çözüm algoritmaları arayışına girmiştir. Bunun sonucunda, doğrusal programlama problemlerinin çözümü için ‘Simplex metodu’ geliştirilmiştir. Simplex metodu, doğrusal programlama probleminin ifade edildiği çok boyutlu uzayda, problemde var olan kısıt sayısı kadar tasarım (karar) değişkeninin aktif olduğu bir çözümden başlayarak hedef fonksiyonun değerini en iyiye doğru taşıyan aktif olmayan bir değişkenin, aktif olan bir değişkenle yer değiştirmesi esasına dayanmaktadır. Bu işlemler ardışık olarak tekrarlandıktan sonra hedef fonksiyonun değerinde artık herhangi bir iyileşme elde edilemeyeceği bir andada simplex metodu en iyi çözüme ulaşmış olur. Simplex metodu ile değişken sayısı milyonlara varan problemler bu sayede çözülebilmektedir.

Doğrusal programlama problemleri için en yaygın olarak Simplex metodu kullanılmasına rağmen bu problemlerin çözümü için diğer algoritmalarda geliştirilmiştir. Simplex metodu, çözüm alanının en uç noktalarını sistematik bir şekilde çözerek en iyi çözümü elde eder. Simplex algoritmasından sonra geliştirilen metotlar ise çözüm alanının en uç noktaları yerine çözüm alanının içerisinde giderek en iyi çözümü elde etmeye göre tasarlanmıştır. Bu metotlar genel olarak, ‘interior-point algorithm’ (iç nokta metodu) olarak

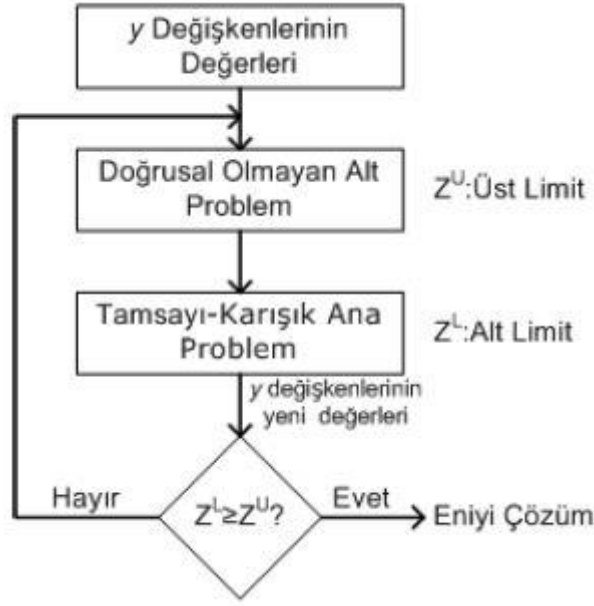
adlandırılmıştır. Bu metotla birlikte, doğrusal programlama problemlerinin çözümüne ait yeni bir alan açılmıştır.

Interior-point algorithm (iç nokta metodu), tez çalışmasına ait MATLAB programında yapılan optimizasyon işleminin temelini oluşturduğu için bu yöntem ‘YAPILAN ÇALIŞMALAR’ kısmında biraz daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

Tamsayı-karışık doğrusal programlama problemlerinin çözümünde en yaygın olarak dal-sınır algoritması kullanılır. Dal-sınır algoritması, tam sayılı değişkenlerin alabileceği tamsayılar kümesindeki, en küçük ve en büyük değer arasında herhangi bir reel sayıyı alabilecek şekilde geniş tutulmasıyla elde edilen problemlerin çözümü esasına dayanır.

Doğrusal olmayan programlama problemlerinde, en iyi çözümün Karush-Kuhn-Tucker (KKT) şartlarına uyması gereklidir. Öncelikle, doğrusal olmayan programlama problemlerinde, hedef fonksiyonunun gradyanı ile kısıt fonksiyonlarının gradyanlarının, her kısıt için tanımlanmış parametrelerle çarpımlarının toplamı sıfıra eşit olmalıdır. Eğer problem sadece hedef fonksiyonundan oluşuyorsa (hedef fonksiyonunun en ideal değeri kısıtsız olarak belirlenecekse) sadece hedef fonksiyonunun gradyanını sıfıra eşitleyecek tasarım (karar) değişkenlerinin değerleri, hedef fonksiyonunu en iyi sonuca ulaştırmış olurlar.

Tamsayı-karışık doğrusal olmayan programlama problemlerinde en iyi çözümün hem (KKT) şartlarına uyması hem de tam sayılı kısıtları yerine getirmesi gereklidir. Bu problemlerin çözümünde en yaygın olarak kullanılan çözüm metotlarından birisi dışsal yaklaşımdır. Şekil 22’de, dışsal yaklaşım metodunun çalışmasına ait algoritma gösterilmiştir [55].



Şekil 22. Dışsal yaklaşım metodu algoritması [55].

Gradyan yöntemleri ise problemdeki optimum çözümü belirlemek adına türev bilgisini doğrudan kullanır. Gradyan, birinci dereceden türevin iki boyutlu bir $f(x, y)$ 'deki ifadesidir ve vektör olarak tanımlanır (∇). Hessian matris (H) ise ikinci dereceden türevin kullanımı ile ilgilidir. Kısıtsız bir optimizasyon için gerek (optimum) koşul, gradyan fonksiyonunun birinci dereceden türevinin sıfır olmasıdır ($\nabla f'(x)=0$). Yeter koşul ise Hessian matrisin ikinci dereceden türevinin 'positive definite' ($H''(x)>0$) olmasıdır. Yani, bu optimizasyon problemine ait local minimum (öz değerler) noktalarının sıfırdan büyük olması koşuludur [56].

1.12. Nümerik Çalışmalar

1.12.1. MATLAB Programı

MATLAB (MATrix LABoratory – Matris Laboratuvarı), temel olarak teknik ve bilimsel hesaplamalar için yazılmış yüksek performansa sahip bir yazılımdır. 1970'lerin sonunda Cleve Moler tarafından yazılan MATLAB programının tipik kullanım alanları şunlardır:

- Matematiksel (nümerik ve sembolik) hesaplama işlemleri,
- Algoritma geliştirme ve kod yazma (programlama),

- Lineer cebir, istatistik, Fourier analizi, filtreleme, optimizasyon işlemi, sayısal integrasyon, vb. konularda matematiksel fonksiyonlar oluşturma,
- 2D ve 3D grafiklerinin çizimi,
- Modelleme ve simülasyon (benzetim),
- Grafikselsel arayüz oluşturma,
- Veri analizi ve kontrolü,
- Gerçek dünya şartlarında uygulama ve geliştirme şeklinde özetlenebilir.

MATLAB matematik – istatistik, optimizasyon, neural network (yapay sinir ağları), işaret ve görüntü işleme, kontrol tasarımları, yön-eylem çalışmaları, tıbbi araştırmalar, finans ve uzay araştırmaları gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. MATLAB, kullanıcıya hızlı bir analiz ve tasarım ortamı sağlayan, çok geniş havuza sahip bir programdır.

MATLAB, programı C/C++ diline dönüştürebilen, 20. dereceden bir denklemin köklerini bulabilen, 100x100 boyutlu bir matrisin tersini alabilen, bir elektrik motorunu gerçek zamanda kontrol edebilen ve bir otobüsün süspansiyon simülasyonunu yapabilen bir programdır.

MATLAB, araştırma ve mühendislik alanlarında karşılaşılan problemlere, pratik ve hızlı sonuçlar sunmaktadır. Bu nedenle MATLAB, tüm dünyada binlerce endüstri, devlet ve akademik kurumlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [60].

1.12.2. MATLAB' de Optimizasyon

Optimizasyon problemlerinin çözümünde, MATLAB'deki hazır kütüphanelerin yanı sıra, mevcut matematiksel metotların kullanımı ile de çözümler yapılabilir. MATLAB optimizasyon toolbox'ı, optimizasyon probleminin büyüklüğüne göre iki farklı yaklaşım uygulamaktadır: Standart algoritma (Medium-Scale) ve Büyük ölçekli algoritma (Large-Scale).

Eğer değişken sayısı çok fazla ise büyük ölçekli algoritma kullanılır. Ancak bu algoritmanın kullanımında, bazı parametrelerin kullanıcı tarafından verilmesi gerekir. Bu toolbox'ta optimizasyon probleminin tipine bağlı olarak kullanılacak hazır fonksiyonlar bulunmakta ve bu fonksiyonlar yardımıyla optimizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Belli başlı optimizasyon fonksiyonları ve işlevleri Tablo 13'te gösterilmektedir.

Tablo 13. Optimizasyon komutları ve kullanım amaçları [61].

Fonksiyon	Amacı
fgoalattain	Birden fazla hedef fonksiyonlu optimizasyon
fminbnd	Skaler nonlinear minimizasyon(sınırlarla birlikte)
fmincon	Kısıtlayıcı fonksiyonlu nonlinear optimizasyon
fminimax	Minimax optimizasyonu
fminsearch, fminunc	Kısıtlayıcı fonksiyonsuz nonlinear minimizasyon
fseminf	Yarı-sonlu programlama
linprog	Linear programlama
quadprog	Quadratik programlama

Yukarıdaki tabloda verilen her bir komutun kullanımı, komuta verilmesi gereken değerle (girdi bilgileri), komutun alacağı seçenekler (options) ve çıktı parametrelerinin neler olduğu, komut ile ilgili yardım dosyasından elde edilebilir. En genel optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan fmincon komutu ile ilgili kombinasyonlar Tablo 14'te gösterilmektedir.

Tablo 14. 'fmincon' komutunun kullanımı [61].

<code>x = fmincon(fun, x0, A, b)</code>
<code>x = fmincon(fun, x0, A, b, Aeq, beq)</code>
<code>x = fmincon(fun, x0, A, b, Aeq, beq, lb, ub)</code>
<code>x = fmincon(fun, x0, A, b, Aeq, beq, lb, ub, nonlcon)</code>
<code>x = fmincon(fun, x0, A, b, Aeq, beq, lb, ub, nonlcon, options)</code>
<code>[x, fval] = fmincon(...)</code>
<code>[x, fval, exitflag] = fmincon(...)</code> : fval nihai (optimum) değere ulaştığında; exitflag, fminconu sonlandırarak fonksiyonun çıkış durumuna dönüşünü tanımlar.
<code>[x, fval, exitflag, output] = fmincon(...)</code>
<code>[x, fval, exitflag, output, lambda] = fmincon(...)</code>
<code>[x, fval, exitflag, output, lambda, grad] = fmincon(...)</code>
<code>[x, fval, exitflag, output, lambda, grad, hessian] = fmincon(...)</code>

Yukarıdaki tabloda fmincon komutunun, en yalın kullanımından en ileri kullanımına kadar 11 biçimi verilmiştir. Burada temel kullanım benzer olmakla birlikte, optimizasyon problemi ile alakalı ne tür bir bilgi girişi yapılacağı ve optimum çözüm elde edildiğinde ne tür sonuçların, komut tanımlanmada eşitliğin sağ tarafında verilen değişkenlere atanacağı tanımlanır. Dolayısıyla komutta, ilgili değişkenlerin mutlaka tanımlı olması gerekmektedir. Bu nedenle Tablo 15'te, fmincon komutunun alacağı parametrelerin detaylı açıklaması gösterilmiştir.

Tablo 15. 'fmincon' komutu parametrelerinin anlamları [61].

PARAMETRE	ANLAMI
GİRDİ PARAMETRELERİ	
fun	Hedef fonksiyonunu içeren m-dosyasının adı
x0	Tasarım değişkenlerinin başlangıç değerleri
A, b	Lineer eşitsizlik kısıtlayıcı fonksiyonun katsayıları ($A*x < b$)
Aeq, beq	Lineer eşitlik kısıtlayıcı fonksiyonun katsayıları ($Aeq*x = beq$)
lb	Dizayn değişkenlerinin alt sınırı
ub	Dizayn değişkenlerinin üst sınırı
nonlcon	Kısıtlayıcı fonksiyonları içeren fonksiyon
options	Optimizasyon algoritmasını kontrol eden seçenekler
ÇIKTI PARAMETRELERİ	
x	Optimum tasarım değişkenlerinin atandığı vektör
fval	Optimum noktadaki hedef fonksiyonun değeri
exitflag	Seçilen algoritmanın sonuca yakınsama durumunu belirtir
output	Optimizasyon çözümü hakkında daha detaylı bilgi verir
lambda	Lagrange çarpanlarının değerleri
grad	Optimum noktadaki hedef fonksiyonun gradyanı
hessian	Optimum noktadaki hessian matrisinin değeri

Seçilen optimizasyon metodunun kontrolünü sağlamak için 'options' parametresi ile belirtilen pek çok argüman vardır. İlgili komutun, MATLAB tarafından atanan geçerli (default) değerleri yerine, bu argümanlar 'optimset' komutu yardımıyla değiştirilerek kullanıcının tanımladığı ve optimizasyon tekniğini kullandığı değerler değiştirilebilir.

'Options' seçeneği, 'optimset' komutu ile seçilen optimizasyon seçeneklerinin atandığı değişken olarak tanımlanır. 'Optimset' yardımıyla standart veya büyük ölçekli algoritma seçimine bağlı olarak optimizasyon metodunun seçenekleri belirlenebilir. 'Display' seçeneği ise çözüm adımlarından hangisinin komut satırında gösterileceğini belirtmektedir [61].

1.13. Literatür Araştırması

Günümüze kadar hazırlanan, şevlerle ilgili tüm çalışmaların temini mümkün olmadığından; bu bölümde, ulaşılabilen temel ve güncel çalışmalara yer verilmiş ve içeriklerine değinilmiştir.

Taylor, 1937 yılında yayınlanmış olan "Stability of Earth Slopes" adlı kitabında, şev duraylılığı hakkında genel tanımlamaları yapmıştır.

Skempton, 1948 yılında yapmış olduğu “The $\phi=0$ Analysis for Stability and Its Theoretical Basis” isimli çalışmasında, içsel sürtünme açısının şev stabilite analizlerindeki kullanımını ve etkisini belirtmiştir.

Janbu, 1954 ve 1973 yıllarında yapmış olduğu “Application of Composite Slide Surfaces for Stability Analysis” ve “Slope Stability Computations Embankment Dam Engineering” isimli kitaplarında ve kendi adıyla anılan duraylılık analizlerinde, bu yöntemin, sadece dairesel kayma yüzeyine değil herhangi bir yenilme yüzeyine de uygulanabileceğini anlatmıştır.

Bishop, 1955 yılında yaptığı “The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Earth Slope” isimli çalışmasında, günümüzde halen en yaygın kullanım alanına sahip olan ve kendi adıyla da anılan, dairesel şev stabilite analizinde Bishop yöntemini tarif etmiştir.

Fellenius, 1936 yılında yaptığı “Calculation of the Stability of Earth Dams” isimli çalışmasında, suya doymuş killi zeminlerde oluşturulacak şevlerin, inşaat bitiminden hemen sonraki süreçte stabilite koşullarını incelemiştir.

Frohlich, 1955 yılında yaptığı “General Theory of the Stability of Slopes” isimli çalışmasında şev stabilitesini tariflemiş, etkenleri belirlemiş ve tüm bu etkenlerle birlikte genel şev stabilitesi konusunu açıklamıştır.

Morgenstern ve Price, 1965 yılında yapmış oldukları “The Analysis of the Stability of General Slide Surfaces” isimli çalışmalarında, genel dairesel kayma yüzeyleri için şev duraylılık analizinde kullanılacak ve daha sonra isimleriyle anılacak bir yöntem geliştirmişlerdir.

Erguvanlı, ilk kez 1969 yılında yayınlanmış ve günümüzde halen basımı devam eden, inşaat mühendisliğinde de temel kaynak kitap olarak kullanılan, “Mühendislik Jeolojisi” isimli kitabında, inşaat mühendisliği çalışmalarıyla ilgili temel bilgilere değinmiş ve bu çalışmalarda değerlendirmeye alınan, şevlerin yapısıyla ilgili tüm jeolojik bilgileri paylaşmıştır.

Meyerhof, 1984 yılında yapmış olduğu “Safety Factors and Limit States Analysis in Geotechnical Engineering” isimli çalışmasında, şevlerdeki güvenlik sayısı hesabını tarif etmiştir.

Amerikan Hükümeti Karayolları ve Ulaşım Kurumu (AASHTO) 1984 yılında yayınladığı “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets” adlı yönetmelikte, karayolu yapımı için kazılarla oluşturulan şevlerin tasarım parametrelerini belirlemiştir.

Arıoğlu ve Tokgöz, 2005 yılında yayınlanan “Çözümlü Problemlerle Şev Stabilite Analizi” isimli kitaplarında, özellikle zemin şevleriyle ilgili kavramları tanımlayarak şevlerin stabilitesini etkileyen parametreleri incelemiş ve bunlarla ilgili çözümlü örnekler üzerinde durmuşlardır.

Cheng ve Lau, 2008 yılında yayınlanan “Slope Stability Analysis and Stabilization” isimli kitaplarında, yeni yöntem ve kavramlarla birlikte şev stabilite problemlerinin çözümü ve şev stabilite analizleri hakkında çalışmalarda bulunmuşlardır [1].

Hisham Eid, 2014 yılında yayınladığı “Stability Charts for Uniform Slopes in Soils With Nonlinear Failure Envelopes” adlı çalışmasında, doğrusal olmayan kayma mukavemetinin azalması sonucunda üniform şevlerdeki stabilite değişimini, güvenlik faktörü ve stabilite sayısı tanımlayarak stabilite abaklarıyla incelemiştir [64].

Wei Gao, 2015 yılında yayınladığı “Determination of the Critical Slip Surface in Slope Stability Analysis by Ant Colony Optimization” adlı çalışmasında, optimizasyon metodu olarak geliştirdiği ‘Karınca Kolonisi Algoritması’ yöntemiyle birlikte, şev kırılma derinliklerini noktasal aralıklarla belirleyip şeve ait kritik kayma yüzeylerini elde etmiştir [65].

K. Lim, A.J. Li, A. Schmid ve A.V. Lyman 2016 yılında yayınladıkları “Slope Stability Assessments Using Finite-Element Limit-Analysis Methods” adlı çalışmalarında, toprak ve kaya zemine ait şevlerde, Mohr-Coulomb ve Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre sonlu eleman limit analiz metoduyla şevlerin stabilitesini araştırmışlardır [66].

J. Zhang ve H.W. Huang, 2016 yılında yayınladıkları “Risk Assessment of Slope Failure Considering Multiple Slip Surfaces” adlı çalışmalarında, geliştirdikleri yeni bir denklem sistemiyle, geleneksel denklemin sadece belirli bir süreksizlik düzlemi boyunca uygulanabilmesine kıyasla, potansiyel şev kayma yüzeylerine ait çok sayıdaki düzlem üzerinde de uygulanma olanağını arttırmışlardır. Ayrıca, şevlerdeki yenilme olasılığını değerlendirirken, ağırlık faktörünün önemli bir parametre olacağını vurgulamışlardır [67].

1.14. Amaç ve Kapsam

Bu tez çalışması, genel olarak dairesel kabul edilen şev kırılma yüzeylerinin, sanıldığı gibi aksine kırıklı yapıya sahip olduğunu göstermek amacıyla planlanmıştır. Buna göre, Genelleştirilmiş Janbu Yöntemi’nin değiştirilmesiyle elde edilen mevcut analitik çözümlerle ve MATLAB paket programı ile birlikte; örnek bir şev üzerinde analiz

gerçekleştirilecektir. Şev dilimlerine ait hesaplanan kırılma derinlikleri ve yatay genişlikler, programda yazılan kodlar yardımıyla optimize edilerek örnek şev boyutlandırılacak, bu optimizasyon işlemi sonucunda da ardışık işlemlerle birlikte en kritik şev kırılma yüzeyine ve minimum güvenlik sayısına ulaşılabacaktır. Ardından, değişen kohezyon ($c=4, 8, 12, 16, 32, 48 \text{ kN/m}^2$), içsel sürtünme açısı ($\emptyset=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$) ve şev açısı ($\beta=20^\circ, 30^\circ, 45^\circ$) değerleriyle birlikte, şeve ait kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (\emptyset), birim hacim ağırlık (γ), yükseklik (H), açısı (β) ve ilk 7 dilime ait yatay genişlik (Δx) parametreleri programa 'input' olarak girilecektir. Sonucunda ise dilimler arası kesme (düşey) kuvvetlerinin farkları (ΔS), dilimler arası normal (yatay) kuvvetlerinin farkları (ΔE), dilimler arası kesme kuvvetleri (S), dilimler arası normal kuvvetleri (E), şev kırılma derinlikleri ve son 3 dilime ait yatay genişlikler (en kritik kırılma yüzeyleri) ve minimum güvenlik sayısı değerleri 'output' olarak elde edilecektir. Ardından, güvenlik sayısının kohezyon, içsel sürtünme açısı ve şev açısı değerlerine bağlı olarak değişimini incelemek için yine yukarıdaki c , \emptyset ve β değerlerine bağlı olarak, oluşturulan ' $c/\gamma H$ ' parametresi yardımıyla grafikler (abaklar) elde edilecektir. Son olarak ise yeniden boyutlandırılan şevler için; en kritik kırılma yüzeylerine ait şekiller arasında ve güvenlik sayısı değerlerine bağlı olarak elde edilen grafikler (abaklar) arasında gerekli karşılaştırmalar (c , \emptyset , β , kırılma derinlikleri ve G_s yönünden) yapılacaktır.

Tez çalışması kapsamında, geliştirilen yöntemle birlikte yapılan analiz sonucunda bulunan güvenlik sayısı değerleri ile bazı stabilite yöntemleri için yapılan analizler sonucunda bulunan güvenlik sayısı değerleri arasında kıyaslamalar yapılacaktır.

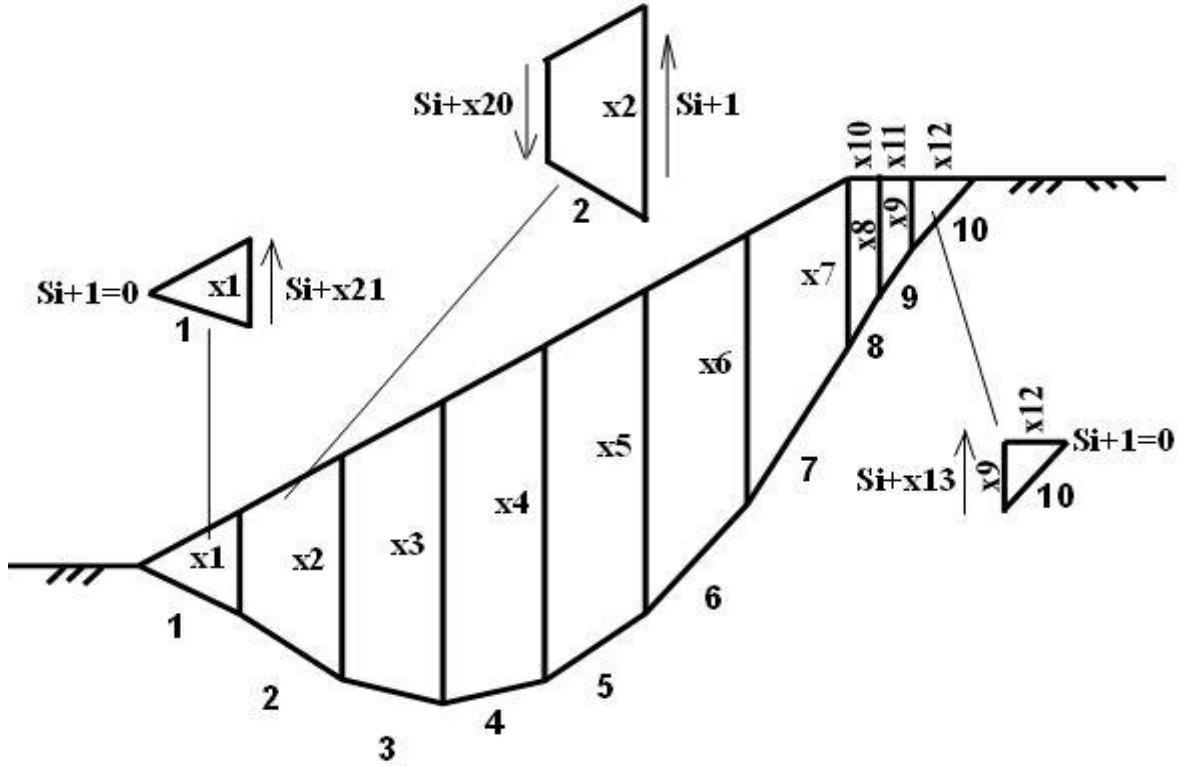
Bazı stabilite analizi yöntemlerinde (Fellenius, Bishop ve Sürtünme Dairesi Yöntemi), şevlerin kırılma yüzeyleri genel olarak dairesel kabul edilmektedir. Bu çalışmada geliştirilen yöntemle yapılan analiz sonucunda, belirlenen farklı eğri tiplerinin oluşturduğu kompozit yüzeylerin; genel olarak kabul edilen dairesel kırılma yüzeylerine göre daha gerçekçi bir görüntü verdiği görülecektir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, optimizasyon probleminin modeli belirlenmiş (hedef fonksiyonun belirlenmesi, tasarım değişkenlerinin ve kısıtların tespiti), Genelleştirilmiş Janbu yöntemi değiştirilerek bir çözüm algoritması oluşturulmuş ve yapılan analizler sonucunda programdan elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2.1. Homojen Sonlu Şevdeki Topuk Kaymasına Ait Tasarım Değişkenleri

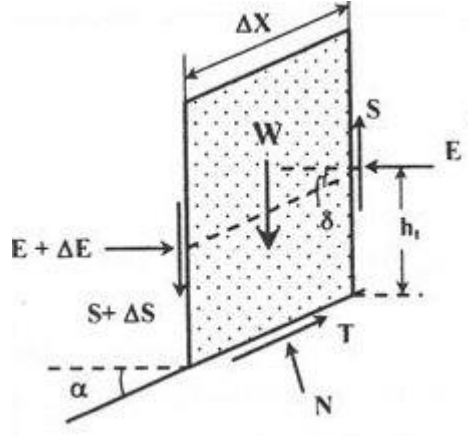
Tasarım değişkenleri; birinci dilimden başlayan ve son dilime kadar olan kırılma derinlikleri (x_1 ile x_9), son 3 dilime ait yatay genişlikler (x_{10} ile x_{12}) ve dilimler arası düşey (kesme) kuvvetlerin farkları (x_{13} ile x_{21}) olmak üzere 21 adet parametre seçilmiş ve bu parametreler Şekil 23'teki örnek şev üzerinde gösterilmiştir. Tez çalışması özetle; Genelleştirilmiş Janbu Yöntemi'nin hesap adımlarının kısmen değiştirilmesiyle elde edilen optimizasyon algoritmasının, tasarım değişkenlerine bağlı olarak hedef (amaç) fonksiyonu olarak tanımlanan minimum güvenlik sayısını (G_s) bulması esasına dayanmaktadır. Optimum kırılma derinlikleri, son 3 dilime ait yatay genişlikler ve dilimler arası düşey kuvvetlerin farkları (ΔS), MATLAB dilinde hazırlanan bir programla elde edilmiştir. Bu program, iç nokta algoritması (interior-point algorithm) yardımıyla optimum değerleri bulmaya yaramaktadır.



Şekil 23. Şev örneği ve üzerinde gösterilen tasarım değişkenleri

2.2. Genelleştirilmiş Janbu Yöntemine Dayalı Geliştirilen Optimizasyon Algoritması

Janbu, her biçimde kayma yüzeyine uygulanabilen ve kuvvet dengesi koşullarını sağlayan bir çözüm geliştirmiştir. Bu yöntemde, 3 bilinmeyen ve 3 denklemle (düşey kuvvet, yatay kuvvet ve moment dengesi) hesap yapılmakta olup 'Janbu Genel Yöntemi' adını almaktadır. Kayma yüzeyi seri bir kritik daire kabulü yerine, kırıklı bir kayma yüzeyi kabulüne dayandırılmaktadır. Dilime etkileyen yatay kuvvetlerin bütününde, yatay denge koşulu için $\sum \Delta E = 0$ olmalıdır ($E_i = E_{i+1}$). Dairesel olmayan (kırıklı) kayma yüzeylerinde bu yöntem iyi sonuçlar vermektedir [57]. Bu yönteme ait denge denklemlerinin oluşturulması, Şekil 24'teki Janbu yöntemine ait şev dilimi esas alınarak aşağıdaki gibi gösterilmiştir [58].



Şekil 24. Janbu Yöntemine ait şev dilimi [58].

–Düşey kuvvetlerin dengesinden,

$$N.\cos\alpha = W + \Delta S - T.\sin\alpha \quad (5a)$$

$$N = (W + \Delta S).\sec\alpha - T.\tan\alpha \quad (5b)$$

–Yatay kuvvetlerin dengesinden,

$$\Delta E = (W + \Delta S).\tan\alpha - T.\sec\alpha \quad (6)$$

–Kuvvetlerin dilim orta noktasına göre momentleri alınırsa;

$$S.\Delta x = -E.\Delta x.\tan\delta + ht.\Delta E \quad (7a)$$

$$S = -E.\tan\delta + ht.\frac{\Delta E}{\Delta x} \quad (7b)$$

–Dilimin bütünü için yatay denge koşulu $\sum\Delta E=0$ olmalıdır. Buradan (6) ifadesi;

$$(W + \Delta S).\tan\alpha - T.\sec\alpha = 0 \quad (8)$$

–Mohr – Coulomb yenilme ölçütüne göre kayma kuvveti ‘T’,

$$T = \frac{c.\Delta x.\sec\alpha + N.\tan\phi}{G_s} \quad (9a)$$

şeklinde yazılabilir. O halde güvenlik sayısı ‘G_s’ yalnız bırakılırsa ve

$$G_s = \frac{c.\Delta x.\sec\alpha + N.\tan\phi}{T} \quad (9b)$$

(8) ifadesindeki ‘T’, (9b) bağıntısında yerine yazılırsa;

$$G_s = \frac{\sum(c.\Delta x.\sec\alpha + N.\tan\phi).\sec\alpha}{\sum(W + \Delta S).\tan\alpha} \quad (9c)$$

ifadesi oluşturulur. Dilim orta noktasına etkiyen normal kuvvet ‘N’, (5b) ve (9c) bağıntılarında yerlerine yazılırsa güvenlik sayısı ‘G_s’;

$$G_s = \frac{\sum \{c \cdot \Delta x \cdot \sec \alpha + [(W + \Delta S) \cdot \sec \alpha - T \cdot \tan \alpha] \cdot \tan \emptyset\} \cdot \sec \alpha}{\sum (W + \Delta S) \cdot \tan \alpha} \quad (9d)$$

olarak elde edilir [58].

Huang [59], bu yöntemin çalışma prensibini aşağıdaki gibi özetlemiştir:

Analize başlarken $\Delta S=0$ kabulü yapılır ve güvenlik sayısı 'G_s', (9d) ifadesinden hesaplanır. Bu değer, ilk deneme-yanılma işleminde esas alınır ve her bir dilim için kayma kuvveti (T) değerleri, (5b) ve (9a) bağıntılarından bulunabilir. Ardından istenilen dilime ait T değeri (6) ifadesinde yerine konularak 'ΔE' hesaplanır. 'ΔE' nin bilinmesiyle, toplam yatay kuvvetlerin dengesinden 'E' kuvveti belirlenebilir. 'E' kuvveti için uygun bir itki hattı kabulü ile her bir dilime ait 'δ' itki açısı ve 'h_t' geometrik büyüklükleri tespit edilebilir. Bu durumda, (7b) bağıntısıyla 'S' kuvveti hesaplanır ve her bir dilim için 'ΔS' kuvvetleri kolayca bulunabilir. Hesaplanan kayma kuvvetleri (T) ve 'ΔS' değerleri kullanılarak (9d) bağıntısı yardımıyla yeni bir güvenlik sayısı elde edilir. Böylece, birinci adıma ait güvenlik sayısı elde edilmiş olur. Daha sonraki adımlar, birbirini takip eden iki güvenlik sayısı arasındaki farkın, özel bir hassasiyet limitine yaklaşıncaya kadar devam ettirilir. Aradaki farkın istenilen hassasiyet değerine ulaştığı anda yöntem durdurulur ve son bulunan güvenlik sayısı, nihai güvenlik sayısını vermiş olur.

Yapılan bu tez çalışmasında, Genel Janbu Yöntemi aşağıdaki adımları içerecek şekilde değiştirilerek bir optimizasyon algoritması oluşturulmuştur:

1. $\Delta S=0$ kabulü yapılır ve minimum güvenlik sayısını veren ve kırılma yüzeylerini tanımlayan optimum tasarım değişkenleri belirlenir.
2. Bir önceki adımda elde edilen güvenlik sayısı değeri kullanılarak 'ΔS' değerleri belirlenir. Bu değerler yardımıyla yeni bir minimum güvenlik sayısı elde edilir.
3. Eğer elde edilen güvenlik sayısı, bir önceki adımda elde edilene göre yeterince yakınsarsa hesaplama son verilir.

2.3. Interior – Point Algorithm Metodu (İç Nokta Algoritması Metodu) ve Örnek Şeve Ait Parametreler

İç nokta algoritmalarında, uygun bölge içerisindeki bir noktadan başlayıp; her bir adımda uygun bölgenin iç noktalarında var olan daha iyi bir çözüme gidilerek en uygun çözüme ulaşılmaya çalışılır. İç nokta algoritmaları, yön-eylem araştırmasında teorik ve uygulama yönünden büyük etkilere yol açmıştır. Yön-eylem araştırmasında yeni bir çalışma alanı ortaya konulmuş ve hızlı ilerlemeler sağlanmıştır. Simplex algoritmasının

tersine, iç nokta algoritmaları kesin bir çözüm oluşturmak yerine, en uygun çözüme yakınsayan sınırsız bir dizi oluştururlar [62].

Karmarkar tarafından yeniden gündeme getirilen bu yöntemin, simplex yöntemiyle çözülen programlamaya göre daha hızlı yakınsadığı ve daha iyi bir performans sergilediği belirlenmiştir. Dolayısıyla bu yöntem, programlamaya yeni bir çözüm algoritması olarak ortaya çıkmıştır. Büyük ölçekli programlama gerektiren problemleri çözmek için kullanılabilir ve ayrıca bu yöntemde eşitsizlik kısıtlamaları kolayca hesaplanabilir.

Bazı amaç fonksiyonlarının parçalı formda yazılmasından kaynaklanan sıkıntılar da (sistem kayıplarının minimizasyonu) bu yöntemi daha avantajlı hale getirmiştir. Bu algoritmada kontrol değişkenleri ve durum değişkenleri tek bir 'x' vektörü olarak ifade edilir ve sınır denklemleri de eşitlik ve eşitsizlik durumundaki denklemler olarak yazılır. Problemi çözümedeki ilk aşama, eşitsizlik durumundaki sınır denklemlerini, gevşek değişken ekleyerek eşitlik haline getirmektir [63].

Üzerinde çalışılacak şev için; zemin kayma dayanımı büyüklükleri olan kohezyon $c=10 \text{ kN/m}^2$ ve içsel sürtünme açısı $\phi=20^\circ$ olarak belirlenmiştir. Zeminin birim hacim ağırlığı $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$, şev açısı $\beta=30^\circ$ ve şev yüksekliği ise $H=10 \text{ m}$ olarak alınmıştır. Janbu Yöntemi'nin gereği olarak şev dilimlere ayrılmış ve 10 adet dilim tanımlanmıştır. Bu bağlamda, ilk 7 dilim için yatay genişlik $\Delta x=H/(7\tan\beta)=2.47 \text{ m}$ olarak hesaplanmıştır. Diğer 3 dilimin yatay genişlikleri, dilimler arası düşey (kesme) kuvvetlerin farkları (ΔS) ve şeve ait kırılma derinlikleri, değişken olarak belirlenmiş ve analizde kullanılmak üzere programa aktarılmıştır.

Yapılan bu tez çalışmasında depremsellik ve yeraltı suyu etkileri ihmal edilmiştir.

2.3.1. Geliştirilen Optimizasyon Algoritmasının Örnek Bir Şeve Uygulanması

Analize öncelikle, 'YAPILAN ÇALIŞMALAR' kısmında bahsedilen değişkenlerin ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_{21}$) programa tanıtılmasıyla başlanılmıştır. Ardından analizi gerçekleştirecek olan (9d) no'lu temel Janbu formülü, programa fonksiyon olarak aktarılmıştır. Bu formülde, her bir dilime ait dilim açısı (α_i), dilim ağırlıkları (W_i) ve dilimler arası düşey (kesme) kuvvetlerin farkları (ΔS), değişkenler (x) cinsinden yazılarak formül revize edilmiştir. Bunu takiben, sayısal değerleri daha önceden belirlenmiş olan c , ϕ , β , H , Δx ve γ parametreleri, programa aktarılan (9d) no'lu formüldeki yerlerine veri olarak girilmiştir. Ardından, analizi başlatmak adına, programa başlangıç değerleri (x_0) atanmış, lineer eşitlik

ve eşitsizlik tipindeki kısıtlayıcı fonksiyonlara ait kodlar yazılmıştır. Optimizasyon işlemini gerçekleştirmek üzere, seçilen yöntem ve komutlara ait algoritmalar da programa girilmiştir. Bunun akabinde, x_1 'den x_{12} 'ye kadar olan kırılma derinliklerini ve işleme sokulacak olan ilk minimum güvenlik sayısını belirlemek için x_{13} 'ten x_{21} 'e kadar olan değişkenler (ΔS), 0 (sıfır) olarak belirlenmiş ve programa aktarılmıştır. Ardından program çalıştırılmış, bunun sonucunda Tablo 16'da gösterilen optimum kırılma derinliklerine ve minimum güvenlik sayısına ulaşılmıştır.

Tablo 16. Analiz sonucundaki optimum kırılma derinlikleri ve minimum güvenlik sayısı

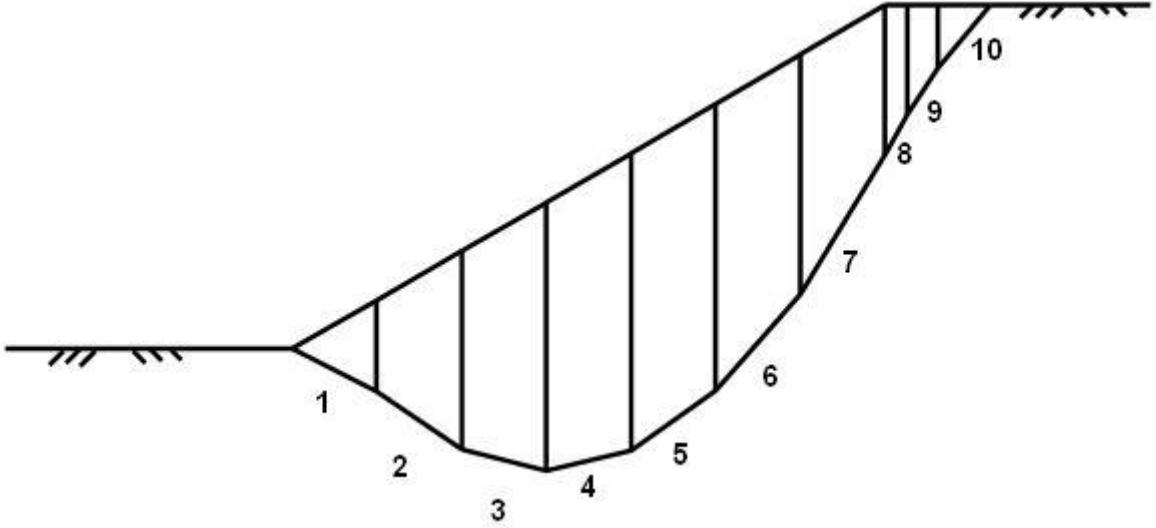
OPTİMUM KIRILMA DERİNLİKLERİ (m)
$x_1=2.6307$
$x_2=5.7619$
$x_3=7.7514$
$x_4=8.6021$
$x_5=8.3181$
$x_6=6.9004$
$x_7=4.3433$
$x_8=3.2017$
$x_9=1.8207$
$x_{10}=0.6512$
$x_{11}=0.8963$
$x_{12}=1.4979$
MİNİMUM GÜVENLİK SAYISI; $G_S = 1.028$

Bulunan bu değişkenler yardımıyla, Şekil 17'deki şev dilim modeli göz önüne alınarak her bir dilime ait dilim açıları, dilim ağırlıkları ve itki açıları (δ) belirlenmiş ve Tablo 17'de gösterilmiştir.

Tablo 17. Her bir dilim için açı, ağırlık ve itki açısı (δ) değerleri

DİLİM NO	DİLİM AÇISI DEĞERLERİ (α_i)	AĞIRLIK (kN) $W_i=(x_{i-1}+x_i)/2*\Delta x_i*\gamma$	İTKİ AÇISI DEĞERLERİ (δ_i)
1	-25.92°	52.067	0
2	-34.54°	166.106	14.92°
3	-12.78°	267.455	2.36°
4	13.14°	323.668	19.19°
5	34.69°	334.885	33.18°
6	49°	301.205	43.81°
7	58.17°	222.535	51.7°
8	60.3°	39.306	57.98°
9	57.02°	36.013	53.57°
10	50.56°	21.818	0

Yukarıdaki değerler programın ilk adımını belirlemiş olup, diğer adımlar için kolaylık sağlaması adına, bir sonraki adım elde çözülüp gerekli dönüşümler uygulanarak çıktı (output) verilerine ait temel formüller (dilim denge denklemleri) oluşturulmuş ve programa aktarılmıştır. Yukarıdaki tabloya ait verilerden yararlanılarak uygun şekilde ölçekli olarak şevin modeli oluşturulmuş ve Şekil 25’te gösterilmiştir.

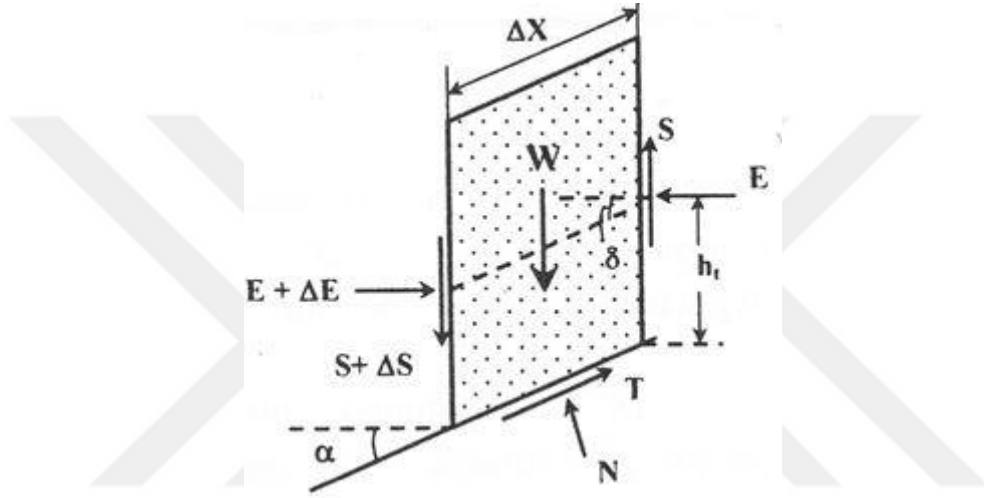


Şekil 25. MATLAB paket programıyla oluşturulan şevin modeli

2.3.2. Elde Çözüm ile Denge Denklemlerinin Oluşturulması (Genelleştirilmiş Janbu Yöntemi'nin Değiştirilmesi)

MATLAB programındaki analiz sonucunda, nihai kırılma derinlikleri ve minimum

güvenlik sayısı, diğer adıma geçilmesi için referans noktası olacaktır. Janbu yönteminden esinlenerek ‘ Δx ’ genişliğindeki bir dilime etki eden kuvvetler ve dilim açıları Şekil 26’da gösterilmiş ve her bir dilim için bu kuvvetlerden ve açılardan faydalanarak denge denklemleri oluşturulmuştur (Tüm adımlar için Tablo 16’da yer alan aynı kırılma derinlikleri ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_{12}$) kullanılmış olup yalnızca minimum güvenlik sayıları ve x_{13} ’ten x_{21} ’e kadar ki değişkenleri temsil eden dilimler arası düşey (kesme) kuvvetlerin farkı (ΔS) değişmektedir).



Şekil 26. Dilime etki eden kuvvetler ve açılar

$$\sum X=0, E_{sol} = N_i \cdot \sin \alpha_i - T_i \cdot \cos \alpha_i + E_{sağ} \quad (10)$$

$$\sum Y = 0, S_{sol} = W_i - T_i \cdot \sin \alpha_i - N_i \cdot \cos \alpha_i + S_{sağ} \quad (11)$$

Mohr-Coulomb yenilme ölçütüne göre dilim kayma kuvveti,

$$T_i = (c \cdot \Delta x \cdot \sec \alpha_i + N_i \cdot \tan \phi) / G_s \quad (12)$$

Kuvvetlerin dilim orta noktasına göre momentleri alınırsa,

$$S_{sol} = -E_{sol} \cdot \tan \delta_i + h_t \cdot \Delta E / \Delta x_i, \quad h_t = x_i / 3 \quad (13)$$

$$\Delta E = E_{sol} - E_{sağ} \quad (14)$$

$$\Delta S = S_{sol} - S_{sağ} \quad (15)$$

Bu adımda her bir dilime ait $T, N, E, S, \Delta E$ ve ΔS değerlerini bulmak için şeye ait en üst noktadaki en son dilimden (10. dilim) başlanarak ilk dilime (1. dilim) doğru (10), (11), (12), (13), (14) ve (15) no’lu denge denklemleri kullanılmıştır [40, 41]. Ayrıca sonraki adımları elde çözmek adına bu denge denklemleri düzenlenerek bir döngü halinde

oluşturulup MATLAB paket programına aktarılmıştır. İkinci adım için analize başlamadan önce, ilk analiz sonucunda bulunan minimum güvenlik sayısı $G_S=1.028$ değeri yardımıyla elde çözülen denge denklemleri sonucunda, dilimler arası düşey (kesme) kuvvet farklarına (ΔS) ulaşılmış ve Tablo 18’de gösterilmiştir. Analiz için gerekli olan veriler (değişken atanan veriler) ‘ ΔS ’ değerleri olduğu için T, N, E, S ve ΔE değerleri tabloda yer almamıştır.

Tablo 18. İlk adım için elde çözüm sonucunda ulaşılan ‘ ΔS ’ değerleri

MİNİMUM GÜVENLİK SAYISI, $G_S=1.028$
‘ ΔS ’ DEĞERLERİ (kN)
$\Delta S_9=23.68$ kN
$\Delta S_8=11.45$ kN
$\Delta S_7=-225.55$ kN
$\Delta S_6=-94.84$ kN
$\Delta S_5=-63.57$ kN
$\Delta S_4=186.37$ kN
$\Delta S_3=109.42$ kN
$\Delta S_2=-14.0$ kN
$\Delta S_1=71.03$ kN

Yukarıdaki tablodan alınan ‘ ΔS ’ değerleri, ikinci adım için analizde kullanılmak üzere MATLAB programına girilmiş ve uygun komutlarla oluşturulan optimizasyon işlemi sonrasında $G_S=1.23$ minimum güvenlik sayısı değerine ulaşılmıştır. Ardından, bulunan $G_S=1.23$ güvenlik sayısı değeri programa girilmiş ve yapılan analiz sonucunda Tablo 19’deki ‘ ΔS ’ değerlerine ulaşılmıştır.

Tablo 19. İkinci adım için programda yapılan analiz sonucunda bulunan ‘ ΔS ’ değerleri

MİNİMUM GÜVENLİK SAYISI, $G_S=1.23$
‘ ΔS ’ DEĞERLERİ (kN)
$\Delta S_9=2.02$ kN
$\Delta S_8=-8.52$ kN
$\Delta S_7=-358.16$ kN
$\Delta S_6=-125.62$ kN
$\Delta S_5=40.23$ kN
$\Delta S_4=143.92$ kN
$\Delta S_3=255.47$ kN
$\Delta S_2=-116.35$ kN
$\Delta S_1=169.38$ kN

Yukarıdaki tablodan alınan ‘ ΔS ’ değerleri, üçüncü adım için analizde kullanılmak üzere MATLAB programına girilmiş ve uygun komutlarla oluşturulan optimizasyon işlemi sonrasında $G_S=1.19$ minimum güvenlik sayısı değerine ulaşılmıştır. Ardından, bulunan $G_S=1.19$ güvenlik sayısı değeri programa girilmiş ve yapılan analiz sonucunda Tablo 20’deki ‘ ΔS ’ değerlerine ulaşılmıştır.

Tablo 20. Üçüncü adım için programda yapılan analiz sonucunda bulunan ‘ ΔS ’ değerleri

MİNİMUM GÜVENLİK SAYISI, $G_S=1.19$
‘ ΔS ’ DEĞERLERİ (kN)
$\Delta S_9=6.23$ kN
$\Delta S_8=-4.46$ kN
$\Delta S_7=-328.61$ kN
$\Delta S_6=-118.28$ kN
$\Delta S_5=32.32$ kN
$\Delta S_4=124.39$ kN
$\Delta S_3=238.59$ kN
$\Delta S_2=-103.69$ kN
$\Delta S_1=156.15$ kN

Tablo 20'den alınan ' ΔS ' değerleri, dördüncü adım için analizde kullanılmak üzere MATLAB programına girilmiş ve uygun komutlarla oluşturulan optimizasyon işlemi sonrasında $G_S=1.18$ minimum güvenlik sayısı değerine ulaşılmıştır. Ardından, bulunan $G_S=1.18$ güvenlik sayısı değeri programa girilmiş ve yapılan analiz sonucunda Tablo 21'deki nihai (optimum) ' ΔS ' değerlerine, dolayısıyla da x_{13} 'ten x_{21} 'e kadar olan değişkenlere ulaşılmıştır.

Tablo 21. Dördüncü adım için programda yapılan analiz sonucunda bulunan nihai (optimum) ' ΔS ' değerleri

MİNİMUM GÜVENLİK SAYISI, $G_S=1.18$
NİHAİ ' ΔS ' DEĞERLERİ (kN)
$x_{13}=\Delta S_9=7.07$ kN
$x_{14}=\Delta S_8=-4.21$ kN
$x_{15}=\Delta S_7=-322.95$ kN
$x_{16}=\Delta S_6=-116.47$ kN
$x_{17}=\Delta S_5=31.07$ kN
$x_{18}=\Delta S_4=120.61$ kN
$x_{19}=\Delta S_3=235.17$ kN
$x_{20}=\Delta S_2=-101.02$ kN
$x_{21}=\Delta S_1=153.43$ kN

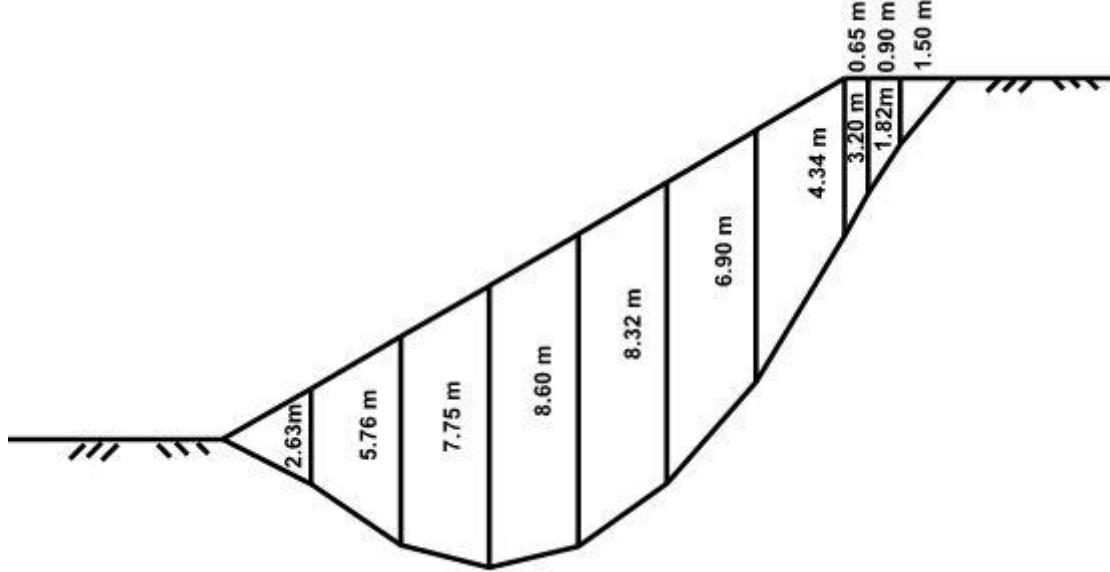
Bu adımlar, güvenlik sayısının özel bir tolerans limitine yaklaşıncaya kadar devam ettirilmiştir. Bu maksatla –kontrol amaçlı olarak– yukarıdaki ' ΔS ' değerleri, yeni bir güvenlik sayısı bulma adına programa girilmiş ve analiz sonucunda program tekrardan $G_S=1.18$ minimum güvenlik sayısı değerini vermiştir. Böylece, üzerinde çalışılan şevin analizi tamamlanmış ve minimum güvenlik sayısı olarak $G_S=1.18$ değerine ulaşılmıştır.

3. BULGULAR VE İRDELEME

Şeve ait kompozit kırılma yüzeyini belirlemek ve şevi daha ayrıntılı incelemek amacıyla, Janbu yönteminin gereği olarak şev dilimlere ayrılmış (10 adet) ve her bir dilim için denge denklemleri yazılarak, problem için belirlenen tasarım değişkenleri ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_{20}, x_{21}$), MATLAB paket programı yardımıyla yapılan optimizasyon yöntemiyle çözümlenmiştir. Böylece, şeve ait optimum kırılma derinliklerine, dilimler arası düşey kuvvetler farkı (ΔS) değerlerine ve minimum güvenlik sayısı değerine ulaşılmıştır.

Zemine ait geoteknik özelliklerin, kırılma derinliklerini ve güvenlik sayısını ne şekilde etkilediğini incelemek için birçok kombinasyon oluşturulmuştur. Böylece, zemin özelliklerinin değişen değerlerine (c, ϕ, β ve G_s) bağlı olarak şevlerin sahip olabileceği farklı kırılma yüzeylerine ve güvenlik sayılarının değişimlerini gösteren grafiklere (abaklara) ulaşılmıştır. Bu grafiklere ulaşmak adına, değişen kohezyon ($c=4, 8, 12, 16, 32, 48 \text{ kN/m}^2$), içsel sürtünme açısı ($\phi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$) ve şev açısı ($\beta=20^\circ, 30^\circ, 45^\circ$) değerleriyle birlikte oluşturulan ' $c/\gamma H$ ' parametresi yardımıyla, yeniden boyutlandırılan şevler için kırılma yüzeyleri ve güvenlik sayısı değerlerine ait, şekiller ve grafikler çizilmiş, oluşan bu şekiller ve grafikler (abaklar) arasında gerekli karşılaştırmalar (c, ϕ, β , kırılma derinlikleri ve G_s yönünden) yapılmıştır.

Yapılan çalışmalar kısmında incelenen şeve ait ($c=10 \text{ kN/m}^2, \gamma=16 \text{ kN/m}^3, \phi=20^\circ, \beta=30^\circ, G_s=1.18, \Delta x=2.47 \text{ m}$ ve $H=10 \text{ m}$), kompozit kırılma yüzeyi bu aşamada çizilmiş ve Şekil 27'de gösterilmiştir. Bu kompozit kırılma yüzeyinin, dairesel kırılma yüzeyinden oldukça farklı olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, sadece topuk kaymasını inceleyecek şekilde stabilite probleminin çözülmüş olmasının da kırılma yüzeyi üzerinde etkisi olduğu saptanmıştır. Şöyleki kırılma yüzeyi topuk bölgesine yaklaştığında dik bir şekilde, bir zorlamanın etkisiyle yüzeye (topuk noktasına) ulaşmıştır. Şev tepesi, şevin eğik zemin yüzeyi üzerinde oluşmamıştır. Yani, sadece eğik şev yüzeyiyle sınırlı kalmayıp, bu eğik düzlemi aşarak sağa doğru kayan bir düzlemlle sınırlanmıştır.



$c = 10 \text{ kN/m}^2$, $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$, $\phi = 20^\circ$, $\beta = 30^\circ$, $G_s = 1.18$, $\Delta x = 2.47 \text{ m}$, $H = 10 \text{ m}$

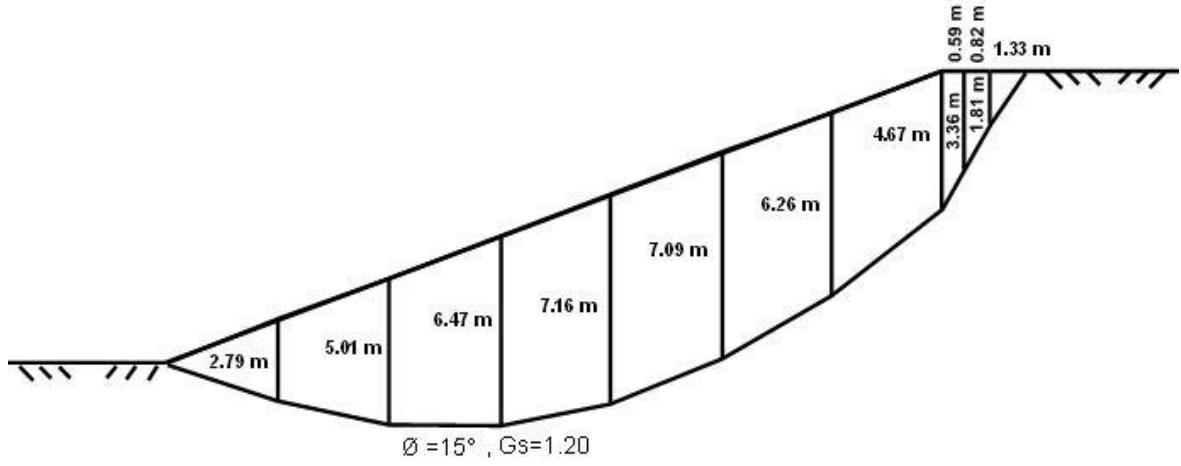
Şekil 27. Belirlenen geoteknik özellikler için şev kırılma yüzeyinin oluşturulması

3.1. Değişen c , ϕ ve β Değerleriyle Şev Kırılma Yüzeylerinin Elde Edilmesi

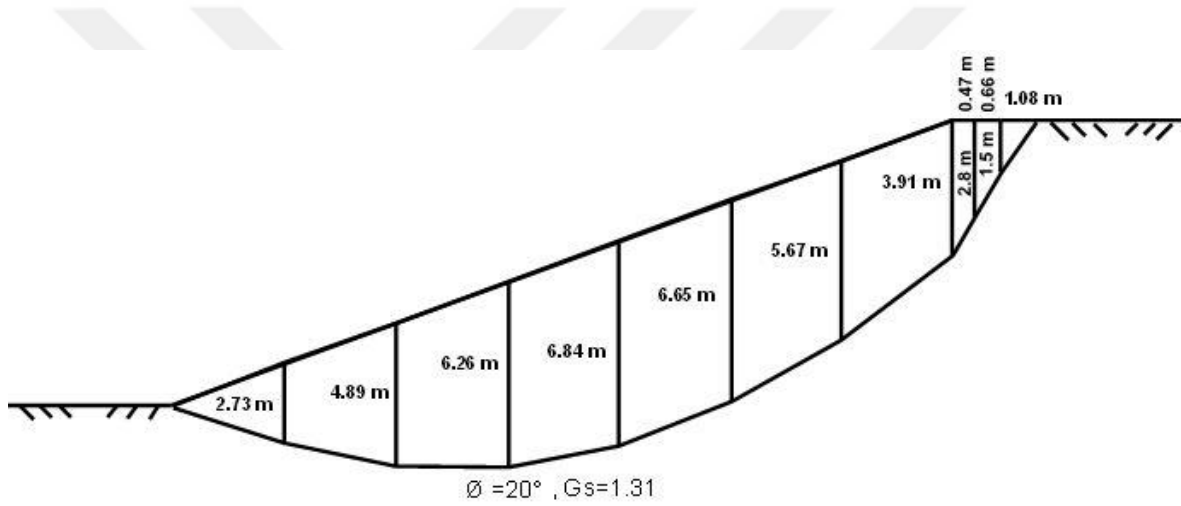
Şev kırılma yüzeylerine ulaşmak için değişen kohezyon ($c=4, 8, 12, 16, 32, 48 \text{ kN/m}^2$), içsel sürtünme açısı ($\phi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$) ve şev açısı ($\beta=20^\circ, 30^\circ, 45^\circ$) değerleriyle birlikte oluşturulan farklı kombinasyonlarla, zemin birim hacim ağırlığı $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$ olarak belirlenerek problem MATLAB programında tekrar analiz edilmiş ve yeni kırılma yüzeylerine bağlı olarak aşağıdaki şekiller çizilmiştir.

3.1.1. $c=4 \text{ kN/m}^2$, $\beta=20^\circ$ ve $\Delta x=3.92 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri

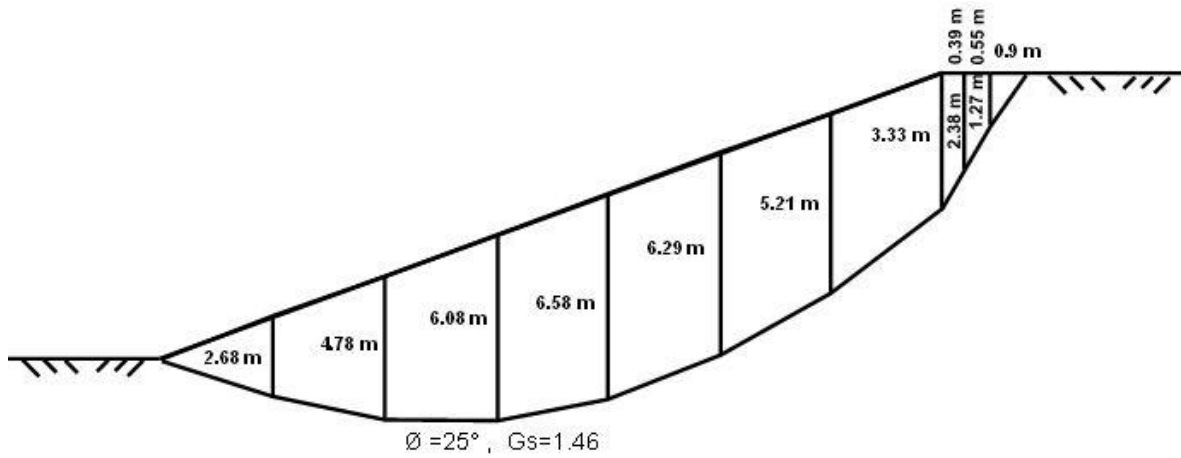
Şekil 28'de, yapılan stabilite analizi sonucunda elde edilen şeve ait kırılma derinlikleri ve kırılma yüzeyleri görülmektedir. Problemin değişken sayısı sebebiyle kırılma yüzeyi parçalı kırıklı olmakla birlikte şev tepesi dışında kalan bölgede bir daire yayı parçası görünümü vermektedir.



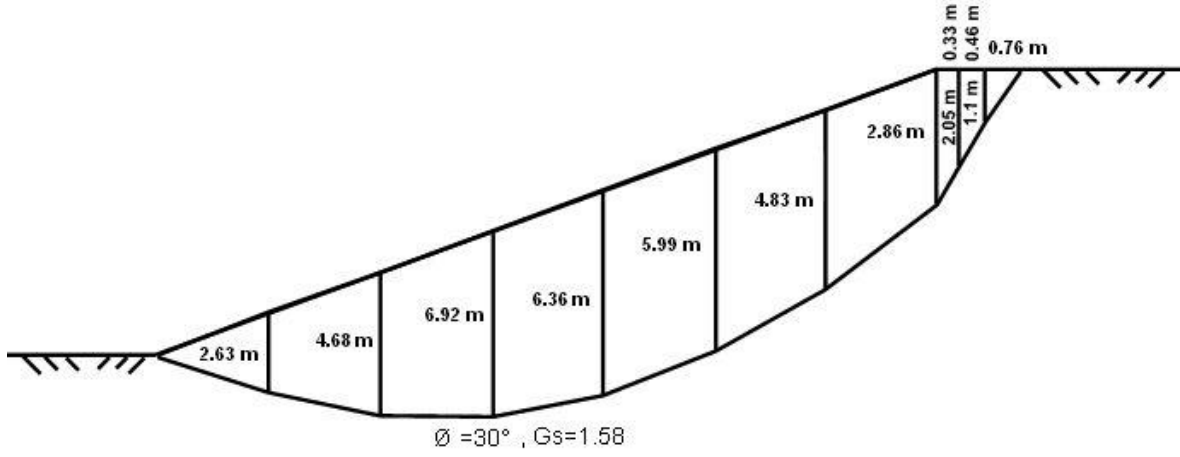
Şekil 28. a. $\phi = 15^\circ$, $G_s = 1.20$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



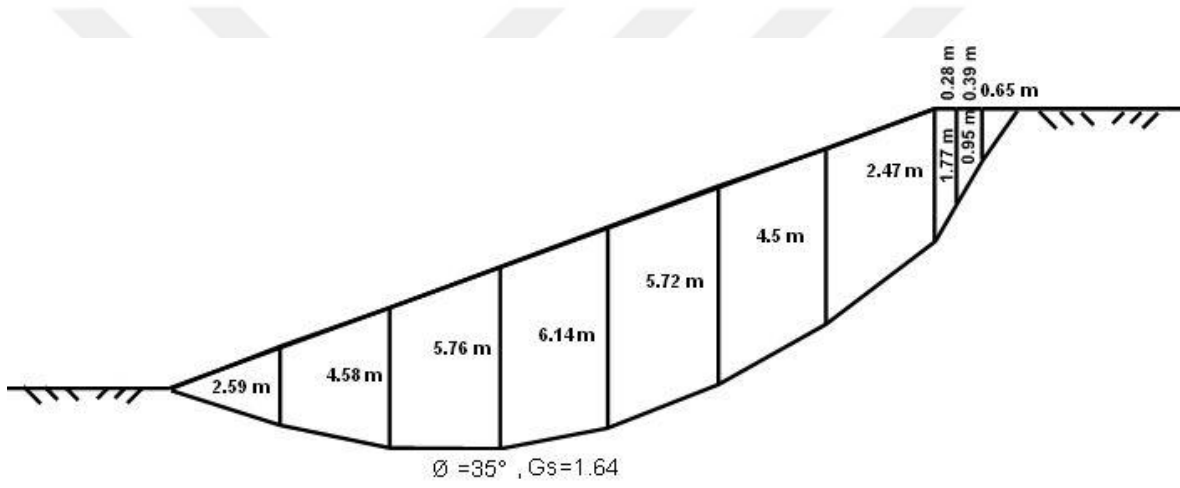
Şekil 28. b. $\phi = 20^\circ$, $G_s = 1.31$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



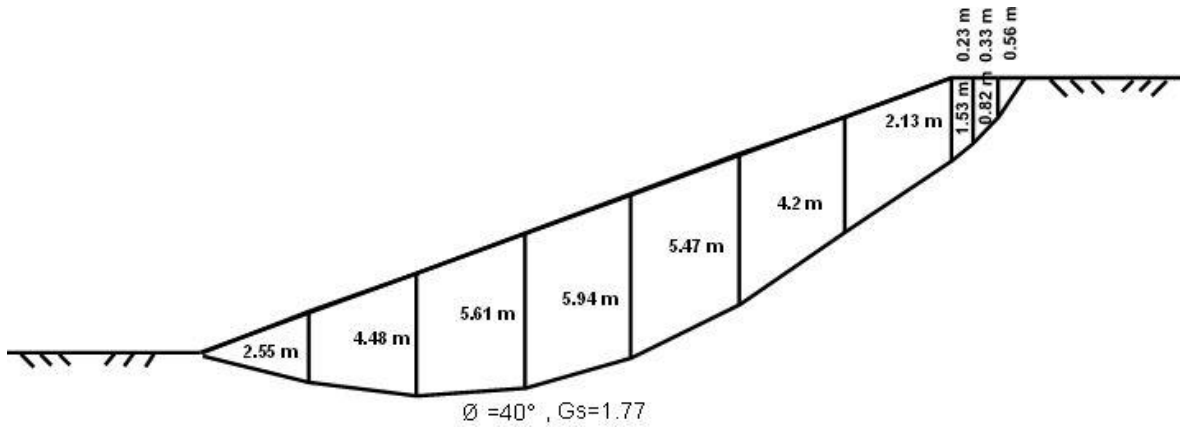
Şekil 28. c. $\phi = 25^\circ$, $G_s = 1.46$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 28. d. Ø=30°, G_s=1.58 için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



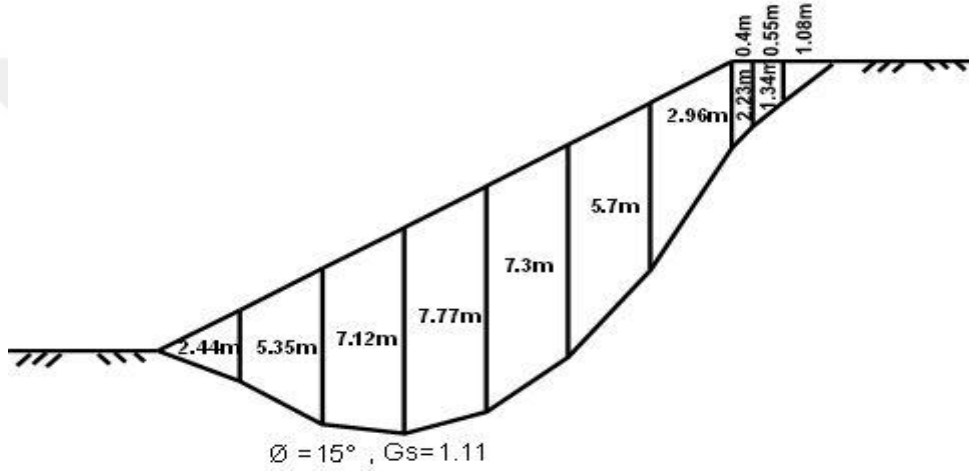
Şekil 28. e. Ø=35°, G_s=1.64 için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



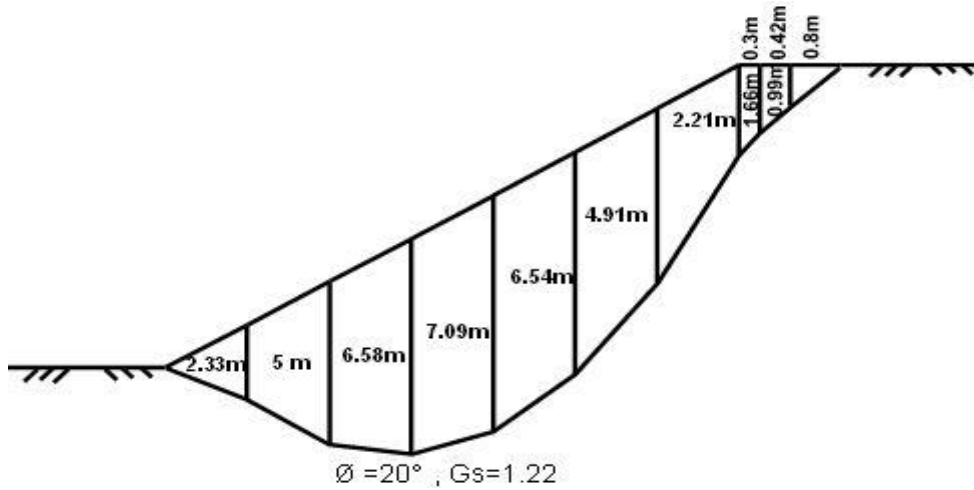
Şekil 28. f. Ø=40°, G_s=1.77 için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

3.1.2. $c=4 \text{ kN/m}^2$, $\beta=30^\circ$ ve $\Delta x=2.47 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri

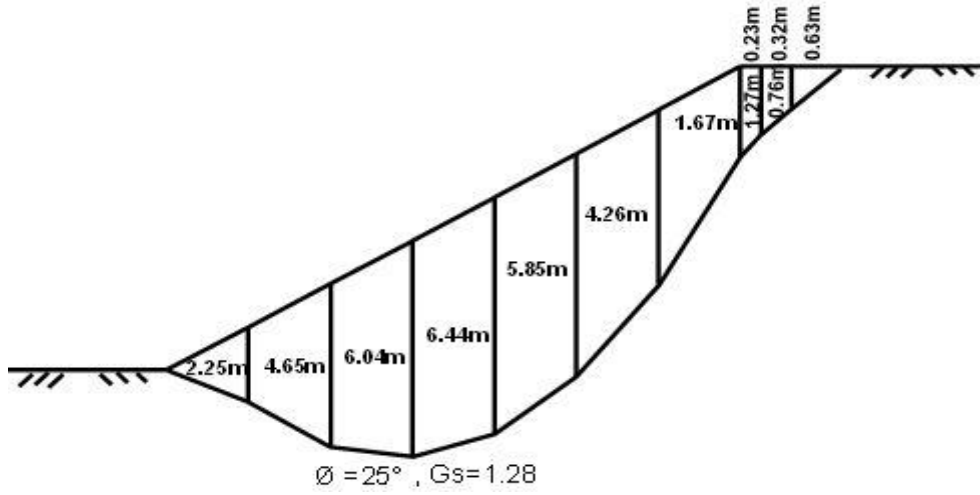
Şekil 29'da, yapılan analiz sonucunda elde edilen şeve ait kırılma derinlikleri ve şev kırılma yüzeylerinin kompozit bir biçimdeki oluşumu görülmektedir. Bu kırılma yüzeylerinin topuk bölgesine ve şevin tepe kısmına denk gelen kısımlarında doğrusal olduğu ve bunların ortasında eğrisel bir yapı olduğu görülmektedir. Ayrıca, kırılma yüzeyi topuk bölgesine yaklaştığında dik bir şekilde, ani bir zorlamayla yüzeye (topuk noktasına) ulaştığı gözlenmektedir.



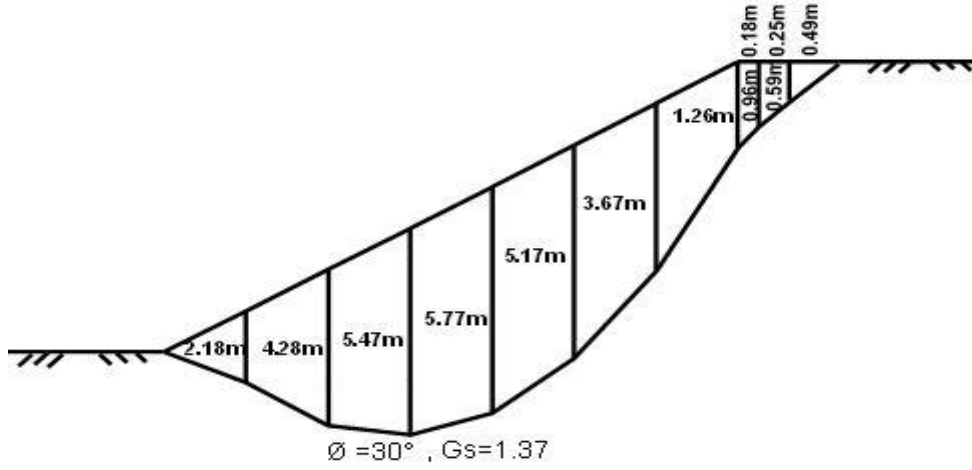
Şekil 29. a. $\phi=15^\circ$, $G_s=1.11$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



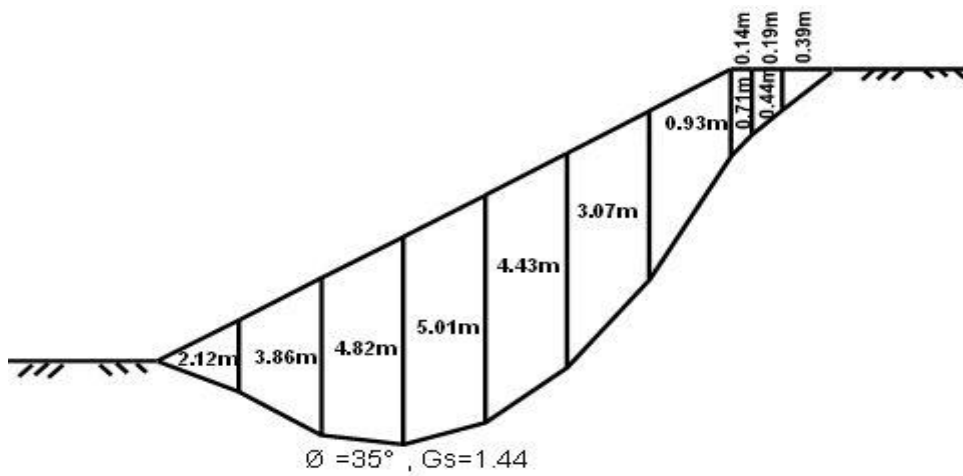
Şekil 29. b. $\phi=20^\circ$, $G_s=1.22$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



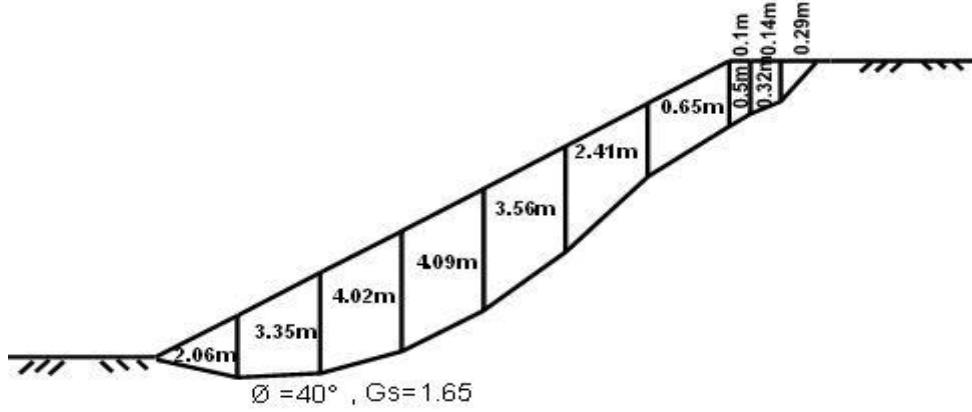
Şekil 29. c. Ø=25° , G_s=1.28 için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 29. d. Ø=30° , G_s=1.37 için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 29. e. Ø=35° , G_s=1.44 için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 29. f. $\phi=40^\circ$, $G_S=1.65$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

3.1.3. $c=4 \text{ kN/m}^2$, $\beta=45^\circ$ ve $\Delta x=1.43 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri

Şekil 30'da, yapılan stabilite analizleri sonucunda elde edilen kırılma derinlikleri ve kırılma yüzeyi $\phi=15^\circ$ için görülmektedir. Kırılma yüzeyi, genellikle yüzeye paralel doğrusal olarak ilerlemekte olup şevin topuk ve tepe kısmında eğimi değişmektedir. Diğer ϕ ve G_S değerlerine ait kırılma derinlikleri çok küçük olduğundan yani şev eğik yüzeyine çok yakın olduğundan şekil olarak gösterilmemiş, ϕ ve G_S değerleri sadece sayısal olarak ifade edilmiştir:

$\phi=20^\circ$ ve $G_S=1.13$,

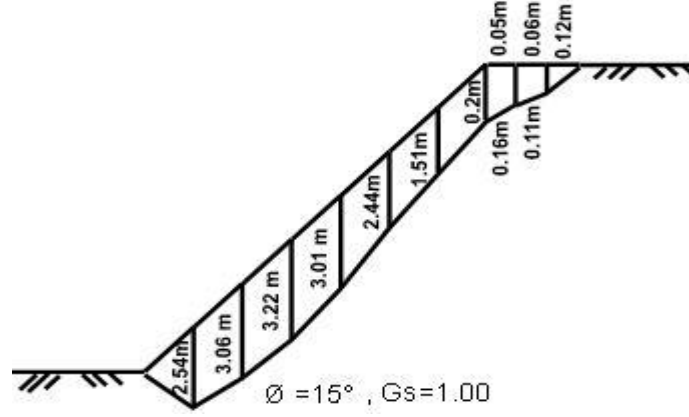
$\phi=25^\circ$ ve $G_S=1.23$,

$\phi=30^\circ$ ve $G_S=1.30$,

$\phi=35^\circ$ ve $G_S=1.39$,

$\phi=40^\circ$ ve $G_S=1.47$.

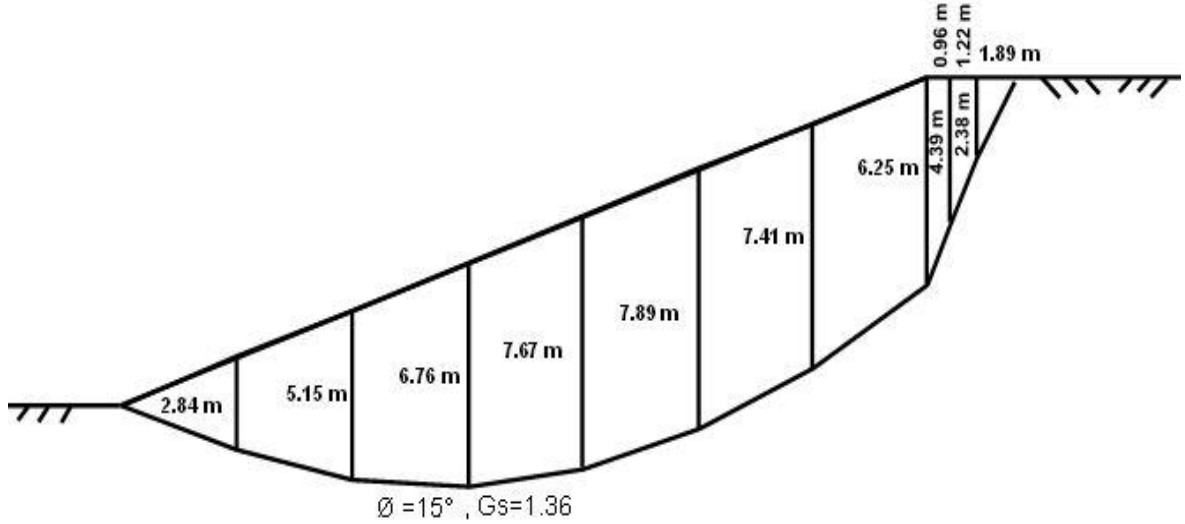
Ayrıca, kırılma yüzeyi topuk bölgesine yaklaştığında dik bir şekilde, ani bir zorlamayla yüzeye (topuk noktasına) ulaştığı gözlenmektedir. Genel olarak zemin akması tipinde bir şev kayması olduğu söylenebilir.



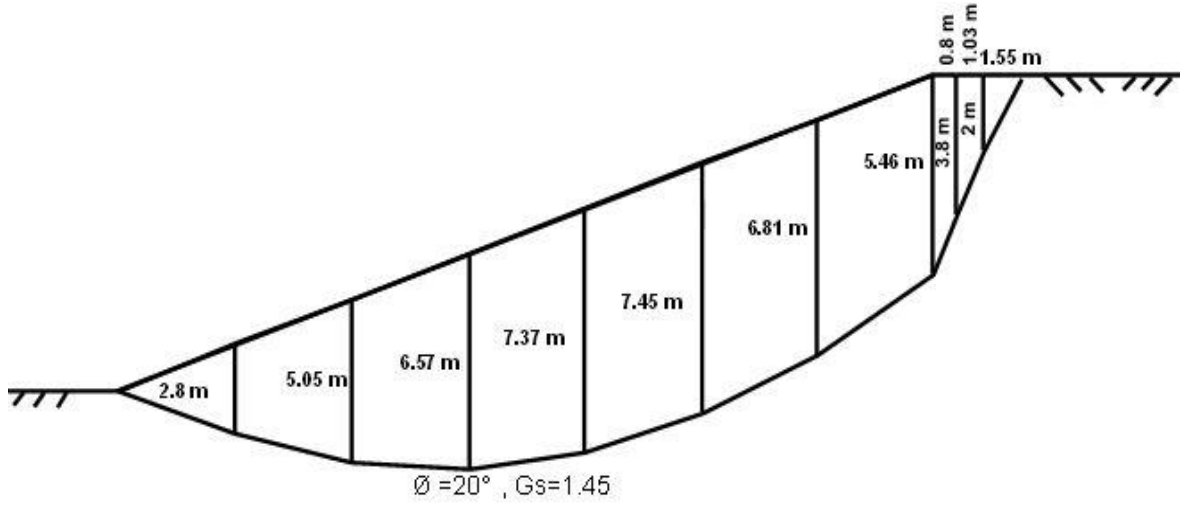
Şekil 30. $\varnothing=15^\circ$, $G_s=1.00$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

3.1.4. $c=8 \text{ kN/m}^2$, $\beta=20^\circ$ ve $\Delta x=3.92 \text{ m}$ için Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri

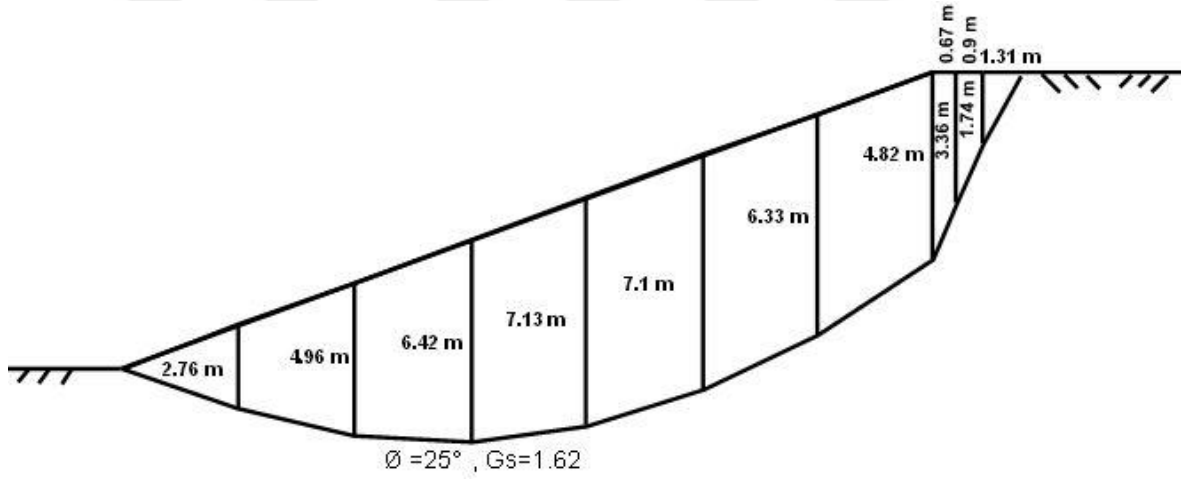
Şekil 31'de, yapılan analiz sonucunda elde edilen şev ait kırılma derinlikleri ve şev kırılma yüzeylerinin kompozit bir biçimdeki oluşumu görülmektedir. Problemin değişken sayısı sebebiyle kırılma yüzeyi parçalı kırıklı olmakla birlikte şev tepesi dışında kalan bölgede bir daire yayı parçası görünümü vermektedir.



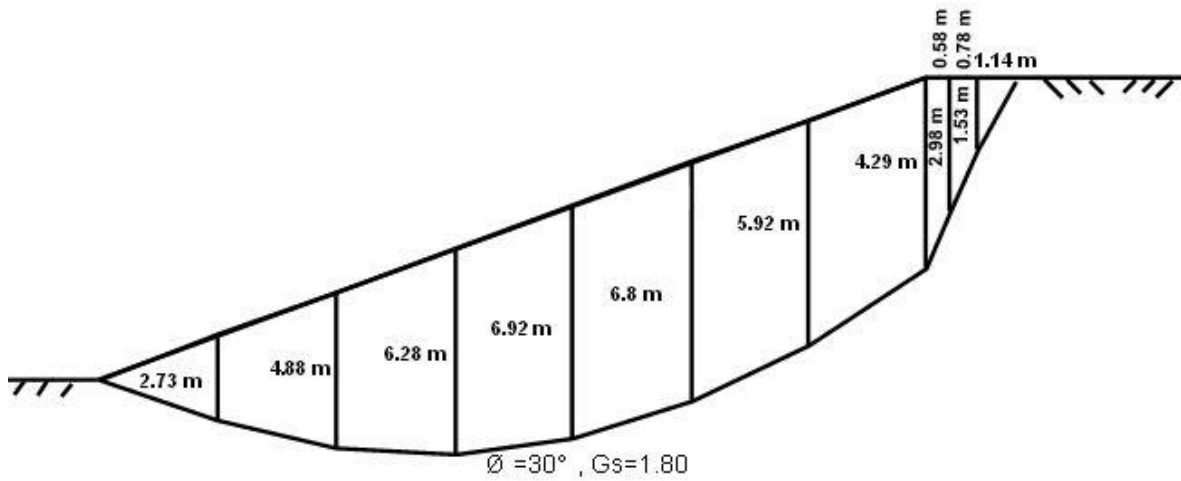
Şekil 31. a. $\varnothing=15^\circ$, $G_s=1.36$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



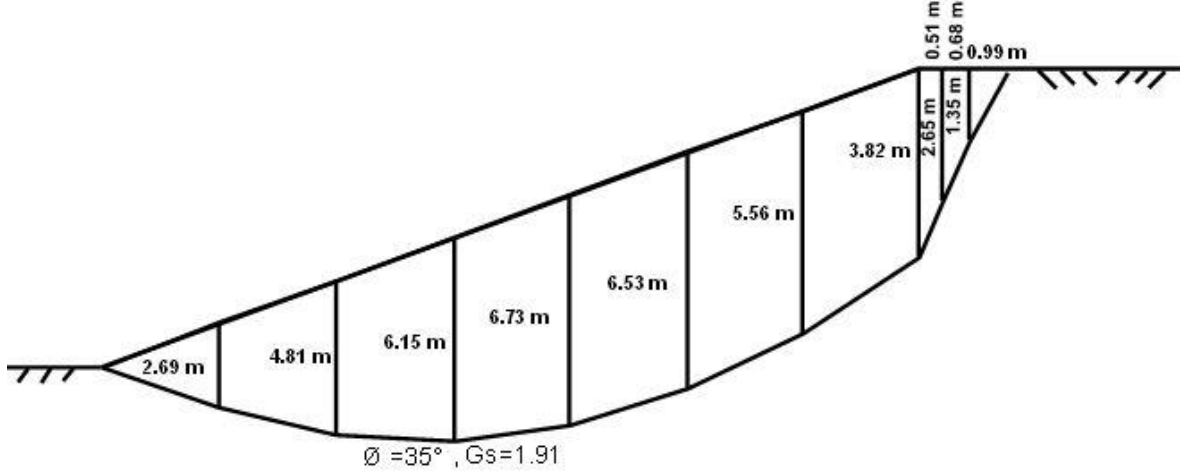
Şekil 31. b. $\emptyset = 20^\circ$, $G_s = 1.45$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



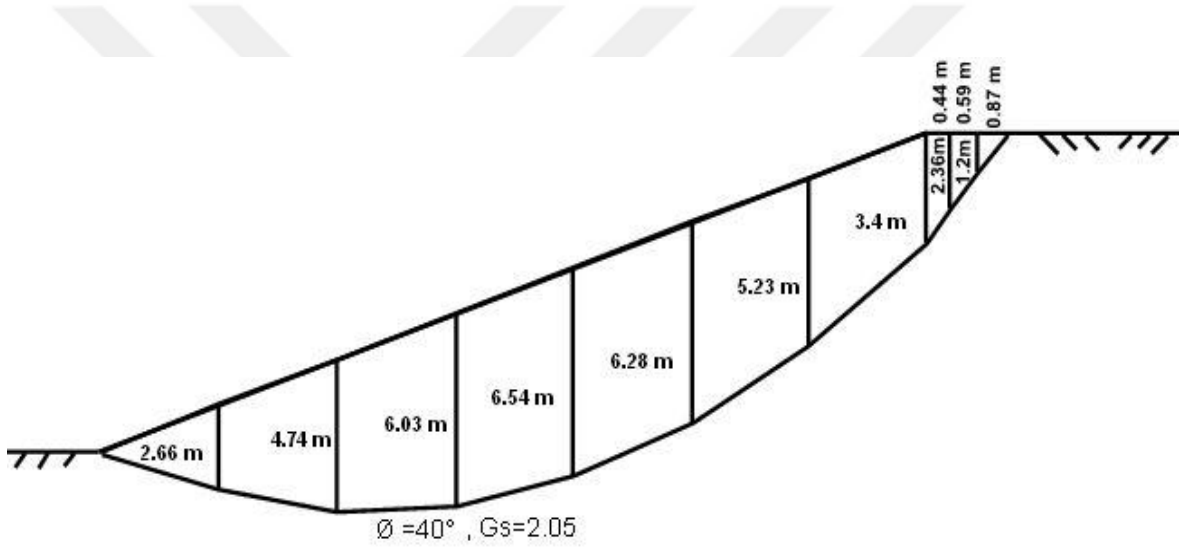
Şekil 31. c. $\emptyset = 25^\circ$, $G_s = 1.62$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 31. d. $\emptyset = 30^\circ$, $G_s = 1.80$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



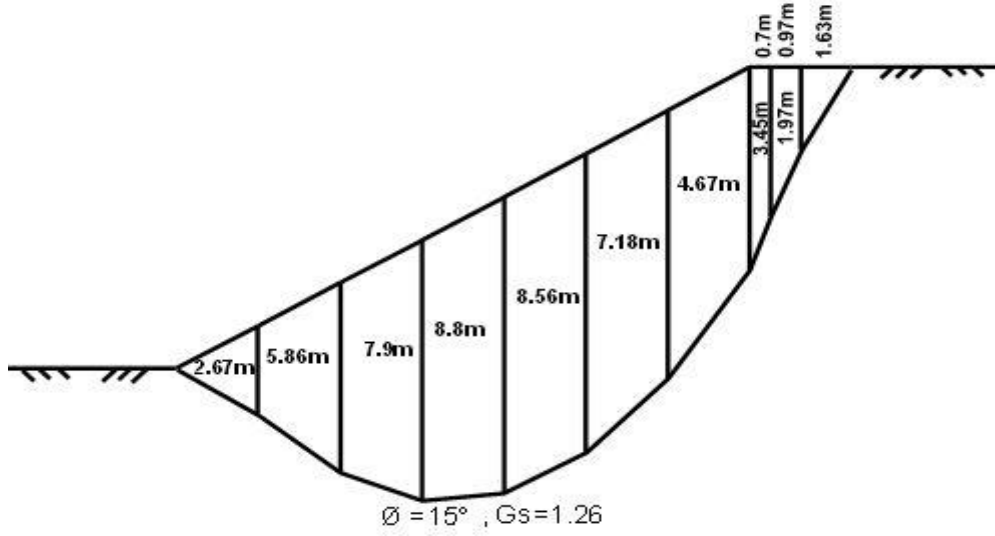
Şekil 31. e. $\text{Ø}=35^\circ$, $G_s=1.91$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



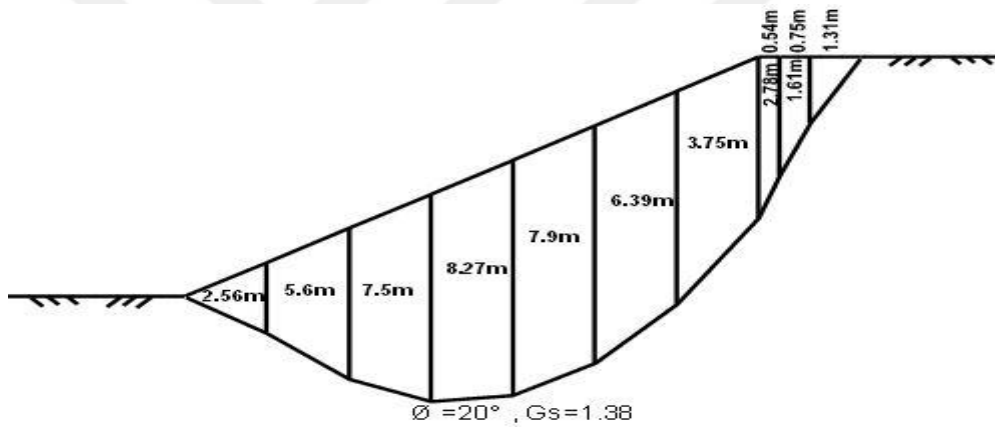
Şekil 31. f. $\text{Ø}=40^\circ$, $G_s=2.05$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

3.1.5. $c=8 \text{ kN/m}^2$, $\beta=30^\circ$ ve $\Delta x=2.47 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri

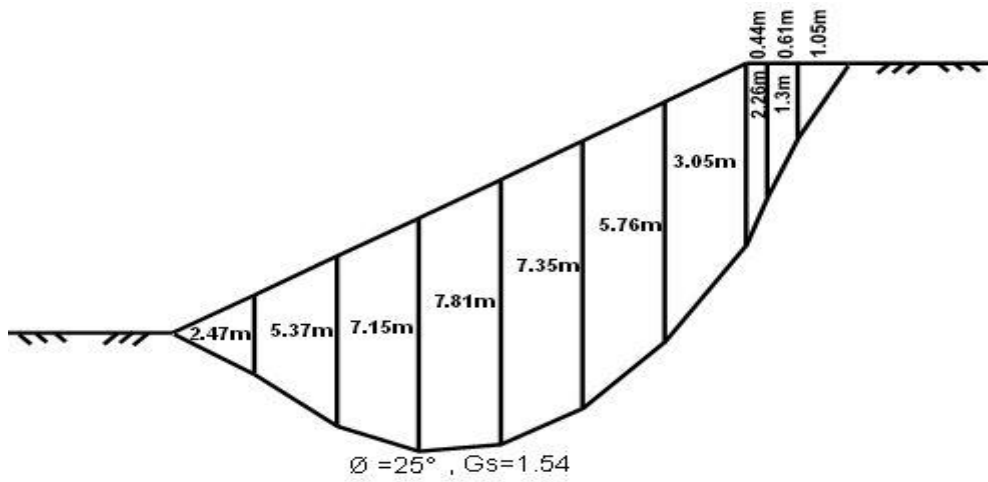
Şekil 32'de, yapılan analiz sonucunda elde edilen şeve ait kırılma derinlikleri ve şev kırılma yüzeylerinin kompozit bir biçimdeki oluşumu görülmektedir. Kırılma yüzeyi topuk bölgesine yaklaştığında dik bir şekilde, ani bir zorlamayla yüzeye (topuk noktasına) ulaştığı gözlenmektedir. Bu kırılma yüzeylerinin topuk bölgesine ve şevin tepe kısmına denk gelen kısımlarında doğrusal olduğu ve bunların ortasında eğrisel bir yapı olduğu görülmektedir.



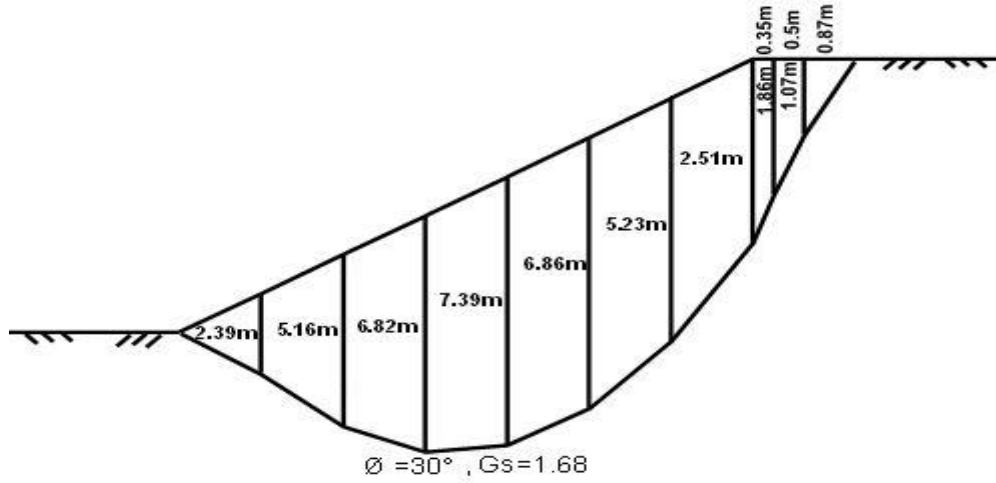
Şekil 32. a. $\emptyset = 15^\circ$, $G_s = 1.26$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



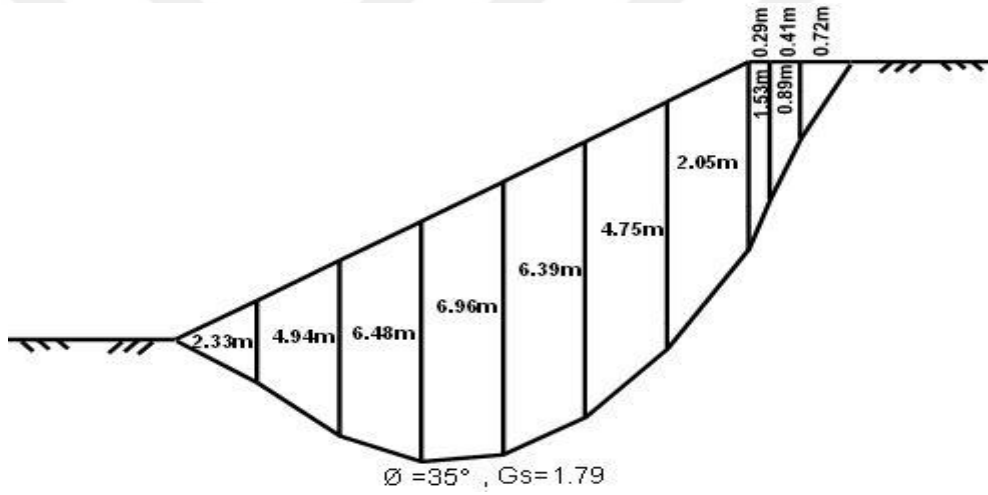
Şekil 32. b. $\emptyset = 20^\circ$, $G_s = 1.38$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



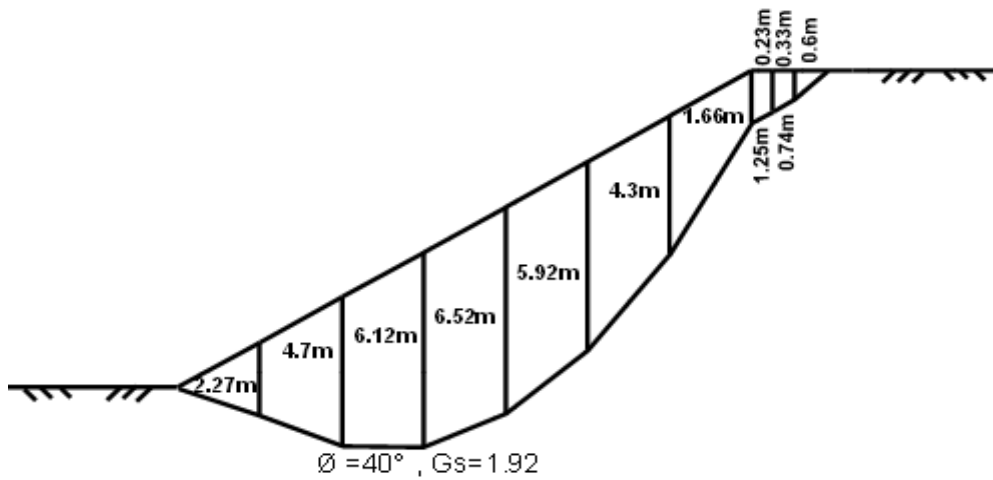
Şekil 32. c. $\emptyset = 25^\circ$, $G_s = 1.54$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 32. d. $\phi = 30^\circ$, $G_s = 1.68$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 32. e. $\phi = 35^\circ$, $G_s = 1.79$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



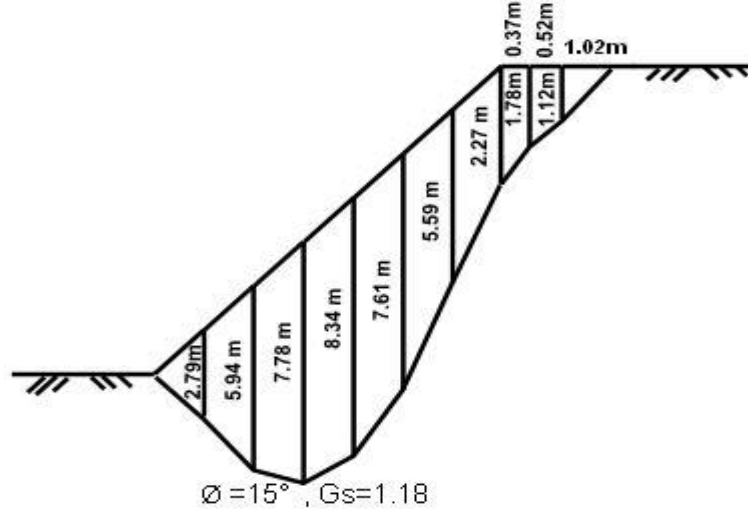
Şekil 32. f. $\phi = 40^\circ$, $G_s = 1.92$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

3.1.6. $c=8 \text{ kN/m}^2$, $\beta=45^\circ$ ve $\Delta x=1.43 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri

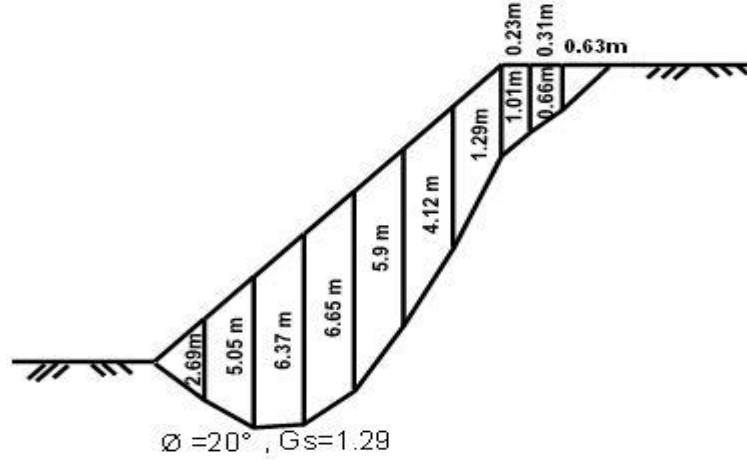
Şekil 33'te, yapılan analiz sonucunda elde edilen şeve ait kırılma derinlikleri ve şev kırılma yüzeylerinin kompozit bir biçimdeki oluşumu görülmektedir. Ayrıca, kırılma yüzeyi topuk bölgesine yaklaştığında dik bir şekilde yüzeye (topuk noktasına) ulaştığı gözlenmektedir. Bu kırılma yüzeyi geometrisinde, gerçekte böyle bir durumda taban kayması şeklinde bir kayma modunun daha muhtemel olduğu söylenebilir. Çünkü bu çalışmada geliştirilen yöntem sadece topuk kaymasını göz önüne almaktadır. Dolayısıyla kırılma yüzeylerinin topuk noktası ilerisine taşınma olasılığı ortadan kalkmaktadır. Şekil 33. d'de, yapılan analiz sonucunda elde edilen şeve ait kırılma derinlikleri ve şev kırılma yüzeyinin, şev eğik yüzeyine paralel olarak doğrusal bir biçimdeki oluşumu görülmektedir. Ayrıca, kırılma yüzeyi topuk bölgesine yaklaştığında dik bir şekilde yüzeye (topuk noktasına) ulaştığı gözlenmektedir. Diğer \emptyset ve G_S değerlerine ait kırılma derinlikleri, çok küçük olduğundan yani şev eğik yüzeyine çok yakın olduğundan şekil olarak gösterilmemiş, \emptyset ve G_S değerleri sadece sayısal olarak ifade edilmiştir:

$$\emptyset=35^\circ \text{ ve } G_S=1.62,$$

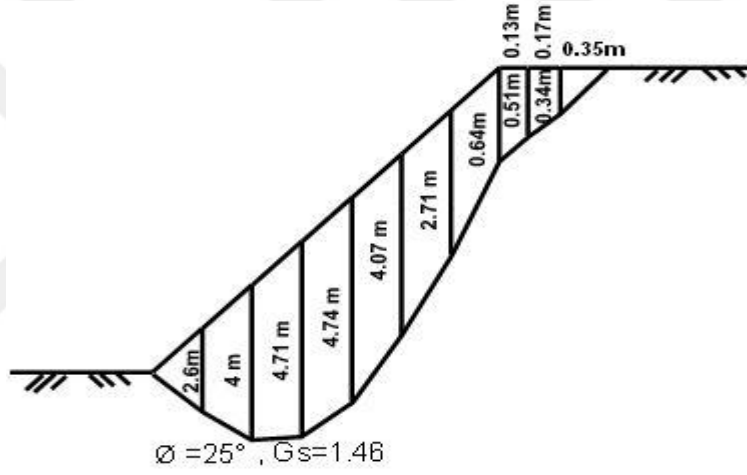
$$\emptyset=40^\circ \text{ ve } G_S=1.85.$$



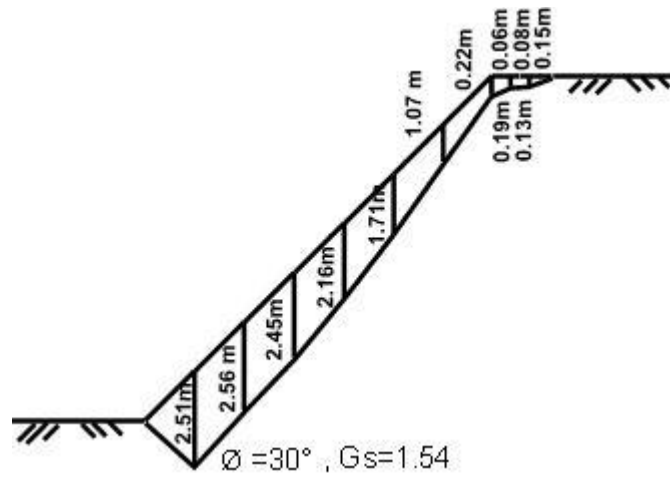
Şekil 33. a. $\emptyset=15^\circ$, $G_S=1.18$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 33. b. $\text{Ø} = 20^\circ$, $G_s = 1.29$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



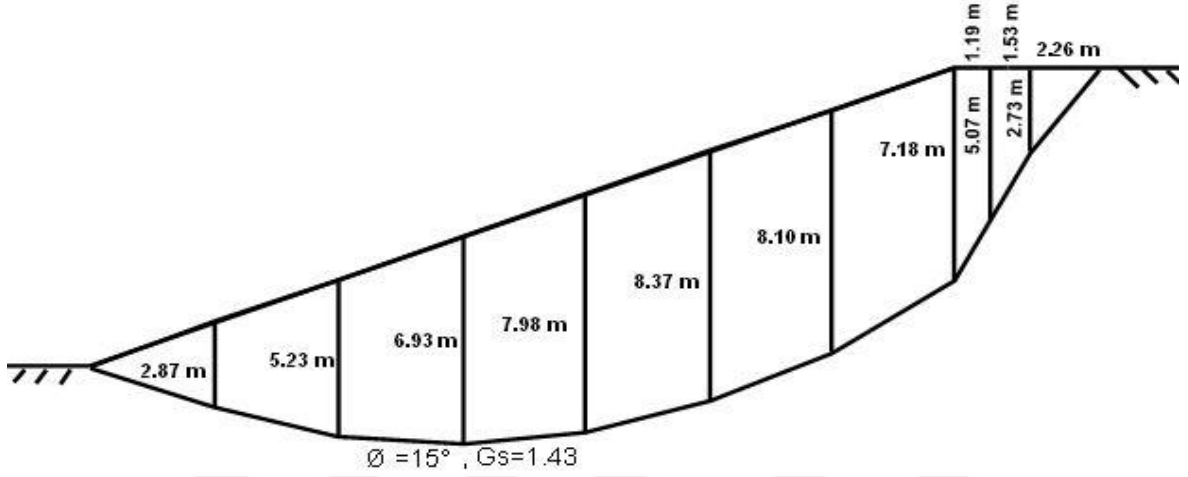
Şekil 33. c. $\text{Ø} = 25^\circ$, $G_s = 1.46$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



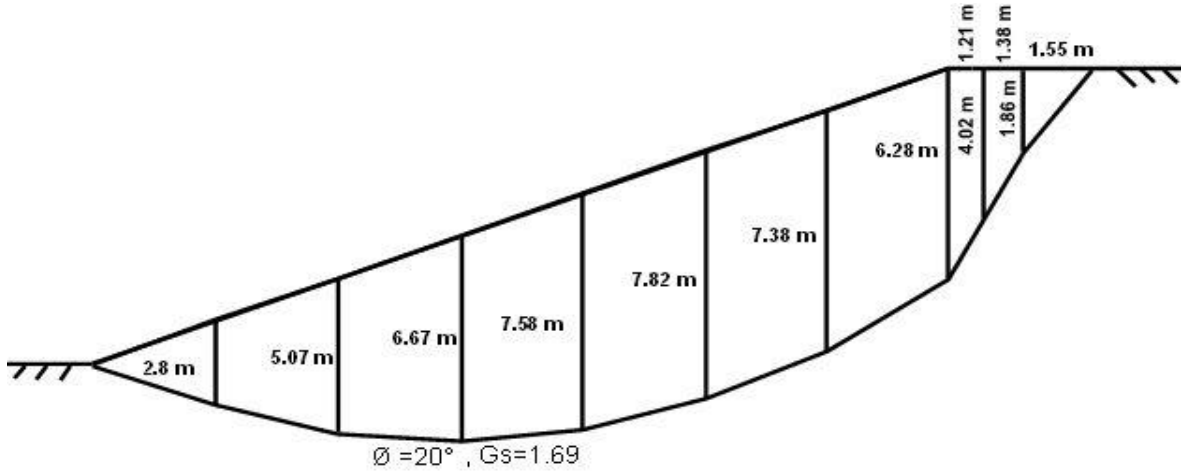
Şekil 33. d. $\text{Ø} = 30^\circ$, $G_s = 1.54$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

3.1.7. $c=12 \text{ kN/m}^2$, $\beta=20^\circ$ ve $\Delta x=3.92 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri

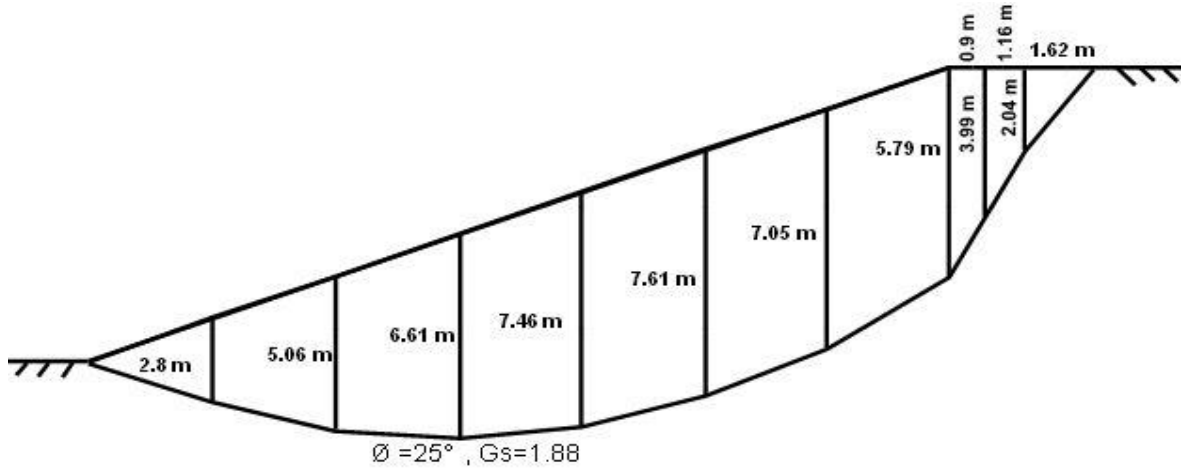
Şekil 34'te, yapılan analiz sonucunda elde edilen Şeve ait kırılma derinlikleri ve Şev kırılma yüzeylerinin kompozit bir biçimdeki oluşumu görölmektedir. Problemin değişken sayısı sebebiyle kırılma yüzeyi parçalı kırıklı olmakla birlikte Şev tepesi dışında kalan bölgede bir daire yayı parçası görünümü vermektedir.



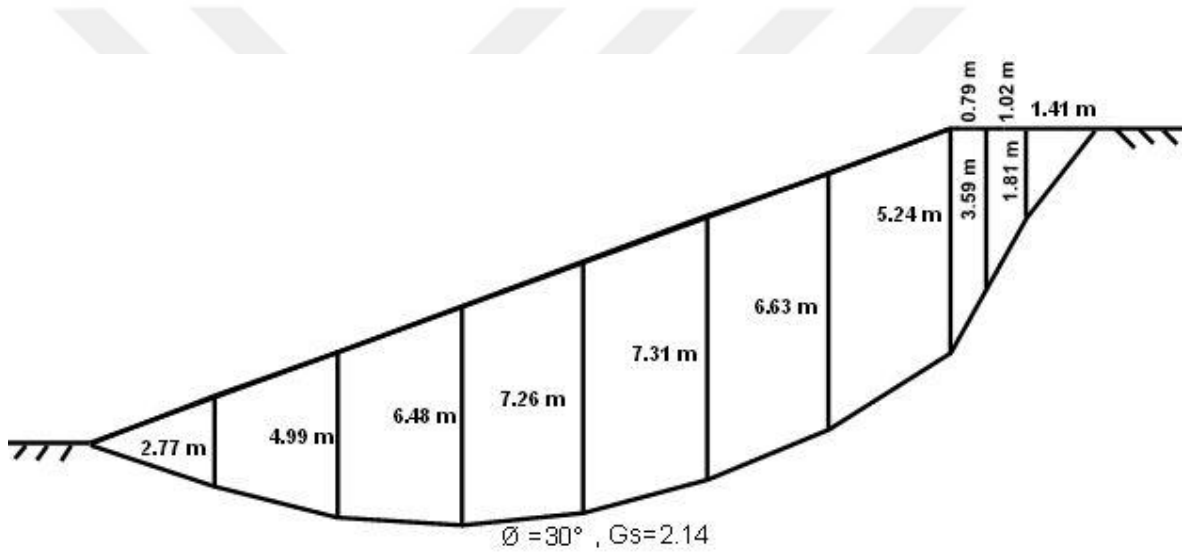
Şekil 34. a. $\text{Ø}=15^\circ$, $G_s=1.43$ için homojen sonlu Şevde elde edilen kırılma yüzeyi



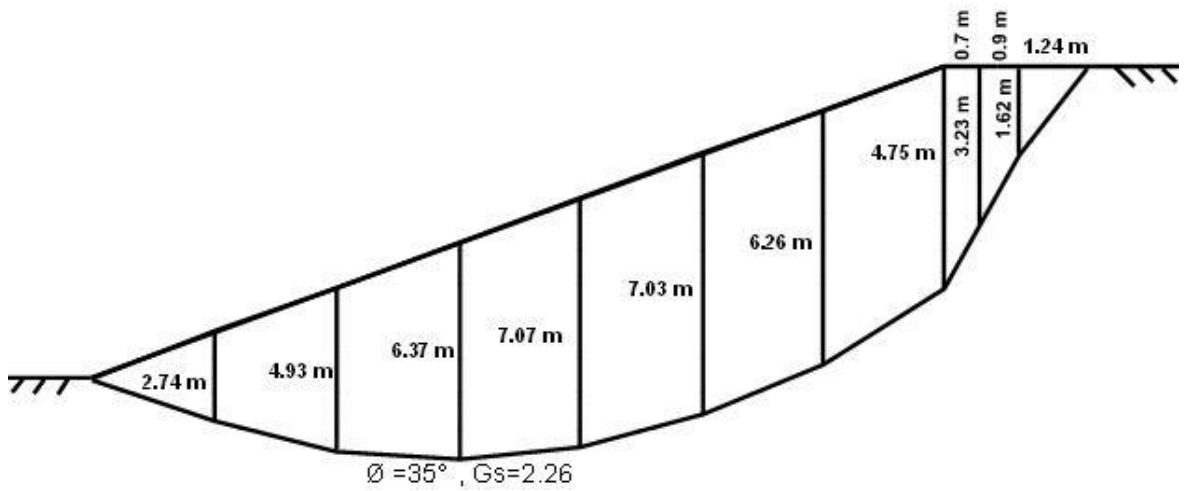
Şekil 34. b. $\text{Ø}=20^\circ$, $G_s=1.69$ için homojen sonlu Şevde elde edilen kırılma yüzeyi



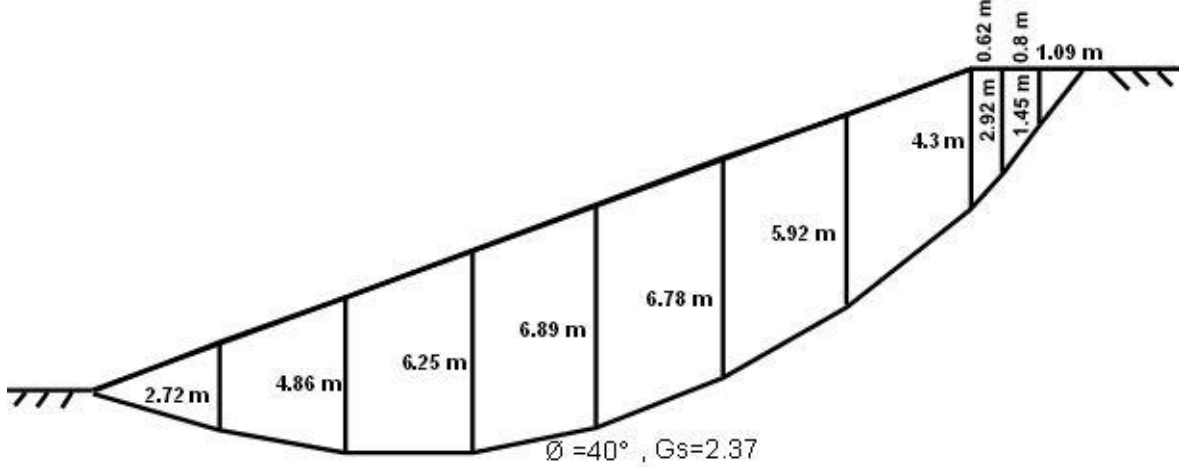
Şekil 34. c. $\emptyset = 25^\circ$, $G_s = 1.88$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 34. d. $\emptyset = 30^\circ$, $G_s = 2.14$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



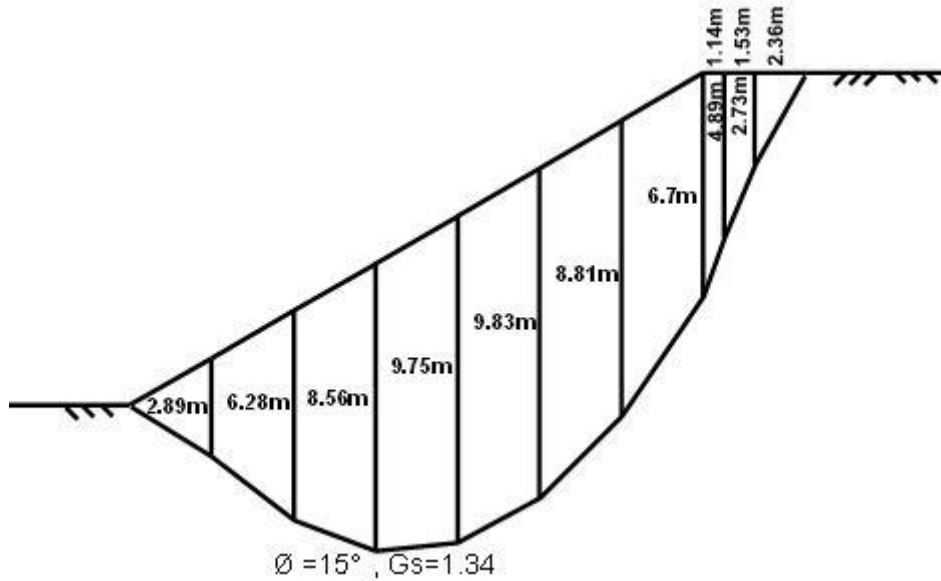
Şekil 34. e. $\emptyset = 35^\circ$, $G_s = 2.26$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



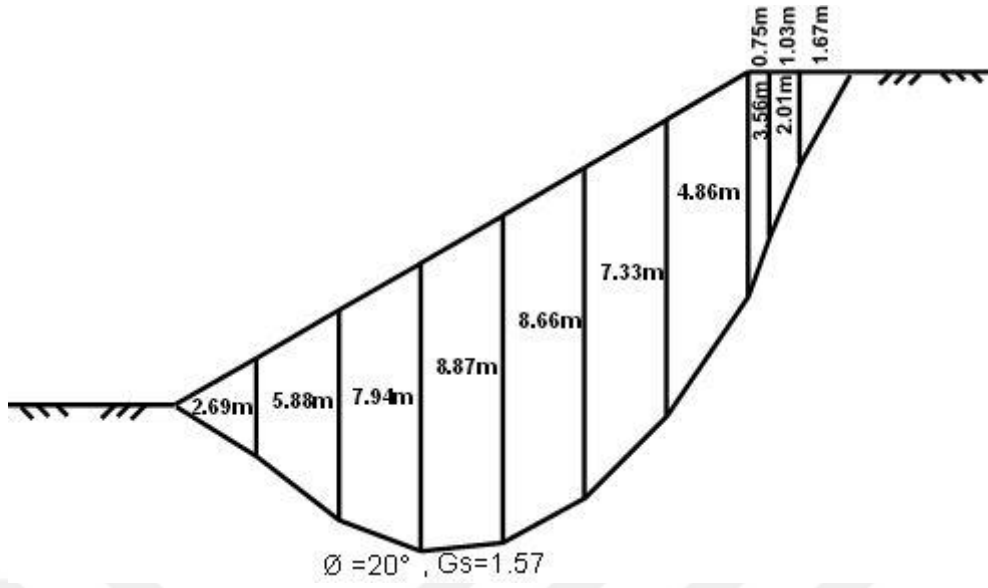
Şekil 34. f. $\phi=40^\circ$, $G_s=2.37$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

3.1.8. $c=12 \text{ kN/m}^2$, $\beta=30^\circ$ ve $\Delta x=2.47 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri

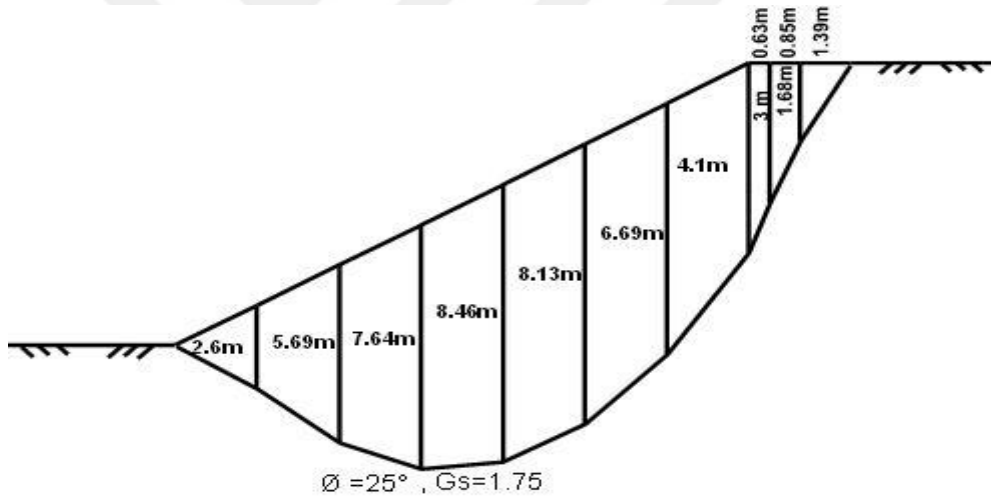
Şekil 35'te, yapılan analiz sonucunda elde edilen şeve ait kırılma derinlikleri ve şev kırılma yüzeylerinin kompozit bir biçimdeki oluşumu görülmektedir. Kırılma yüzeyi topuk bölgesine yaklaştığında dik bir şekilde, ani bir zorlamayla yüzeye (topuk noktasına) ulaştığı gözlenmektedir. Bu kırılma yüzeylerinin topuk bölgesine ve şevin tepe kısmına denk gelen kısımlarında doğrusal olduğu ve bunların ortasında eğrisel bir yapı oluştuğu görülmektedir.



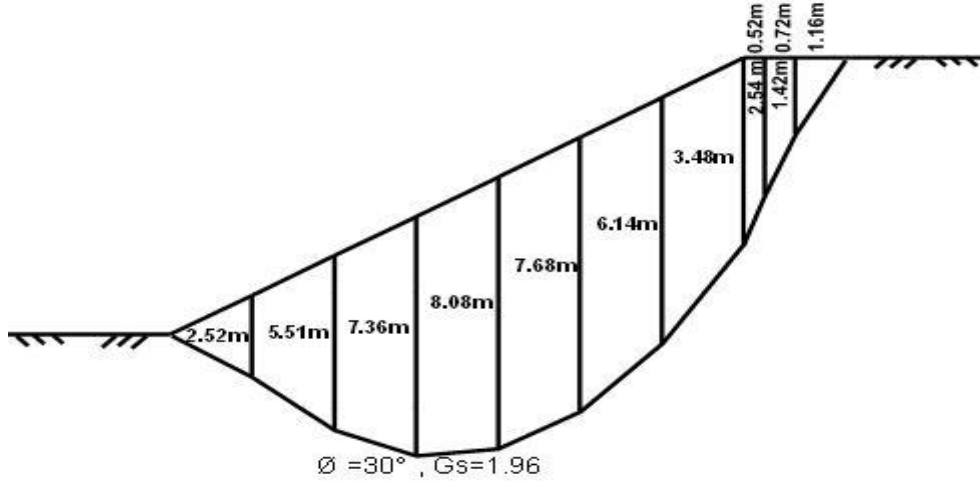
Şekil 35. a. $\phi=15^\circ$, $G_s=1.34$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



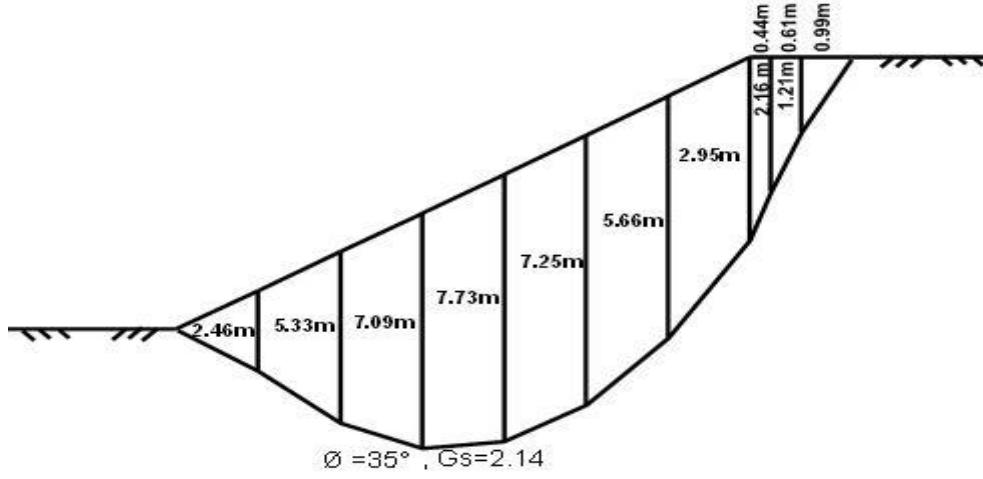
Şekil 35. b. $\phi = 20^\circ$, $G_s = 1.57$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



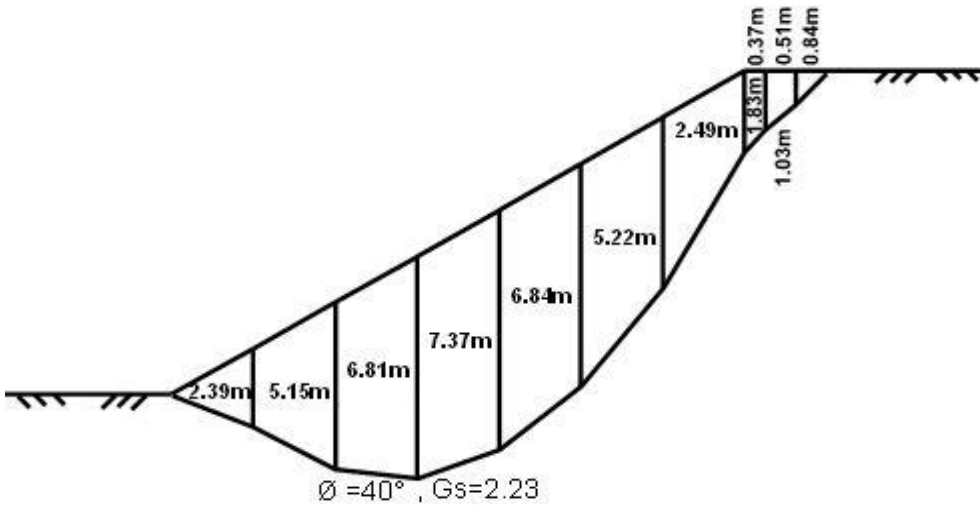
Şekil 35. c. $\phi = 25^\circ$, $G_s = 1.75$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 35. d. $\emptyset = 30^\circ$, $G_S = 1.96$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 35. e. $\emptyset = 35^\circ$, $G_S = 2.14$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



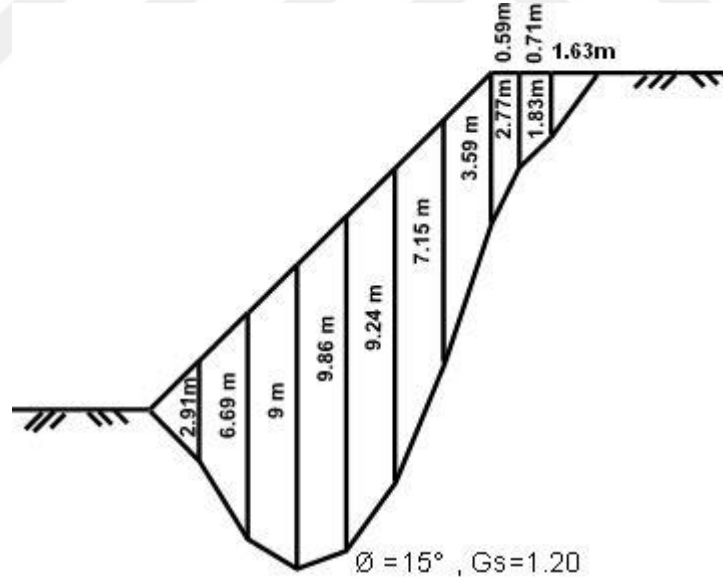
Şekil 35. f. $\emptyset = 40^\circ$, $G_S = 2.23$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

3.1.9. $c=12 \text{ kN/m}^2$, $\beta=45^\circ$ ve $\Delta x=1.43 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri

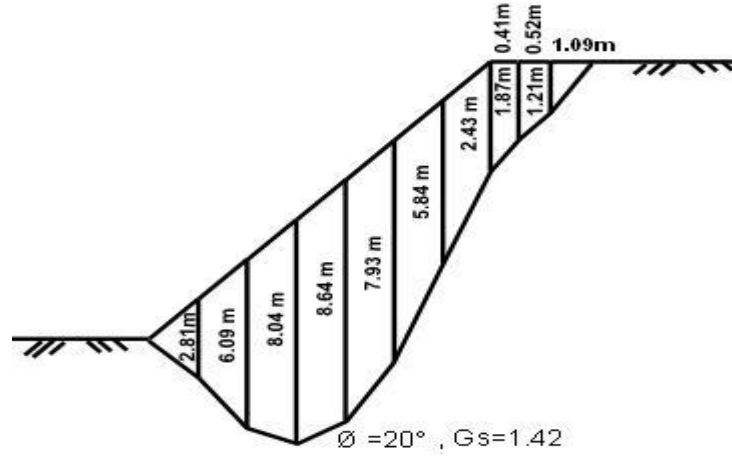
Şekil 36'da, yapılan analiz sonucunda elde edilen Şeve ait kırılma derinlikleri ve Şev kırılma yüzeylerinin kompozit bir biçimdeki oluşumu görölmektedir. Ayrıca, kırılma yüzeyi topuk bölgesine yaklaştığında dik bir şekilde yüzeye (topuk noktasına) ulaştığı gözlenmektedir. Bu kırılma yüzeyi geometrisinde, gerçekte böyle bir durumda taban kayması Şeklinde bir kayma modunun daha muhtemel olduğu söylenebilir. Çünkü bu çalışmada geliştirilen yöntem sadece topuk kaymasını göz önüne almaktadır. Dolayısıyla kırılma yüzeylerinin topuk noktası ilerisine taşınma olasılığı ortadan kalkmaktadır. Diğer \emptyset ve G_s değerlerine ait kırılma derinlikleri çok küçük olduğundan yani Şev eğik yüzeyine çok yakın olduğundan Şekil olarak gösterilmemiş, \emptyset ve G_s değerleri sadece sayısal olarak ifade edilmiştir:

$$\emptyset=35^\circ \text{ ve } G_s=1.92,$$

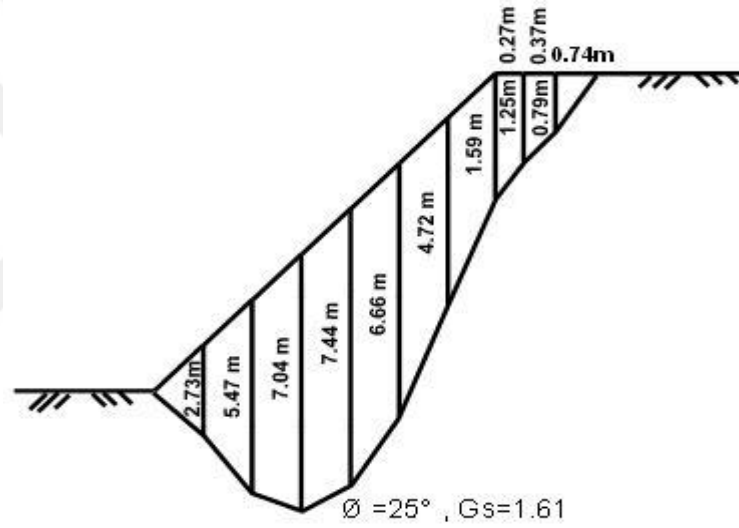
$$\emptyset=40^\circ \text{ ve } G_s=2.08.$$



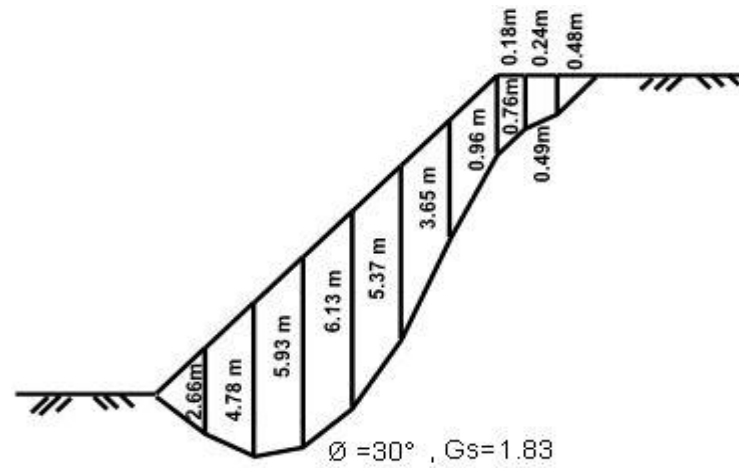
Şekil 36. a. $\emptyset=15^\circ$, $G_s=1.20$ için sonlu Şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 36. b. $\emptyset = 20^\circ$, $G_s = 1.42$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



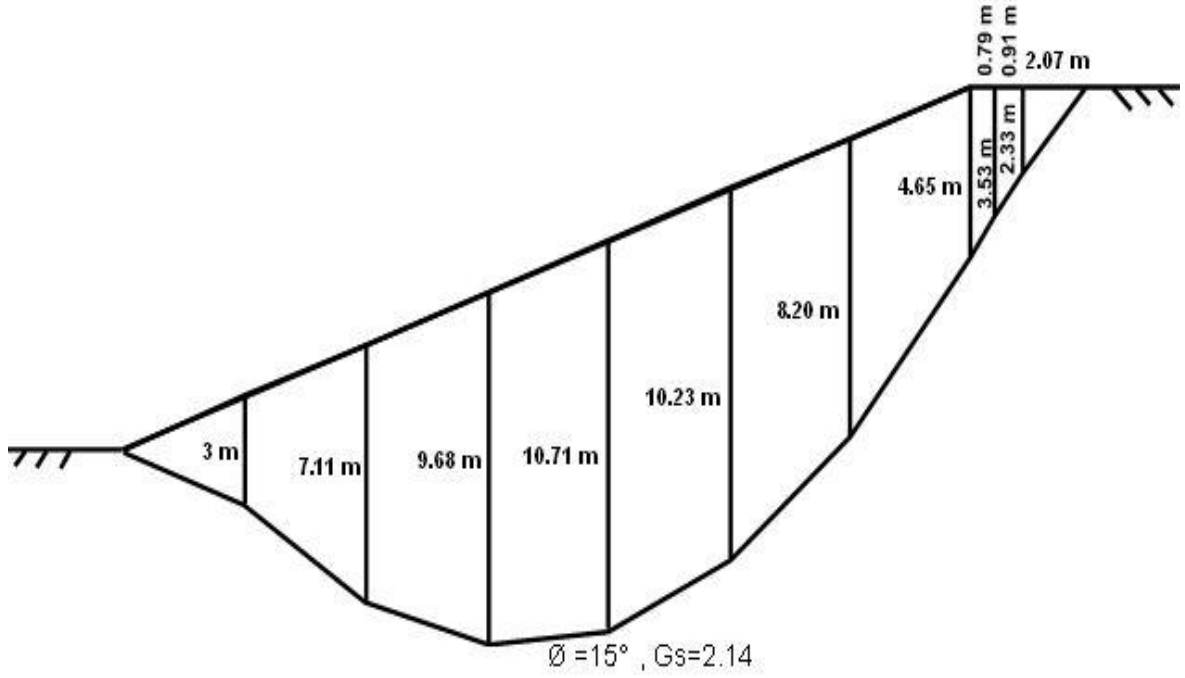
Şekil 36. c. $\emptyset = 25^\circ$, $G_s = 1.61$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



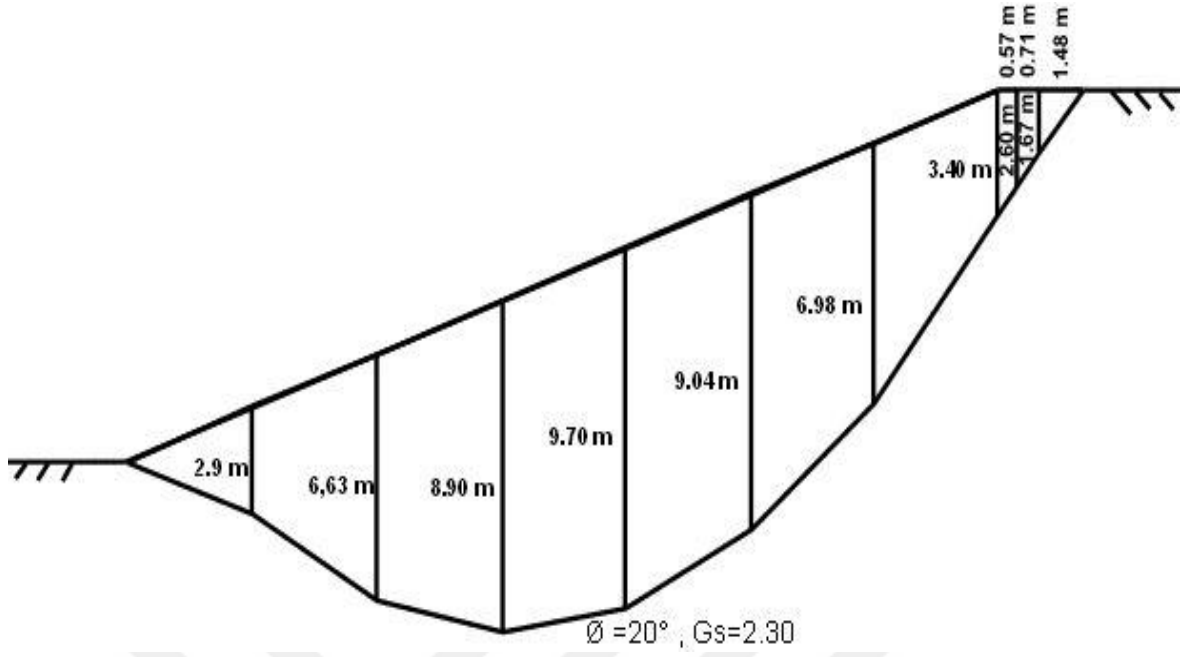
Şekil 36. d. $\emptyset = 30^\circ$, $G_s = 1.83$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

3.1.10. $c=16 \text{ kN/m}^2$, $\beta=20^\circ$ ve $\Delta x=3.92 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri

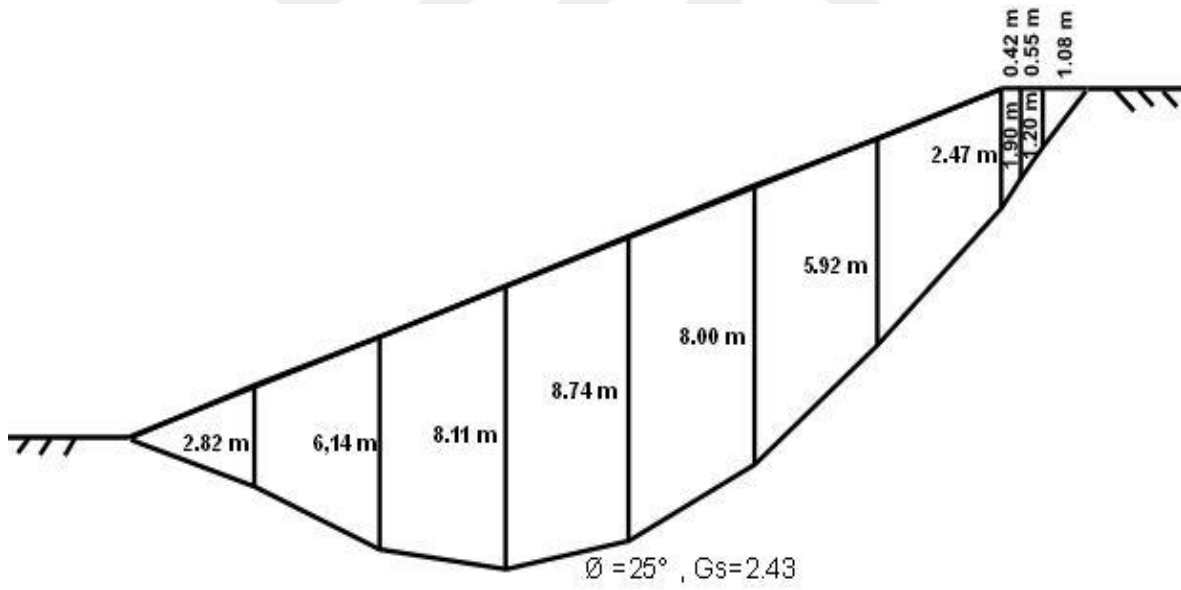
Şekil 37’de, yapılan analiz sonucunda elde edilen şeve ait kırılma derinlikleri ve şev kırılma yüzeylerinin kompozit bir biçimdeki oluşumu görülmektedir. Problemin değişken sayısı sebebiyle kırılma yüzeyi parçalı kırıklı olmakla birlikte topuk bölgesine giden yüzeyin (doğrusal) dışında kalan bölgede bir daire yayı parçası görünümü vermektedir.



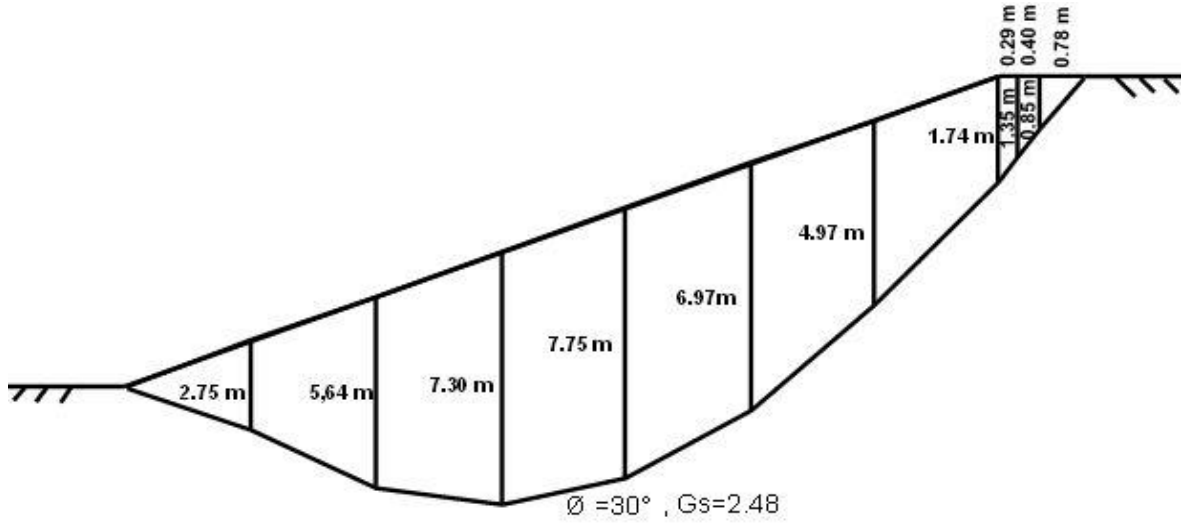
Şekil 37. a. $\emptyset=15^\circ$, $G_s=2.14$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



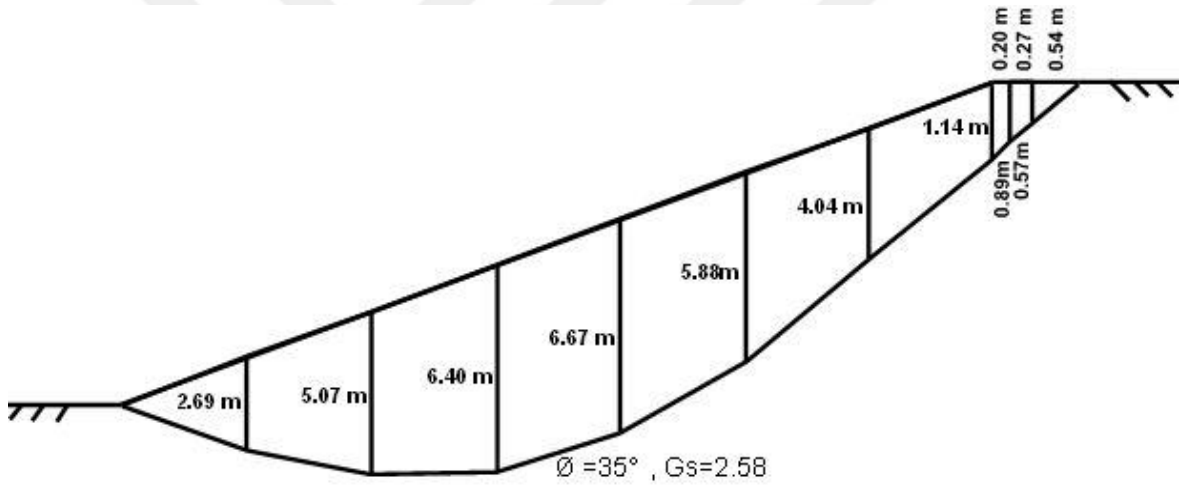
Şekil 37. b. $\phi = 20^\circ$, $G_s = 2.30$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



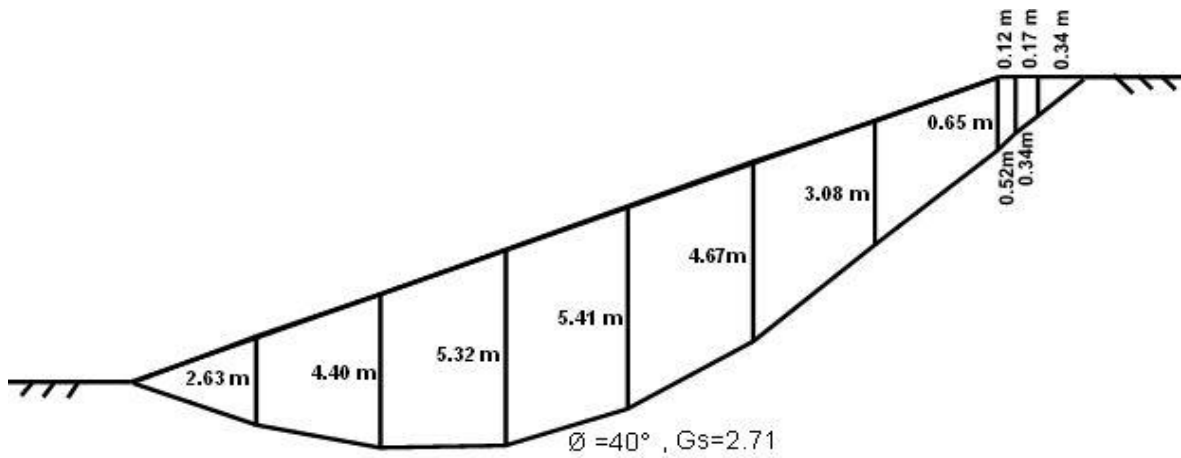
Şekil 37. c. $\phi = 25^\circ$, $G_s = 2.43$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 37. d. $\phi = 30^\circ$, $G_s = 2.48$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



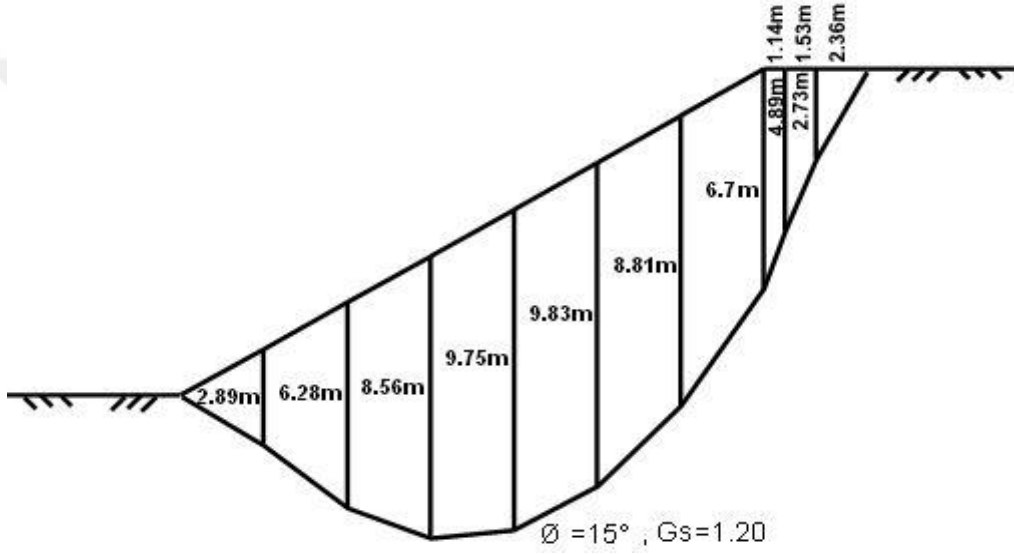
Şekil 37. e. $\phi = 35^\circ$, $G_s = 2.58$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



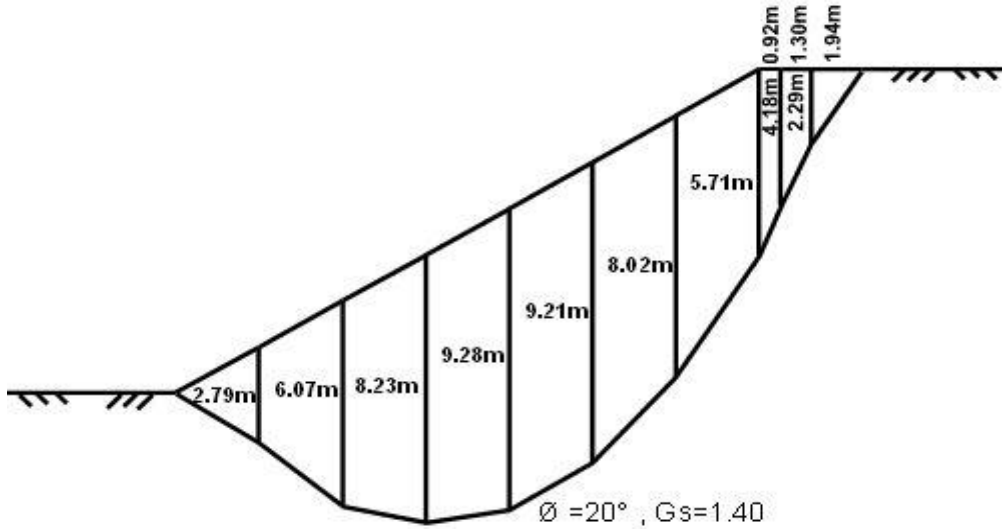
Şekil 37. f. $\phi = 40^\circ$, $G_s = 2.71$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

3.1.11. $c=16 \text{ kN/m}^2$, $\beta=30^\circ$ ve $\Delta x=2.47 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri

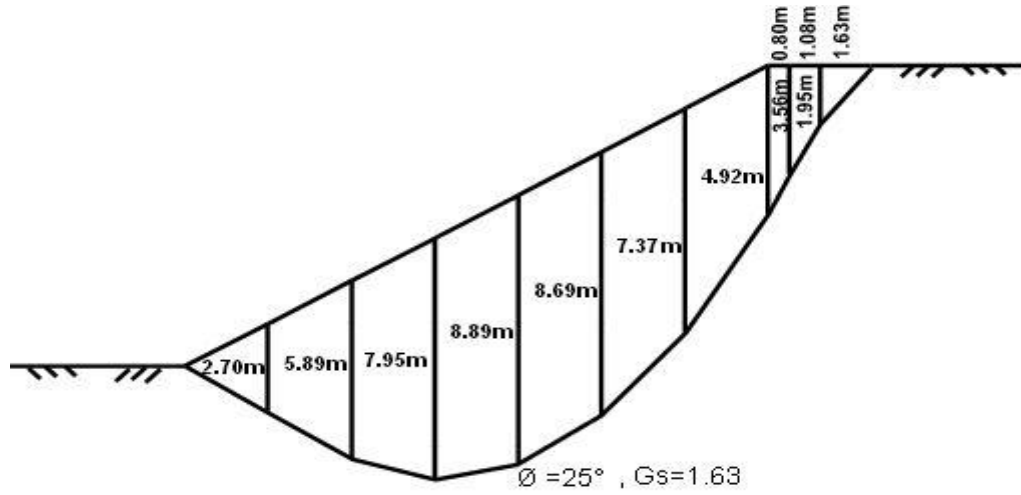
Şekil 38'de, yapılan analiz sonucunda elde edilen şeve ait kırılma derinlikleri ve şev kırılma yüzeylerinin kompozit bir biçimdeki oluşumu görülmektedir. Kırılma yüzeyi topuk bölgesine yaklaştığında dik bir şekilde, ani bir zorlamayla yüzeye (topuk noktasına) ulaştığı gözlenmektedir. Bu kırılma yüzeylerinin topuk bölgesine ve şevin tepe kısmına denk gelen kısımlarında doğrusal olduğu ve bunların ortasında eğrisel bir yapı oluştuğu görülmektedir.



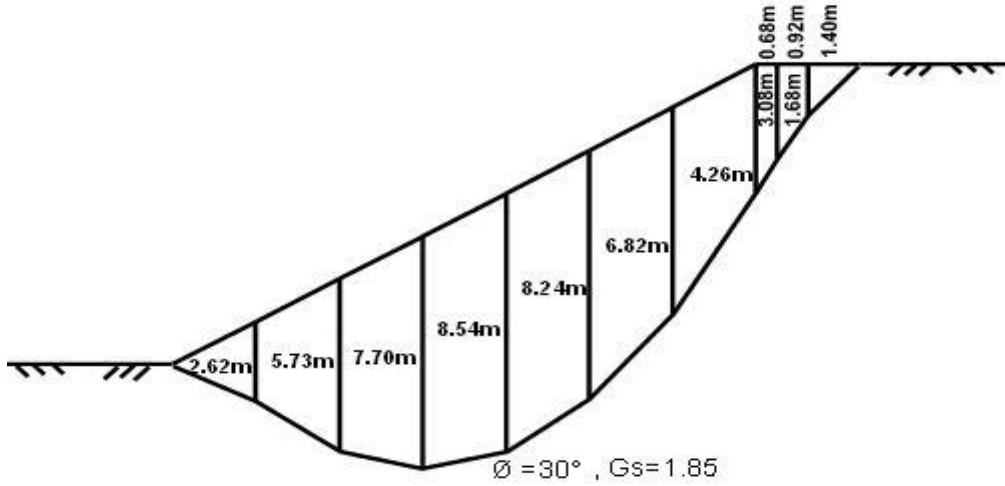
Şekil 38. a. $\phi=15^\circ$, $G_s=1.20$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



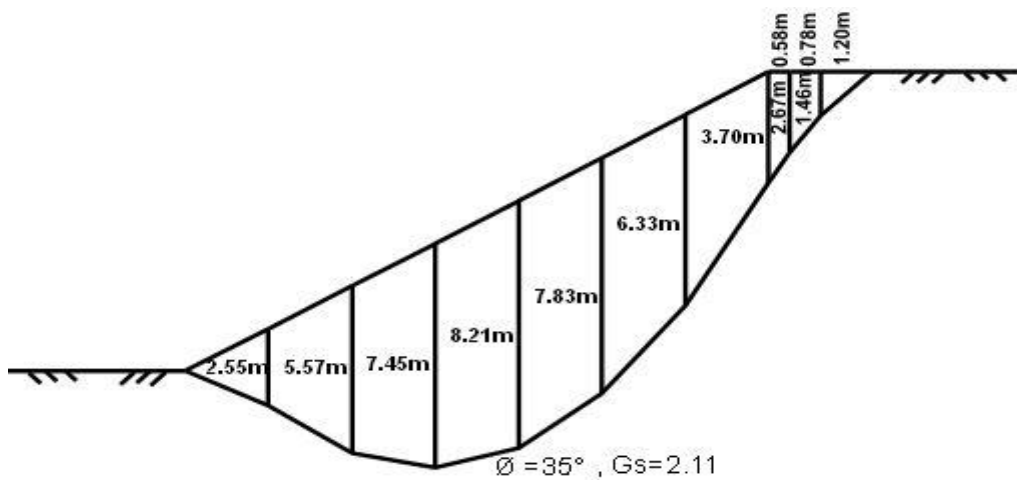
Şekil 38. b. $\phi=20^\circ$, $G_s=1.40$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



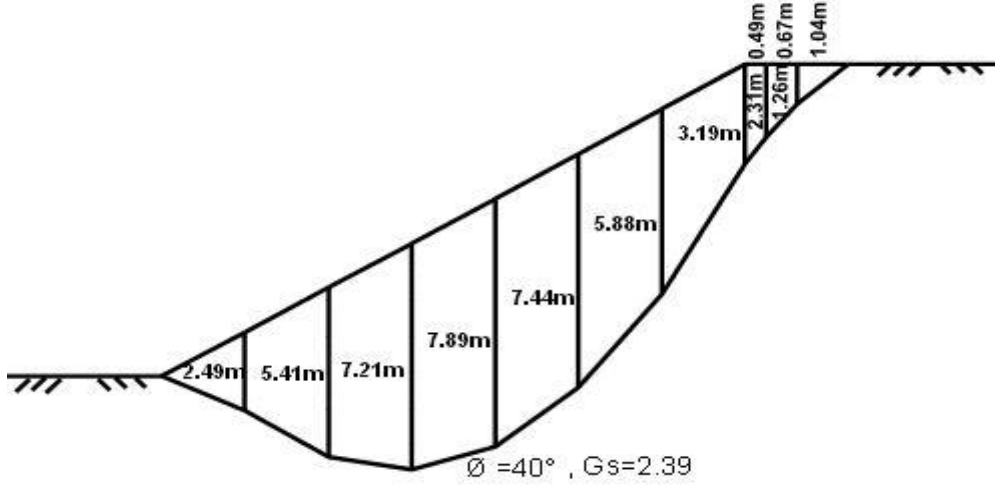
Şekil 38. c. $\phi = 25^\circ$, $G_s = 1.63$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 38. d. $\phi = 30^\circ$, $G_s = 1.85$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



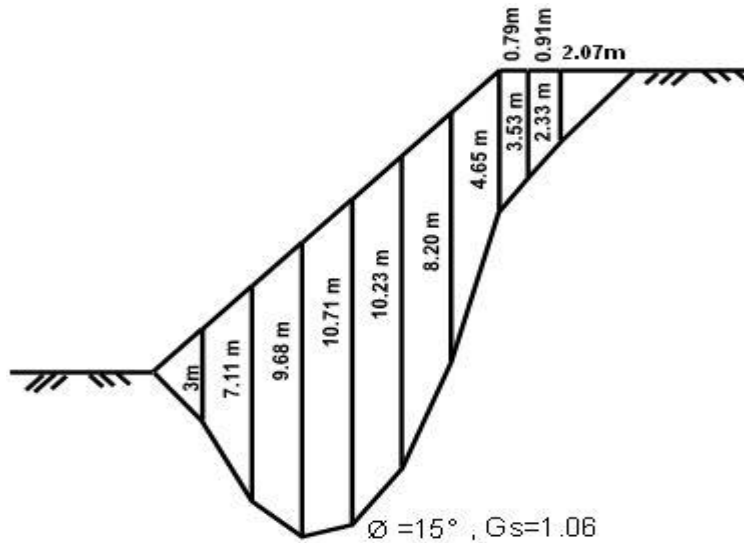
Şekil 38. e. $\phi = 35^\circ$, $G_s = 2.11$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



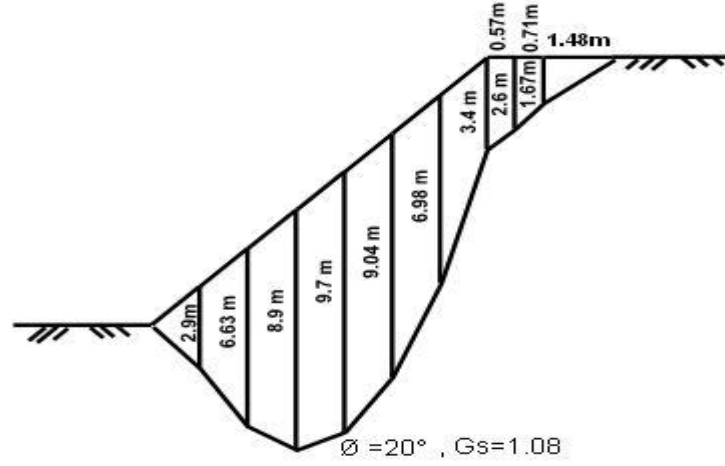
Şekil 38. f. $\phi=40^\circ$, $G_s=2.39$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

3.1.12. $c=16 \text{ kN/m}^2$, $\beta=45^\circ$ ve $\Delta x=1.43 \text{ m}$ için Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri

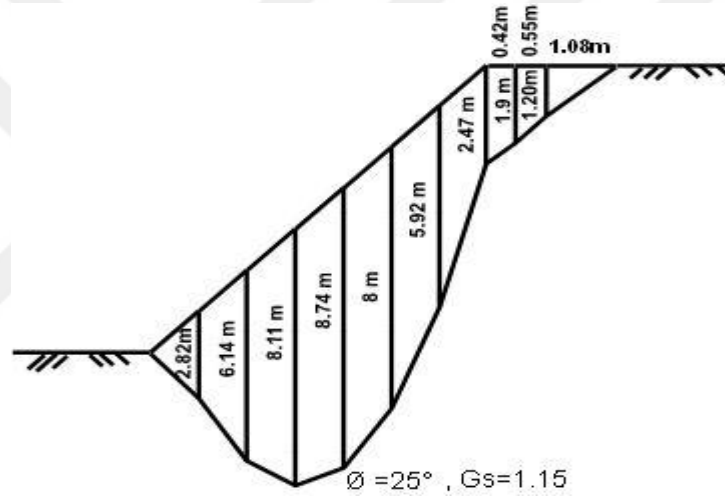
Şekil 39'da, yapılan analiz sonucunda elde edilen şeve ait kırılma derinlikleri ve şev kırılma yüzeylerinin kompozit bir biçimdeki oluşumu görülmektedir. Ayrıca, kırılma yüzeyi topuk bölgesine yaklaştığında dik bir şekilde yüzeye (topuk noktasına) ulaştığı gözlenmektedir. Bu kırılma yüzeyi geometrisinde, gerçekte böyle bir durumda taban kayması şeklinde bir kayma modunun daha muhtemel olduğu söylenebilir. Çünkü bu çalışmada geliştirilen yöntem sadece topuk kaymasını göz önüne almaktadır. Dolayısıyla kırılma yüzeylerinin topuk noktası ilerisine taşınma olasılığı ortadan kalkmaktadır.



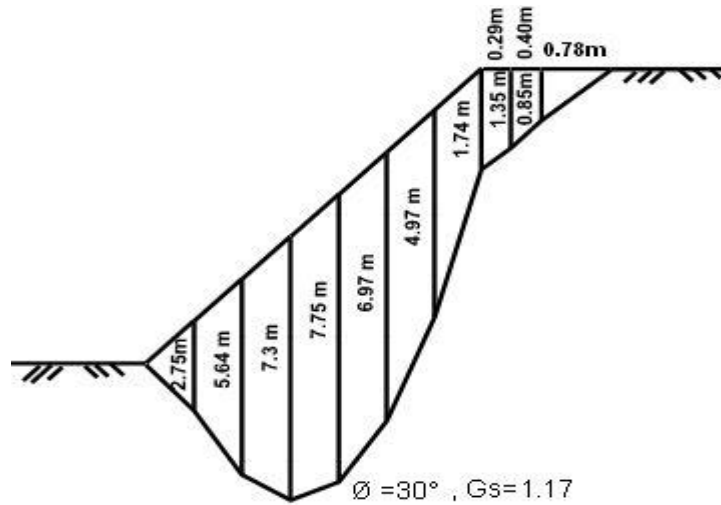
Şekil 39. a. $\phi=15^\circ$, $G_s=1.06$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



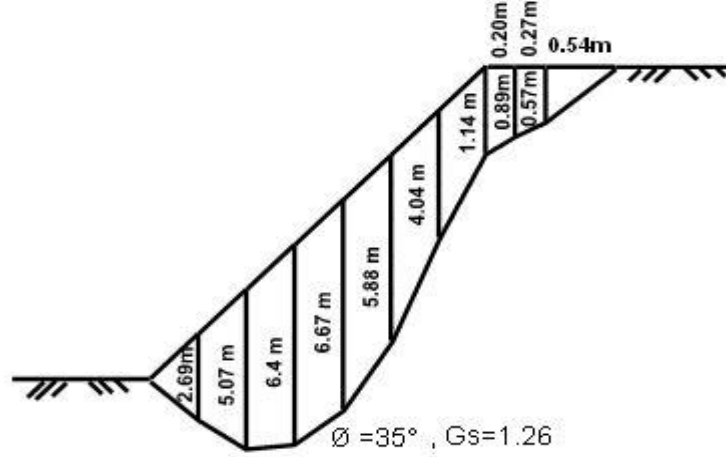
Şekil 39. b. Ø=20° , G_s=1.08 için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



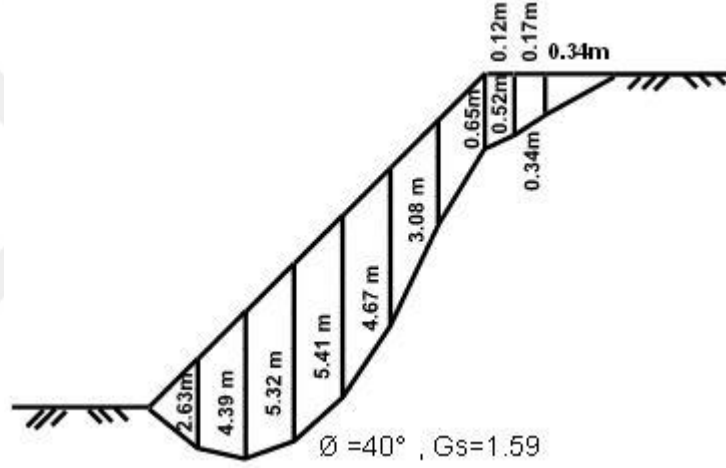
Şekil 39. c. Ø=25° , G_s=1.15 için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 39. d. Ø=30° , G_s=1.17 için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



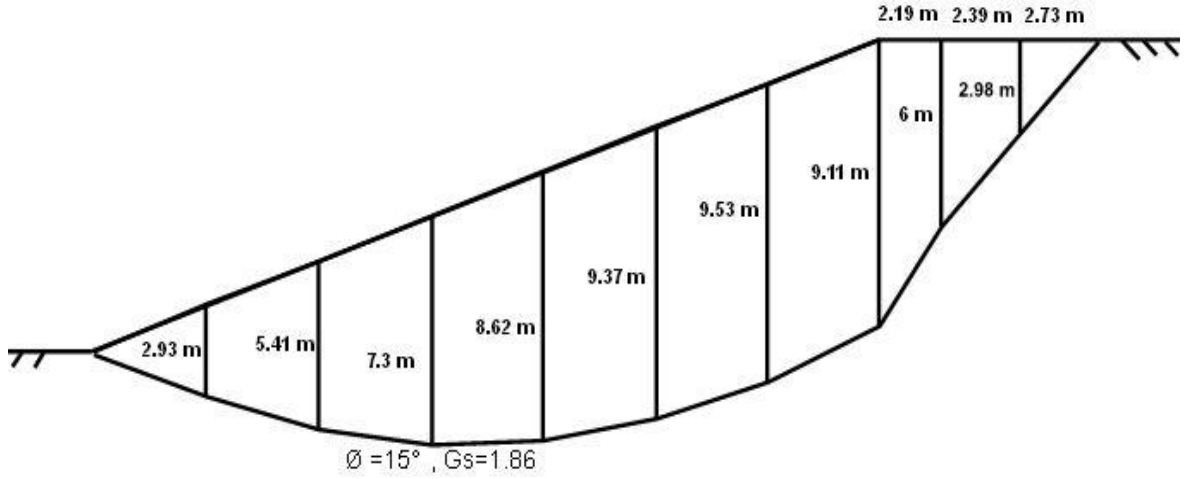
Şekil 39. e. $\emptyset = 35^\circ$, $G_s = 1.26$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



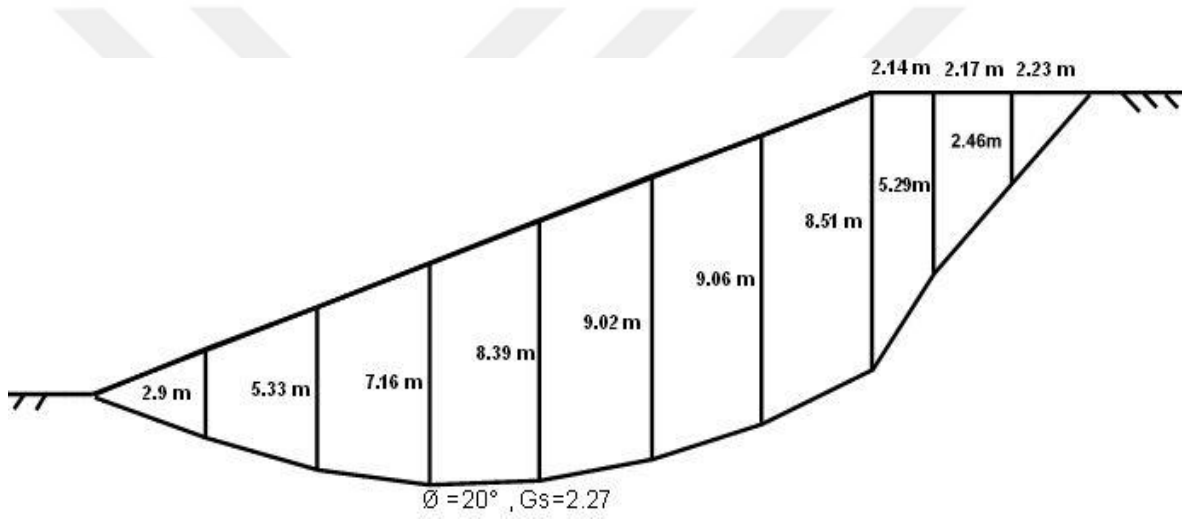
Şekil 39. f. $\emptyset = 40^\circ$, $G_s = 1.59$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

3.1.13. $c=32 \text{ kN/m}^2$, $\beta=20^\circ$ ve $\Delta x=3.92 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri

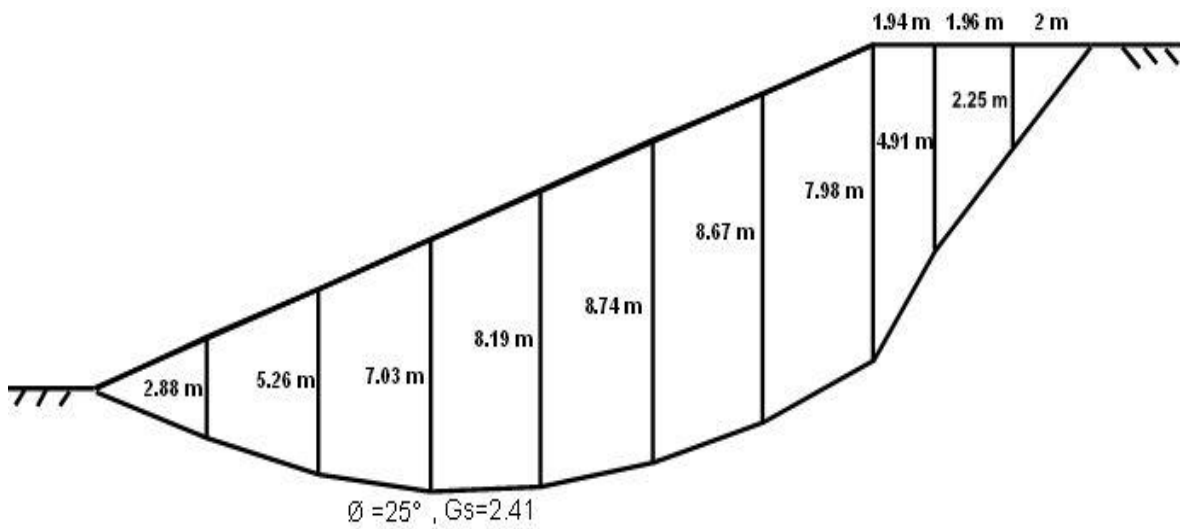
Şekil 40'da, yapılan analiz sonucunda elde edilen şeve ait kırılma derinlikleri ve şev kırılma yüzeylerinin kompozit bir biçimdeki oluşumu görülmektedir. Problemin değişken sayısı sebebiyle kırılma yüzeyi parçalı kırıklı olmakla birlikte şev tepesi dışında kalan bölgede bir daire yayı parçası görünümü vermektedir.



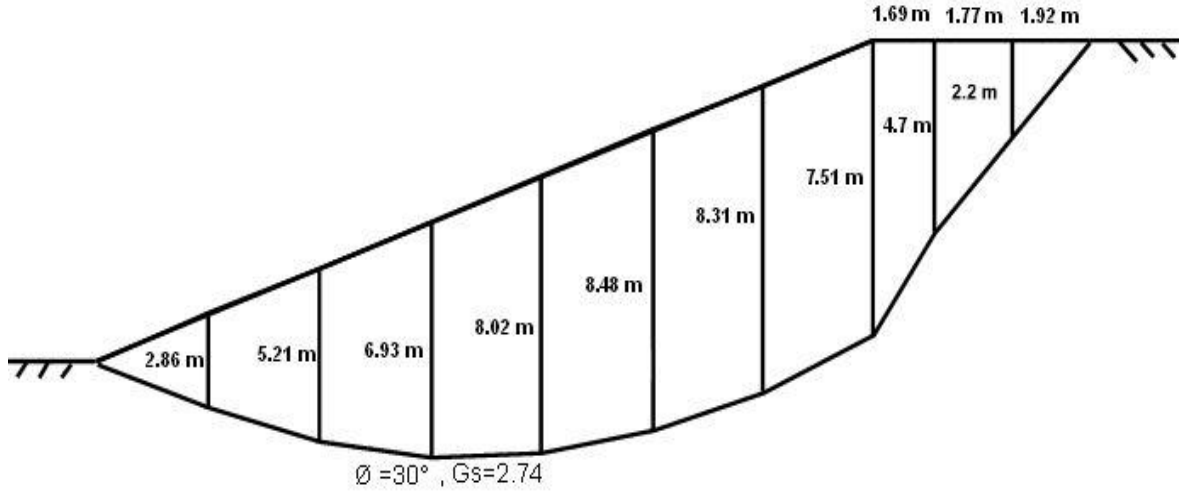
Şekil 40. a. $\emptyset = 15^\circ$, $G_s = 1.86$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



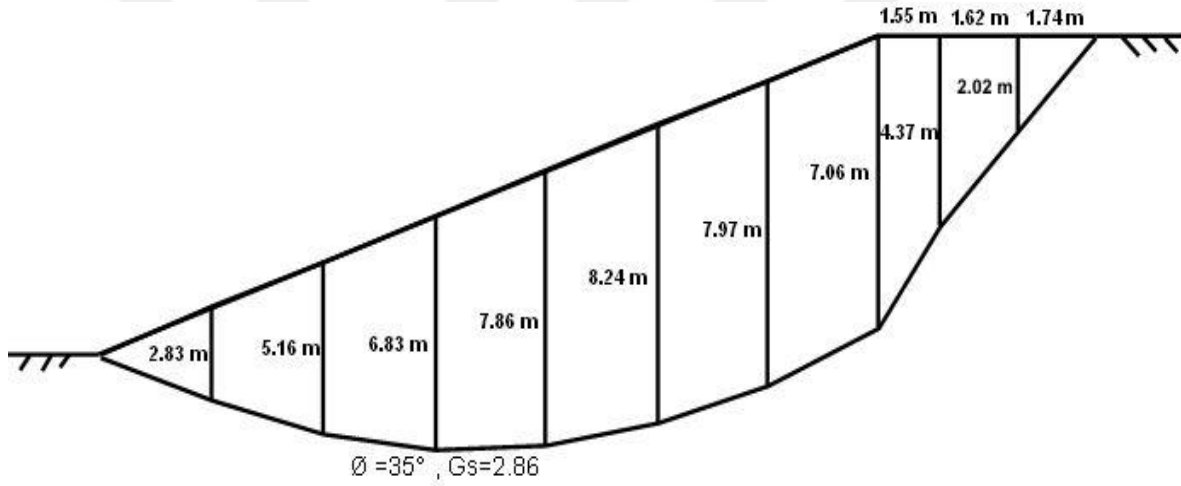
Şekil 40. b. $\emptyset = 20^\circ$, $G_s = 2.27$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



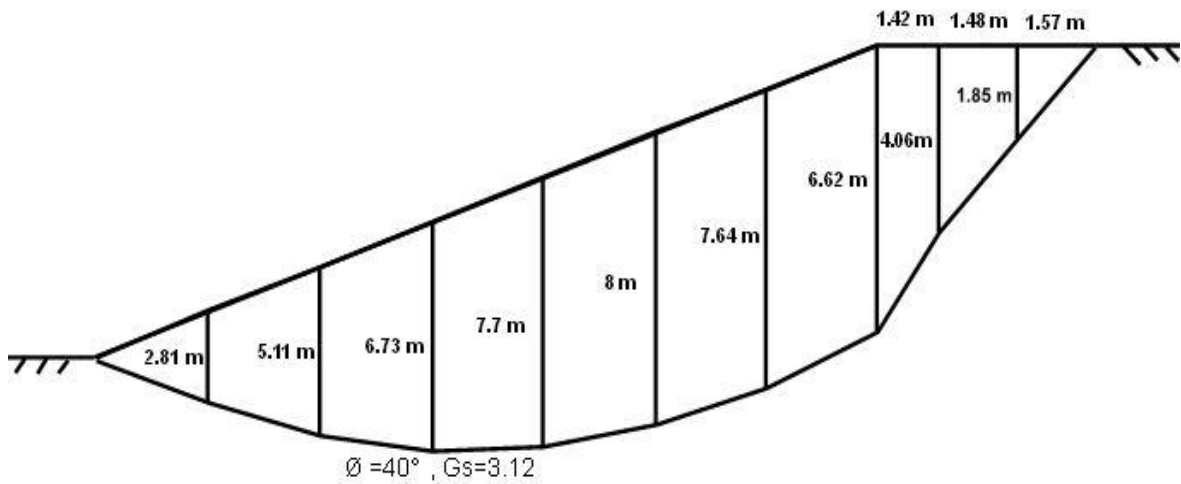
Şekil 40. c. $\emptyset = 25^\circ$, $G_s = 2.41$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 40. d. Ø=30° , G_s=2.74 için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



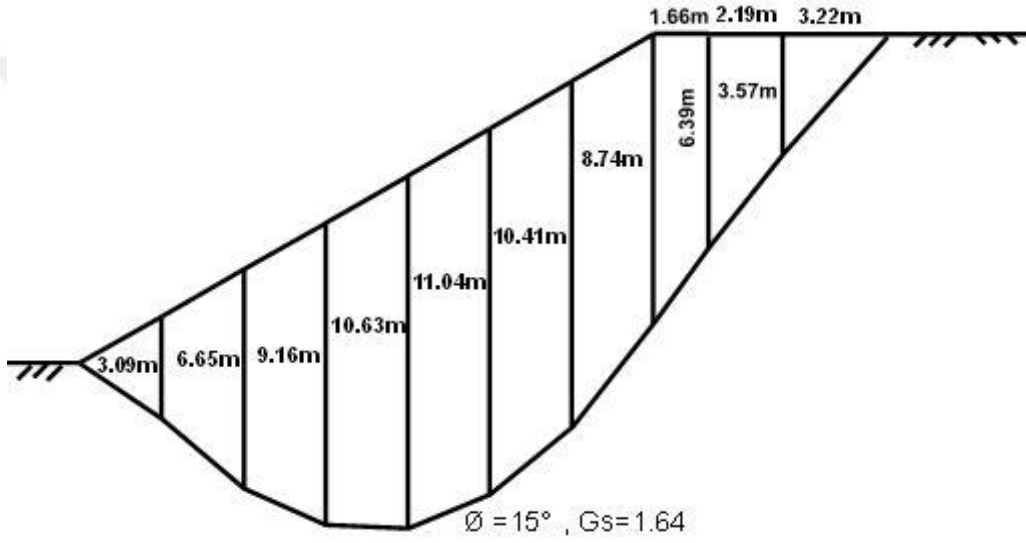
Şekil 40. e. Ø=35° , G_s=2.86 için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



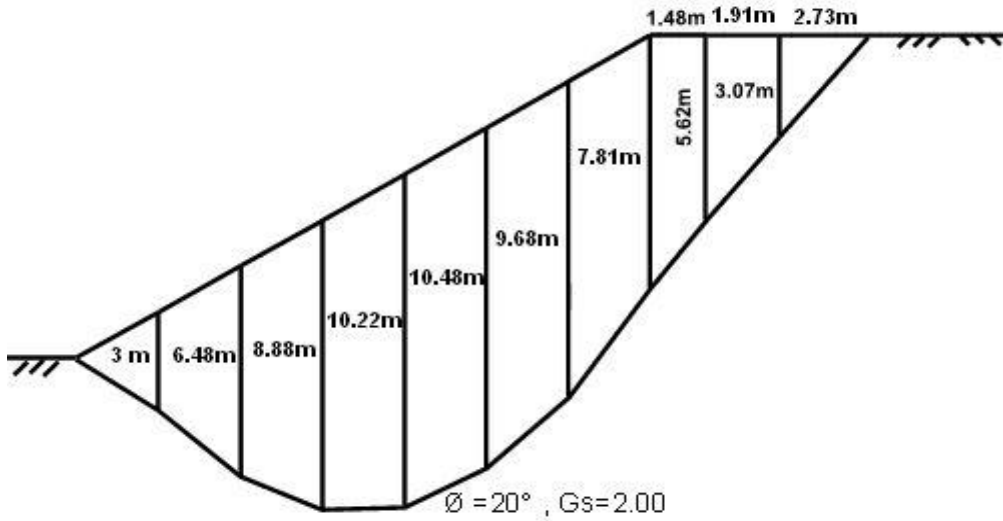
Şekil 40. f. Ø=40° , G_s=3.12 için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

3.1.14. $c=32 \text{ kN/m}^2$, $\beta=30^\circ$ ve $\Delta x=2.47 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri

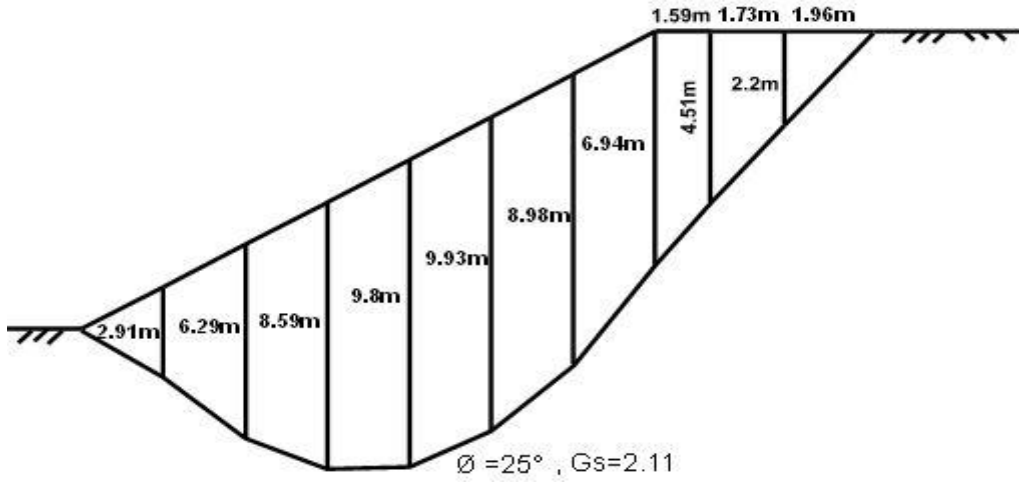
Şekil 41'de, yapılan analiz sonucunda elde edilen şevde ait kırılma derinlikleri ve şev kırılma yüzeylerinin kompozit bir biçimdeki oluşumu görülmektedir. Kırılma yüzeyi topuk bölgesine yaklaştığında dik bir şekilde, ani bir zorlamayla yüzeye (topuk noktasına) ulaştığı gözlenmektedir. Bu kırılma yüzeylerinin topuk bölgesine ve şevin tepe kısmına denk gelen kısımlarında doğrusal olduğu ve bunların ortasında eğrisel bir yapı oluştuğu görülmektedir.



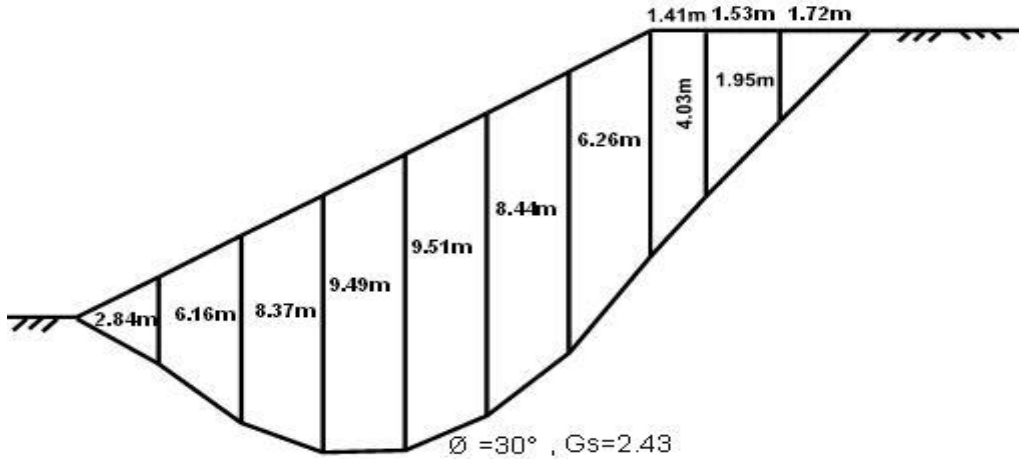
Şekil 41. a. Ø=15° , G_s=1.64 için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



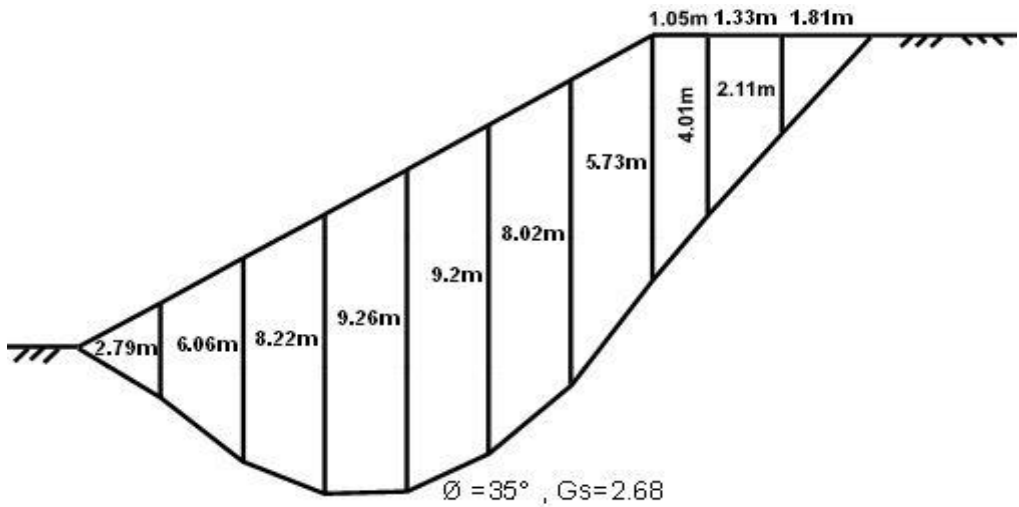
Şekil 41. b. Ø=20° , G_s=2.00 için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



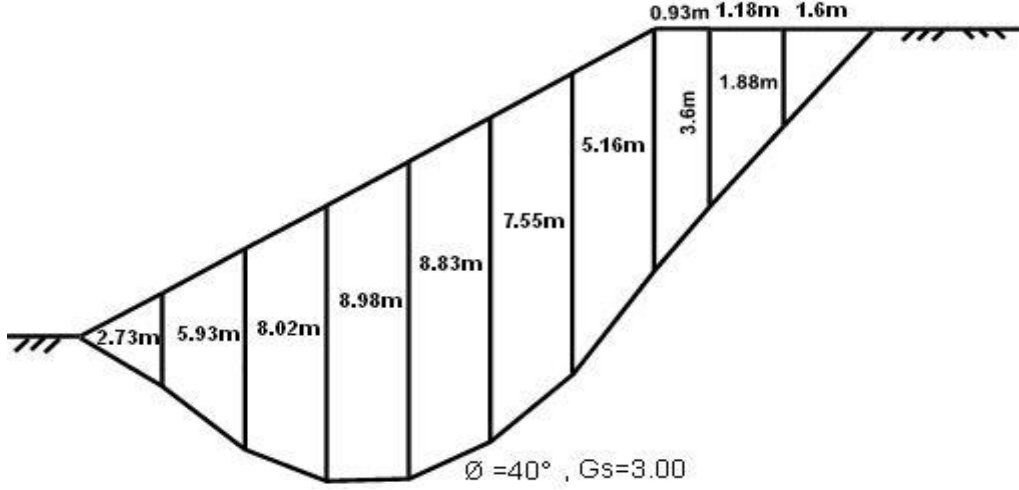
Şekil 41. c. $\emptyset = 25^\circ$, $G_s = 2.11$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 41. d. $\emptyset = 30^\circ$, $G_s = 2.43$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



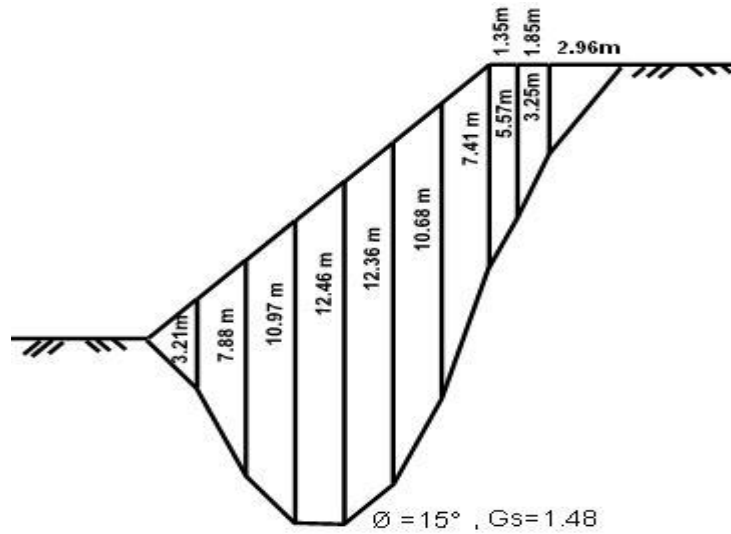
Şekil 41. e. $\emptyset = 35^\circ$, $G_s = 2.68$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



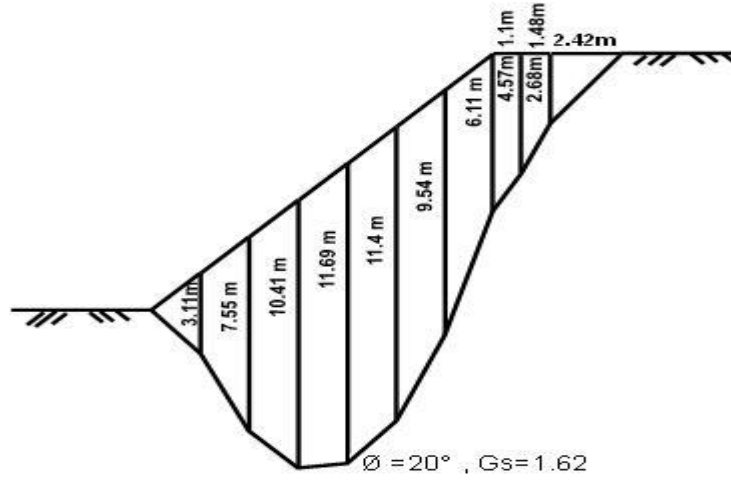
Şekil 41. f. $\phi=40^\circ$, $G_s=3.00$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

3.1.15. $c=32 \text{ kN/m}^2$, $\beta=45^\circ$ ve $\Delta x=1.43 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri

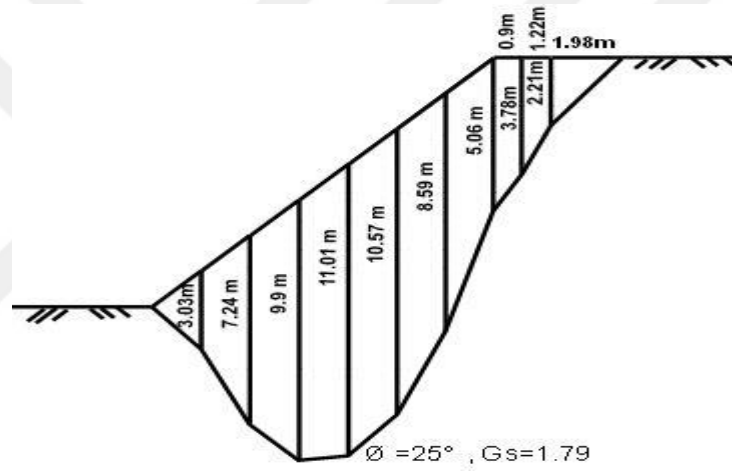
Şekil 42'de, yapılan analiz sonucunda elde edilen şeve ait kırılma derinlikleri ve şev kırılma yüzeylerinin kompozit bir biçimdeki oluşumu görülmektedir. Ayrıca, kırılma yüzeyi topuk bölgesine yaklaştığında dik bir şekilde yüzeye (topuk noktasına) ulaştığı gözlenmektedir. Bu kırılma yüzeyi geometrisinde, gerçekte böyle bir durumda taban kayması şeklinde bir kayma modunun daha muhtemel olduğu söylenebilir. Çünkü bu çalışmada geliştirilen yöntem sadece topuk kaymasını göz önüne almaktadır. Dolayısıyla kırılma yüzeylerinin topuk noktası ilerisine taşınma olasılığı ortadan kalkmaktadır.



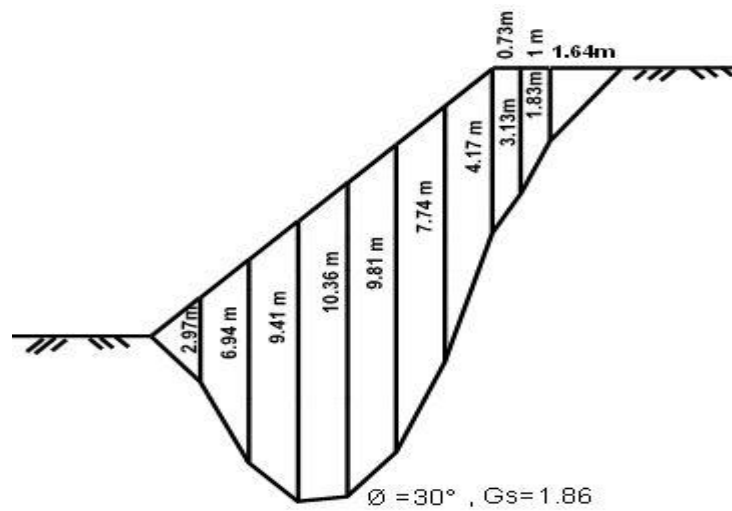
Şekil 42. a. $\phi=15^\circ$, $G_s=1.48$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



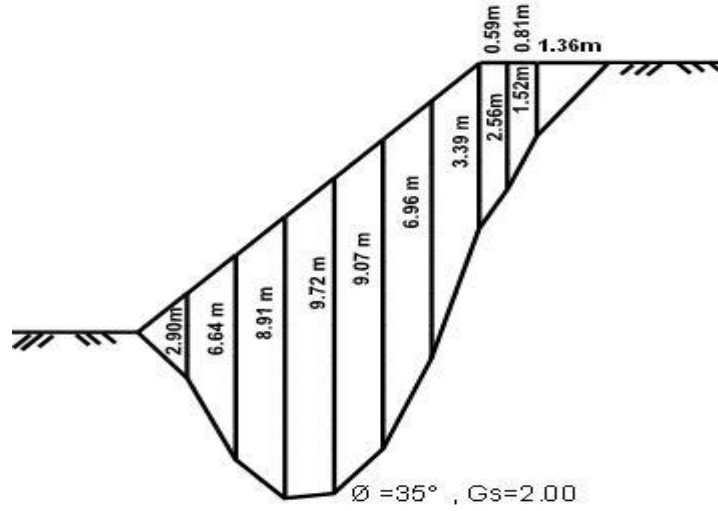
Şekil 42. b. $\text{Ø}=20^\circ$, $G_s=1.62$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



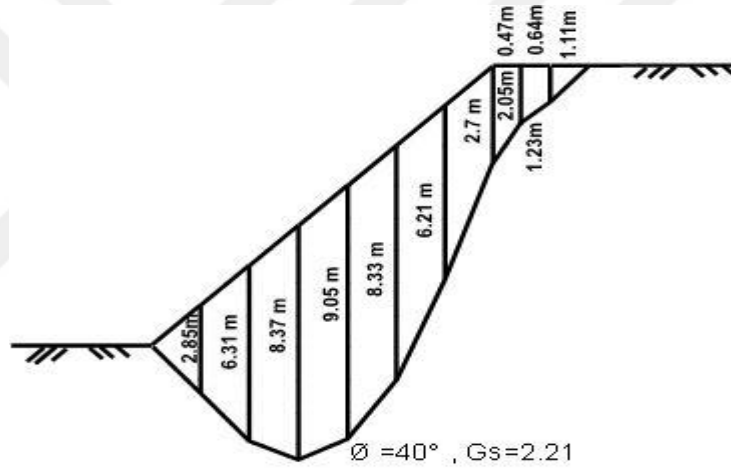
Şekil 42. c. $\text{Ø}=25^\circ$, $G_s=1.79$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 42. d. $\text{Ø}=30^\circ$, $G_s=1.86$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



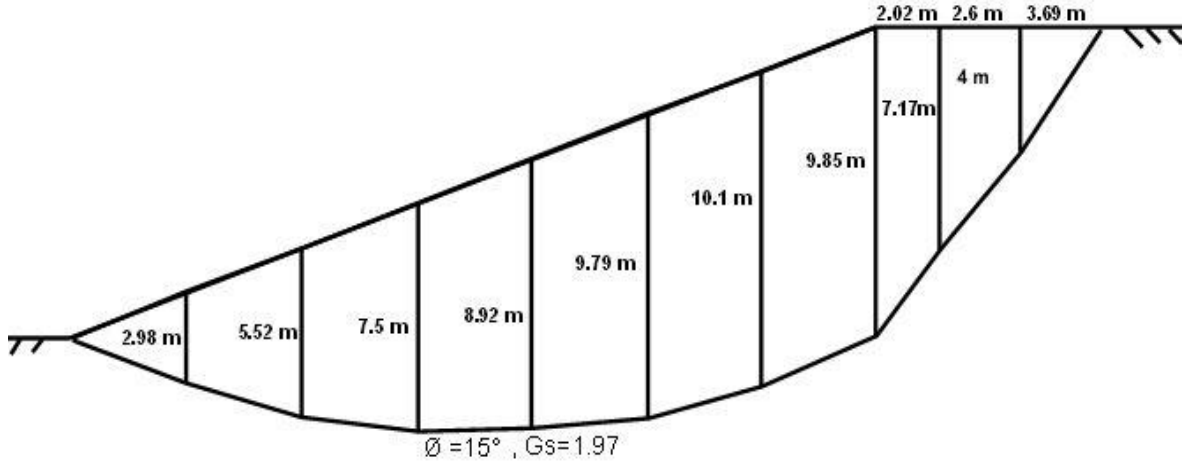
Şekil 42. e. $\emptyset=35^\circ$, $G_s=2.00$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



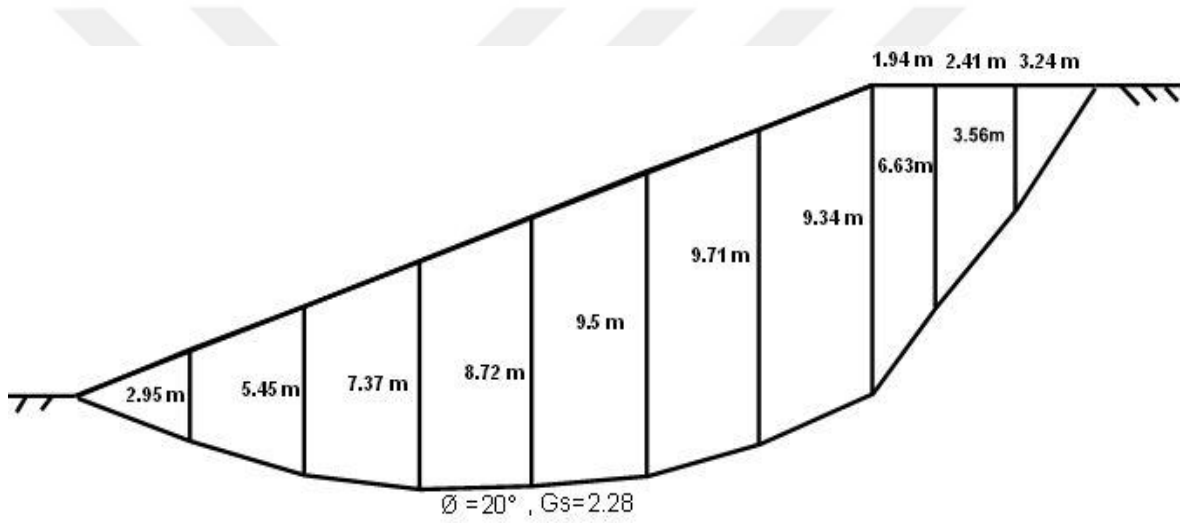
Şekil 42. f. $\emptyset=40^\circ$, $G_s=2.21$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

3.1.16. $c=48 \text{ kN/m}^2$, $\beta=20^\circ$ ve $\Delta x=3.92 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri

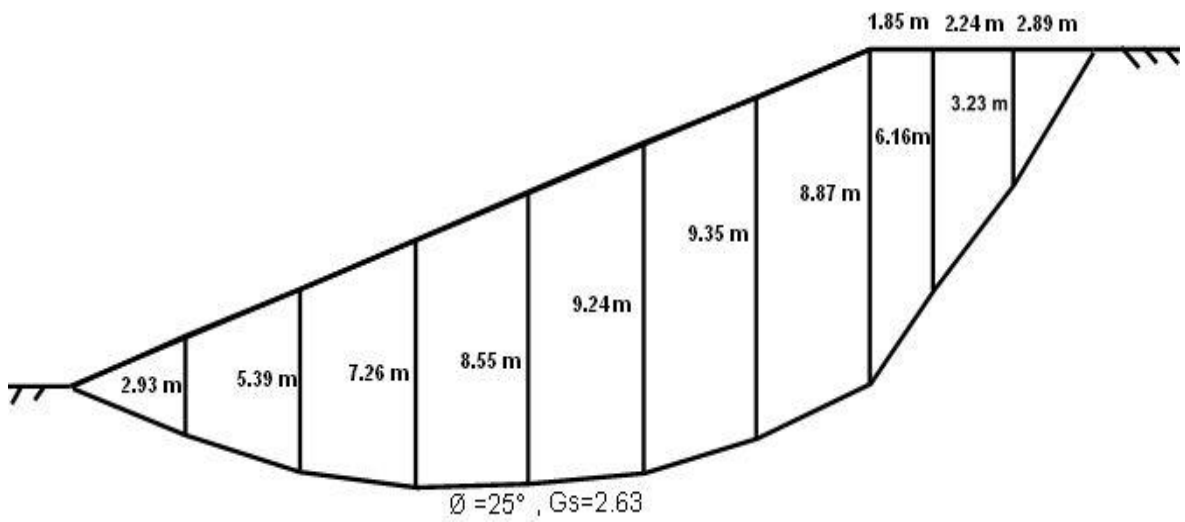
Şekil 43'te, yapılan analiz sonucunda elde edilen şeve ait kırılma derinlikleri ve şev kırılma yüzeylerinin kompozit bir biçimdeki oluşumu görülmektedir. Problemin değişken sayısı sebebiyle kırılma yüzeyi parçalı kırıklı olmakla birlikte şev tepesi dışında kalan bölgede bir daire yayı parçası görünümü vermektedir.



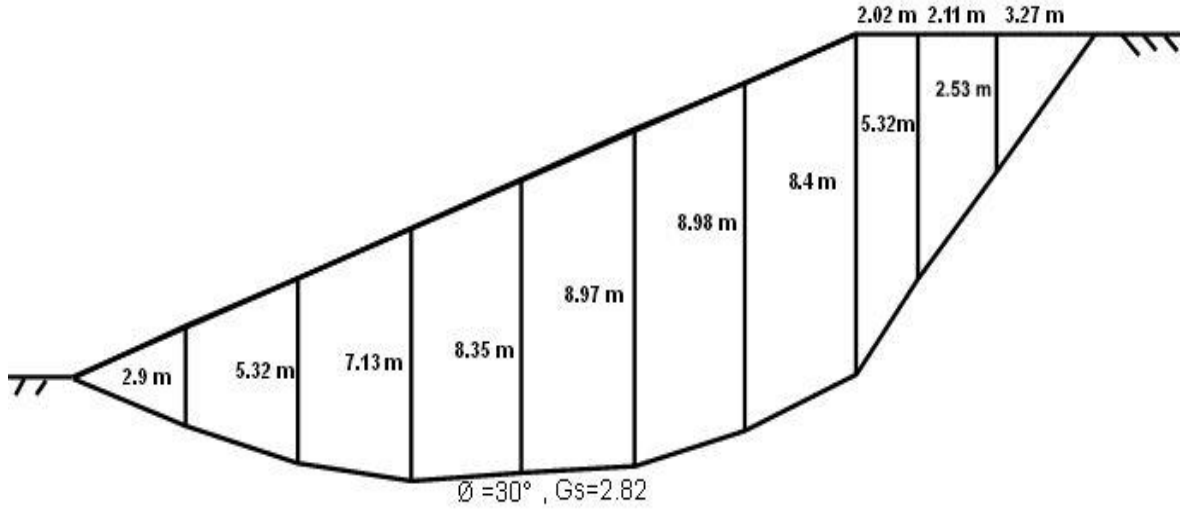
Şekil 43. a. $\emptyset=15^\circ$, $G_s=1.97$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



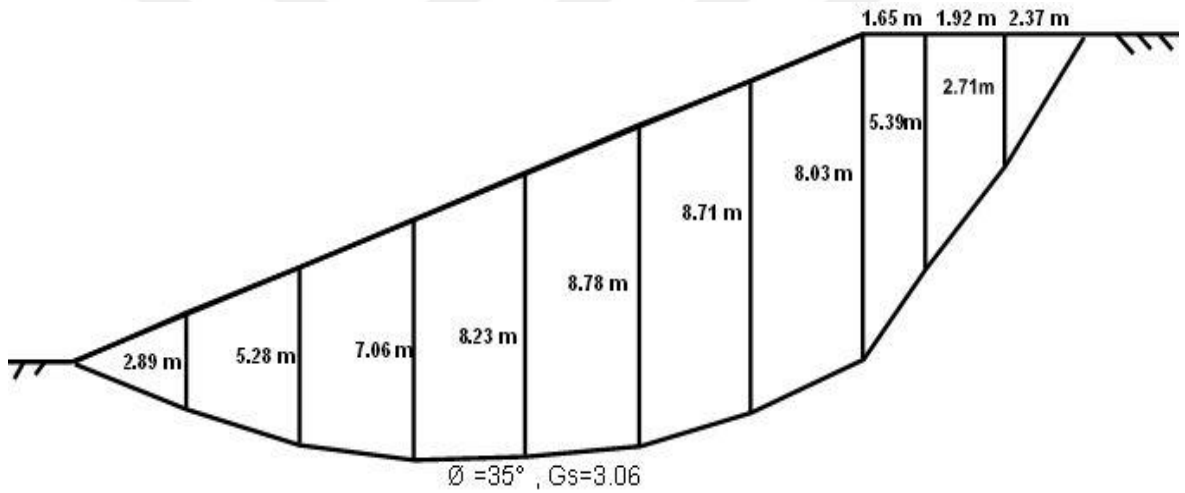
Şekil 43. b. $\emptyset=20^\circ$, $G_s=2.28$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



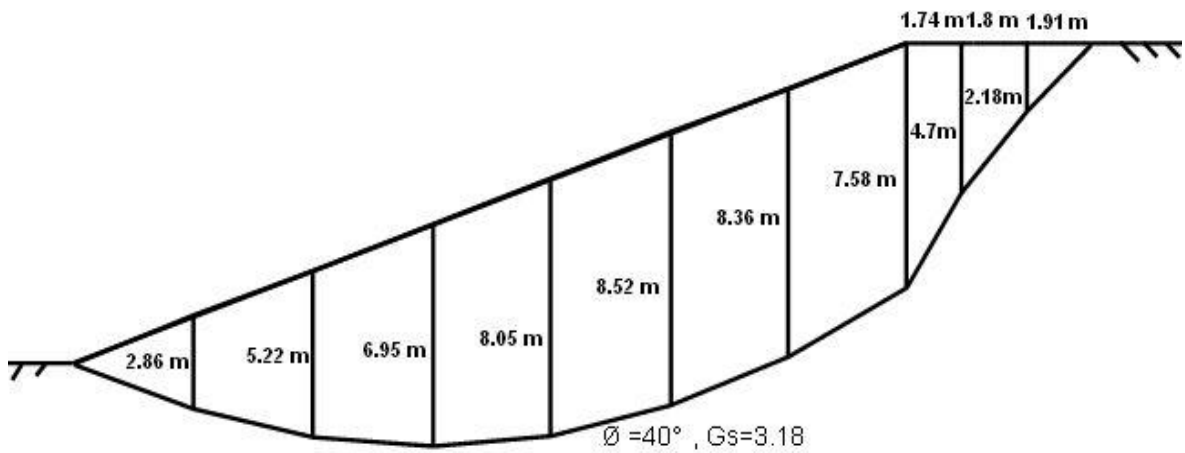
Şekil 43. c. $\emptyset=25^\circ$, $G_s=2.63$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 43. d. $\phi = 30^\circ$, $G_s = 2.82$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



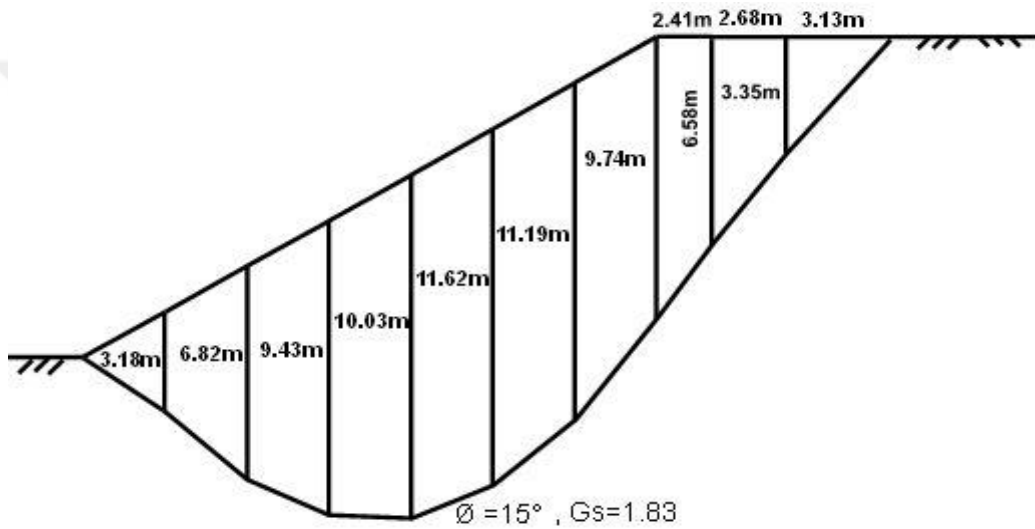
Şekil 43. e. $\phi = 35^\circ$, $G_s = 3.06$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



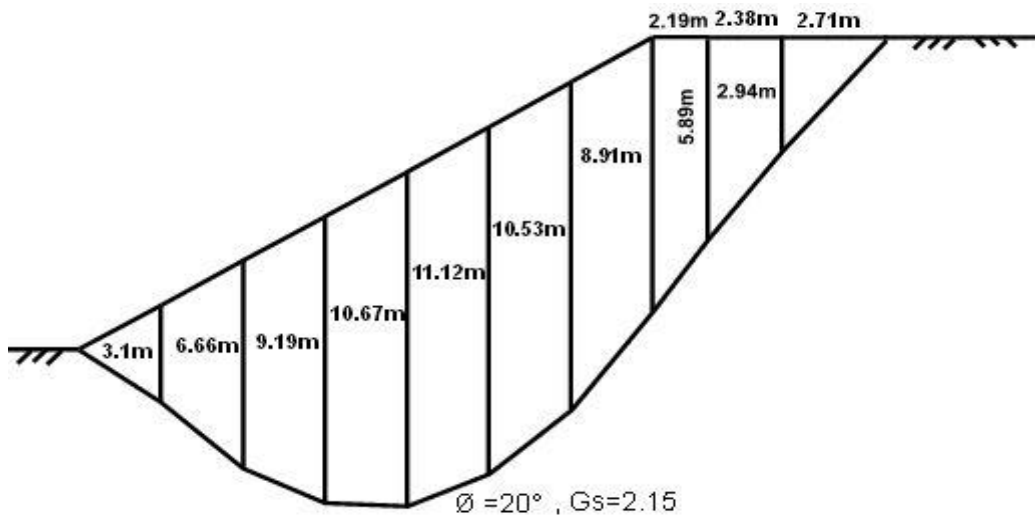
Şekil 43. f. $\phi = 40^\circ$, $G_s = 3.18$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

3.1.17. $c=48 \text{ kN/m}^2$, $\beta=30^\circ$ ve $\Delta x=2.47 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri

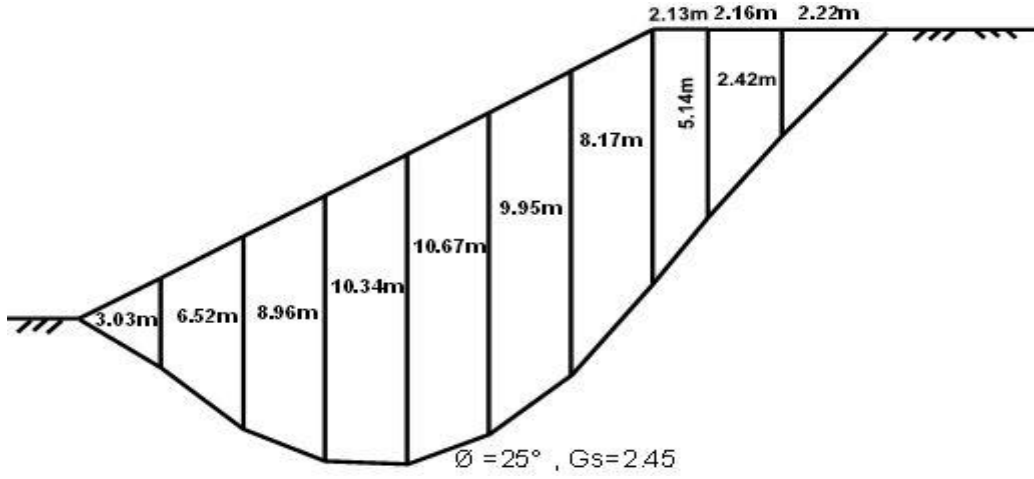
Şekil 44'te, yapılan analiz sonucunda elde edilen şevde ait kırılma derinlikleri ve şevde kırılma yüzeylerinin kompozit bir biçimdeki oluşumu görülmektedir. Kırılma yüzeyi topuk bölgesine yaklaştığında dik bir şekilde, ani bir zorlamayla yüzeye (topuk noktasına) ulaştığı gözlenmektedir. Bu kırılma yüzeylerinin topuk bölgesine ve şevin tepe kısmına denk gelen kısımlarında doğrusal olduğu ve bunların ortasında eğrisel bir yapı olduğu görülmektedir.



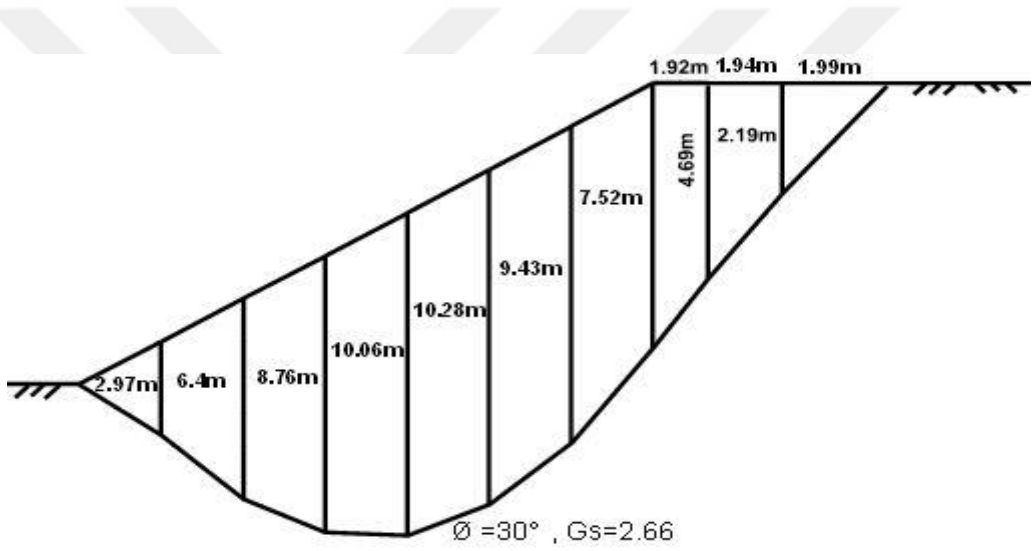
Şekil 44. a. $\phi=15^\circ$, $G_s=1.83$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



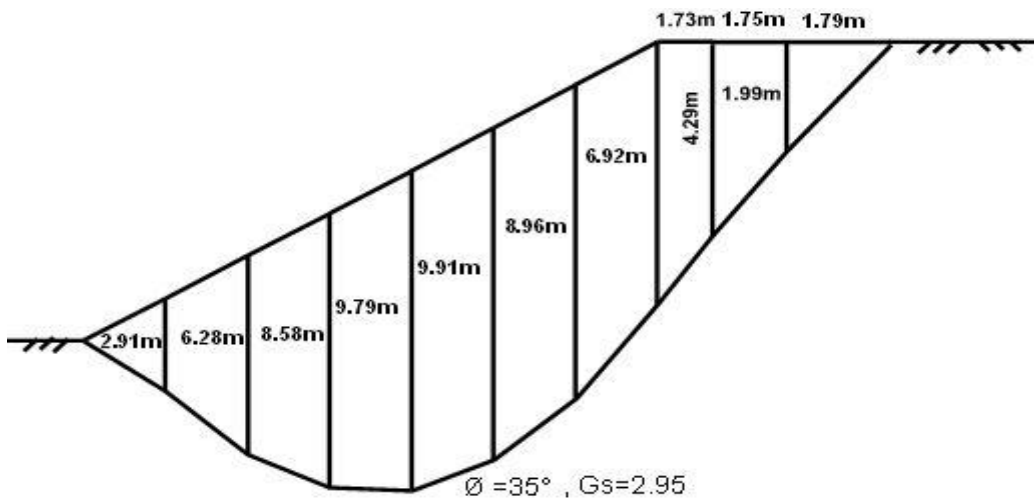
Şekil 44. b. $\phi=20^\circ$, $G_s=2.15$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



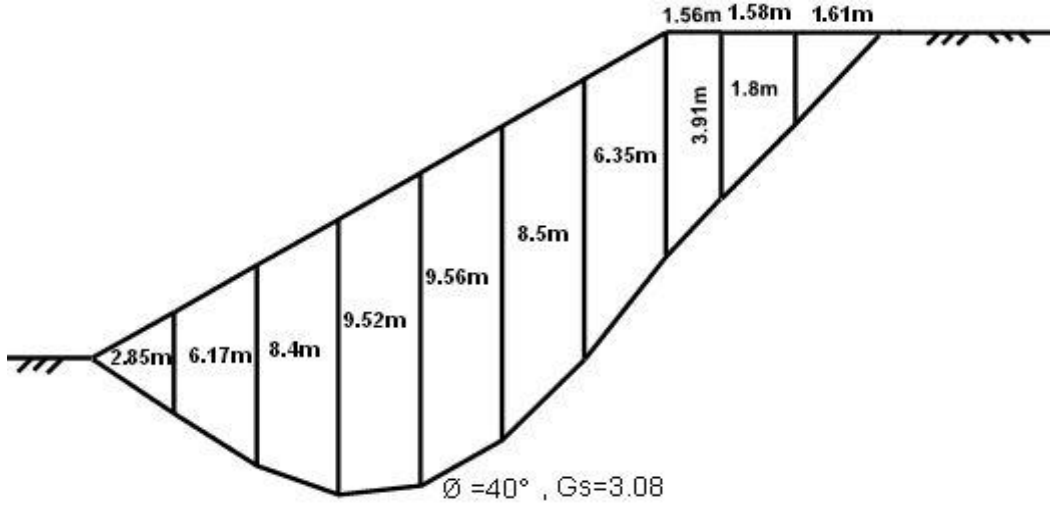
Şekil 44. c. $\text{Ø} = 25^\circ$, $G_s = 2.45$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 44. d. $\text{Ø} = 30^\circ$, $G_s = 2.66$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



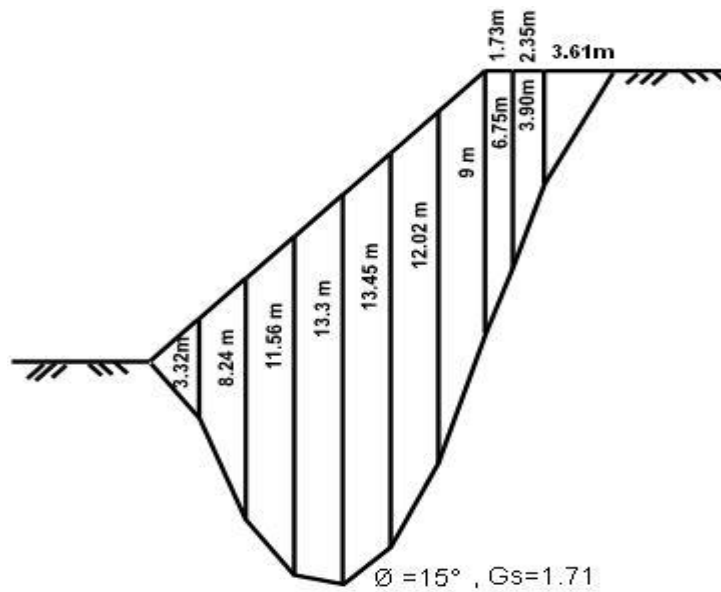
Şekil 44. e. $\text{Ø} = 35^\circ$, $G_s = 2.95$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



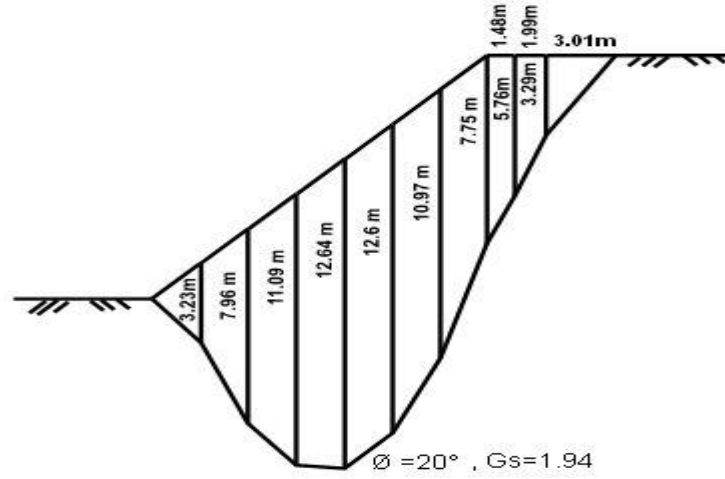
Şekil 44. f. $\phi=40^\circ$, $G_s=3.08$ için homojen sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

3.1.18. $c=48 \text{ kN/m}^2$, $\beta=45^\circ$ ve $\Delta x=1.43 \text{ m}$ İçin Elde Edilen Şev Kırılma Yüzeyleri

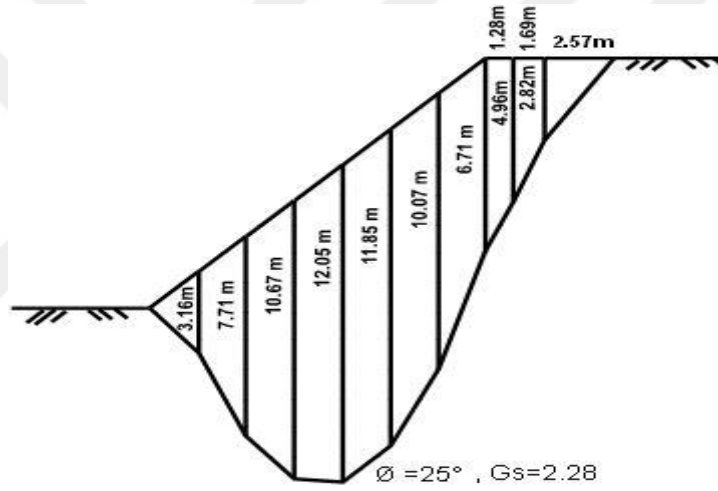
Şekil 45'te, yapılan analiz sonucunda elde edilen şeve ait kırılma derinlikleri ve şev kırılma yüzeylerinin kompozit bir biçimdeki oluşumu görülmektedir. Bu kırılma yüzeyi geometrisinde, gerçekte böyle bir durumda taban kayması şeklinde bir kayma modunun daha muhtemel olduğu söylenebilir. Çünkü bu çalışmada geliştirilen yöntem sadece topuk kaymasını göz önüne almaktadır. Dolayısıyla kırılma yüzeylerinin topuk noktası ilerisine taşınma olasılığı ortadan kalkmaktadır.



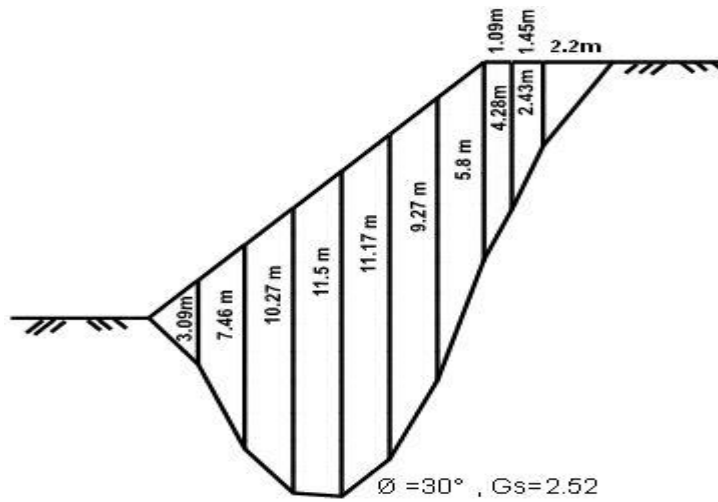
Şekil 45. a. $\phi=15^\circ$, $G_s=1.71$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



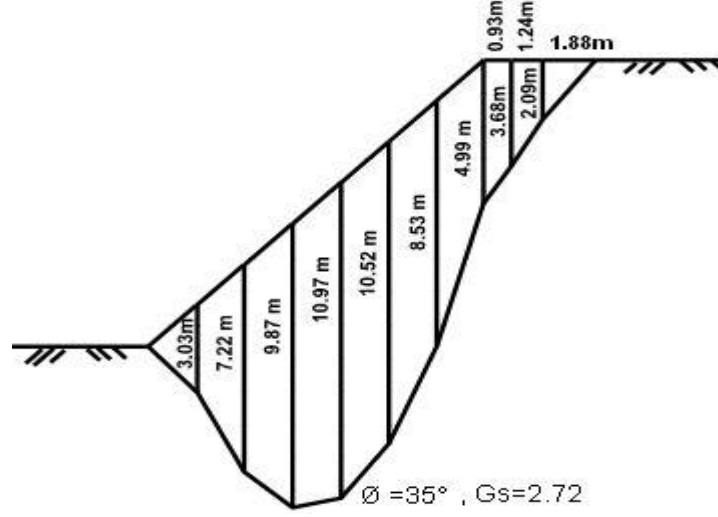
Şekil 45. b. $\phi=20^\circ$, $G_s=1.94$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



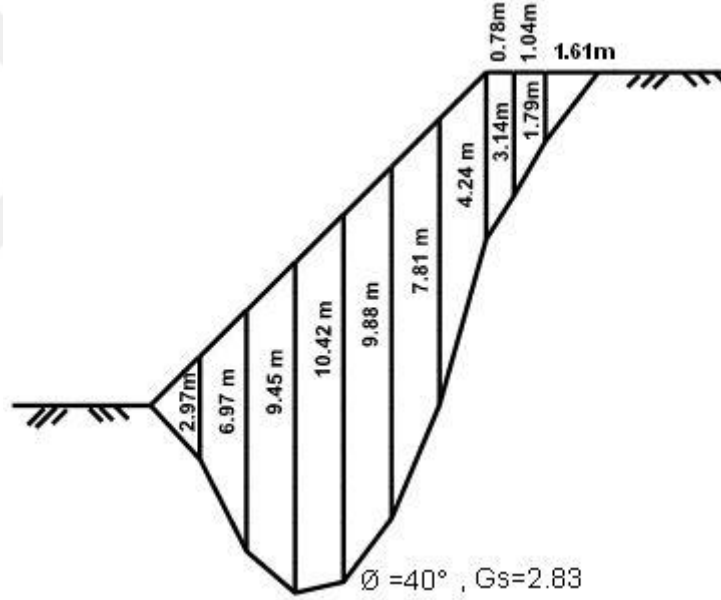
Şekil 45. c. $\phi=25^\circ$, $G_s=2.28$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 45. d. $\phi=30^\circ$, $G_s=2.52$ için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi



Şekil 45. e. Ø=35° , G_s=2.72 için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

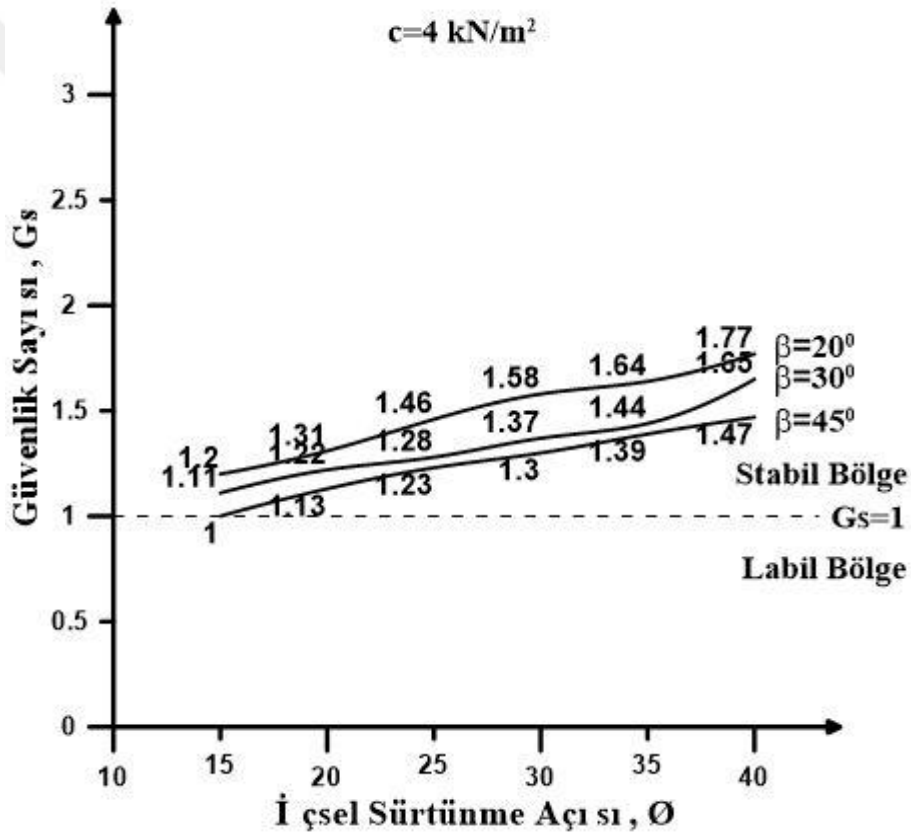


Şekil 45. f. Ø=40° , G_s=2.83 için sonlu şevde elde edilen kırılma yüzeyi

3.2. Oluşturulan 'c/γH' Parametresi Yardımıyla Güvenlik Sayısına Ait Grafiklerin (Abakların) Elde Edilmesi

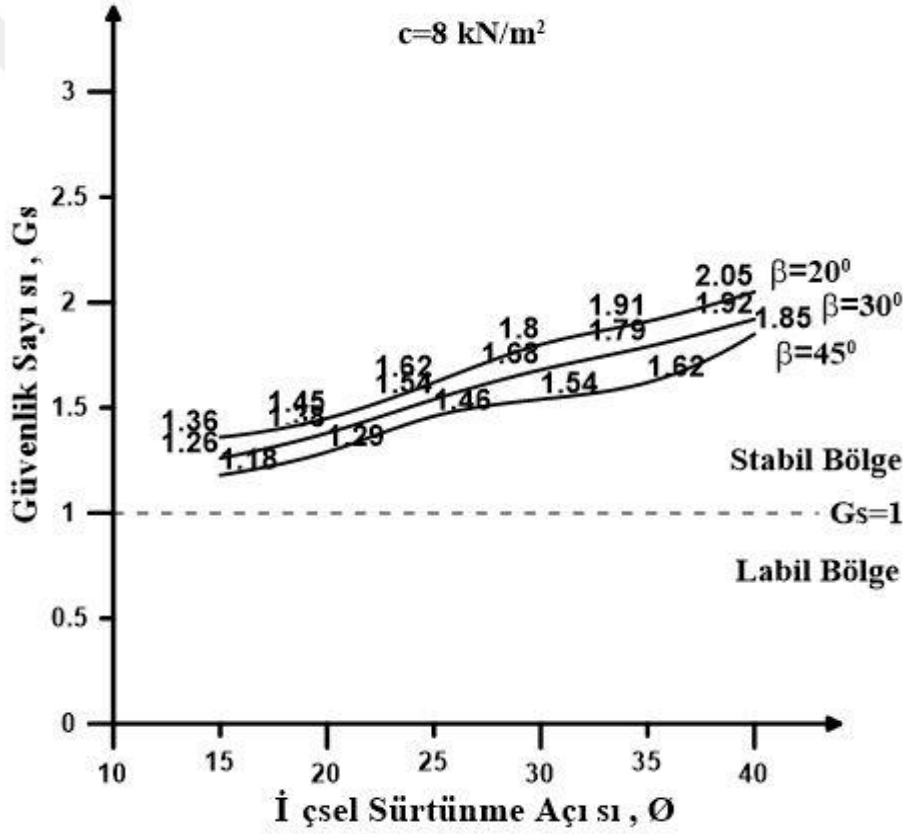
Oluşturulan 'c/γH' parametresine sırasıyla; 0.025, 0.05, 0.075, 0.1, 0.2, 0.3 değerleri verilerek H=10 m ve $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$ değerleri yardımıyla c=4, 8, 12, 16, 32, 48 kN/m² kohezyon değerlerine ulaşılmıştır. Bulunan bu kohezyon değerlerinin yanı sıra, içsel sürtünme açısı (Ø=15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°) ve şev açısı (β=20°, 30°, 45°) değerleri yardımıyla da grafikler (abaklar) oluşturulmuş ve aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

Şekil 46'da, $c=4 \text{ kN/m}^2$ için değişen içsel sürtünme açısı (\emptyset) ve şev açısı (β) değerlerine bağlı olarak homojen sonlu şevde değiştirilmiş Janbu yöntemiyle elde edilen güvenlik sayısı değerlerinin değişimi gösterilmiştir. 20° , 30° ve 45° şev açlarına sahip zemin kütlelerinde, güvenlik sayısı değerlerinin sırasıyla 1.2 ila 1.77, 1.11 ila 1.65 ve 1.00 ila 1.47 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Buna göre, içsel sürtünme açısı değerlerinin artmasıyla ve şev açısı değerlerinin azalmasıyla güvenlik sayısı değerlerinde artış gözlenmektedir. 45° şev açısına sahip, güvenlik sayısının değişimini gösteren eğrinin lineer, diğer şev açlarına sahip eğrilerin de lineer olmayan bir görüntü sergilediği söylenebilir.



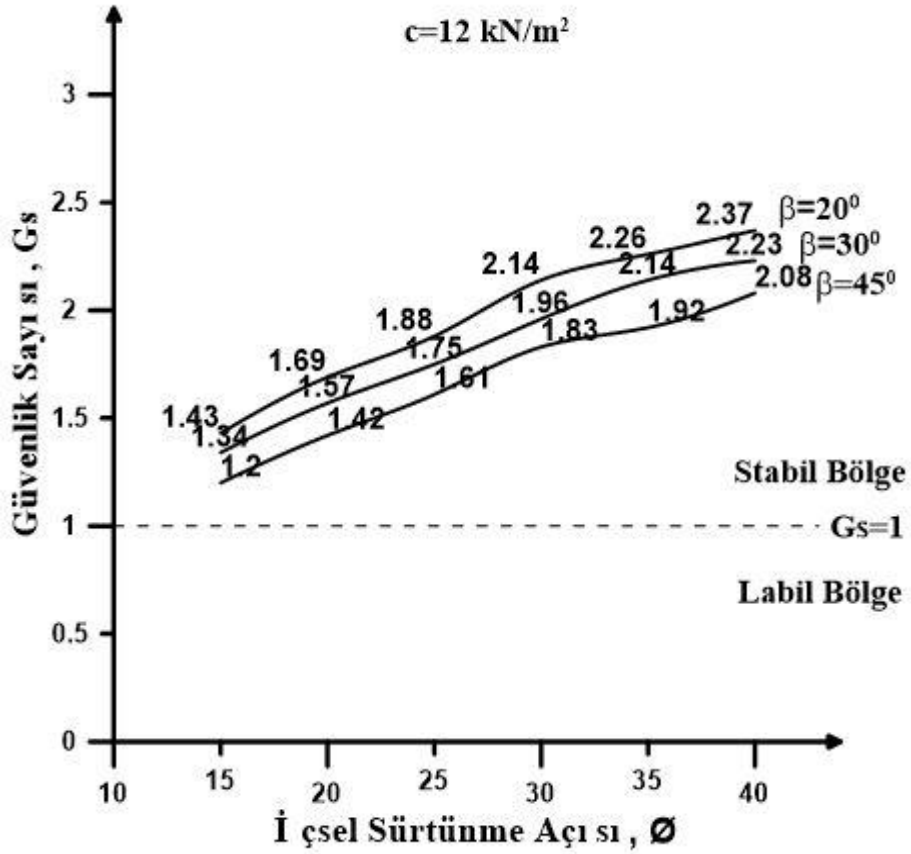
Şekil 46. $c=4 \text{ kN/m}^2$ için değişen içsel sürtünme açısı (\emptyset) ve şev açısı (β) değerlerine bağlı olarak homojen sonlu şevde değiştirilmiş Janbu yöntemiyle elde edilen güvenlik sayısı değerleri

Şekil 47’de, $c=8 \text{ kN/m}^2$ için değişen içsel sürtünme açısı (\emptyset) ve şev açısı (β) değerlerine bağlı olarak homojen sonlu şevde değiştirilmiş Janbu yöntemiyle elde edilen güvenlik sayısı değerlerinin değişimi gösterilmiştir. 20° , 30° ve 45° şev açlarına sahip zemin kütlelerinde, güvenlik sayısı değerlerinin sırasıyla 1.36 ila 2.05, 1.26 ila 1.92 ve 1.18 ila 1.85 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Buna göre, içsel sürtünme açısı değerlerinin artmasıyla ve şev açısı değerlerinin azalmasıyla güvenlik sayısı değerlerinde artış gözlenmektedir. 30° şev açısına sahip, güvenlik sayısının değişimini gösteren eğrinin lineer, diğer şev açlarına sahip eğrilerin de lineer olmayan bir görüntü sergilediği söylenebilir.



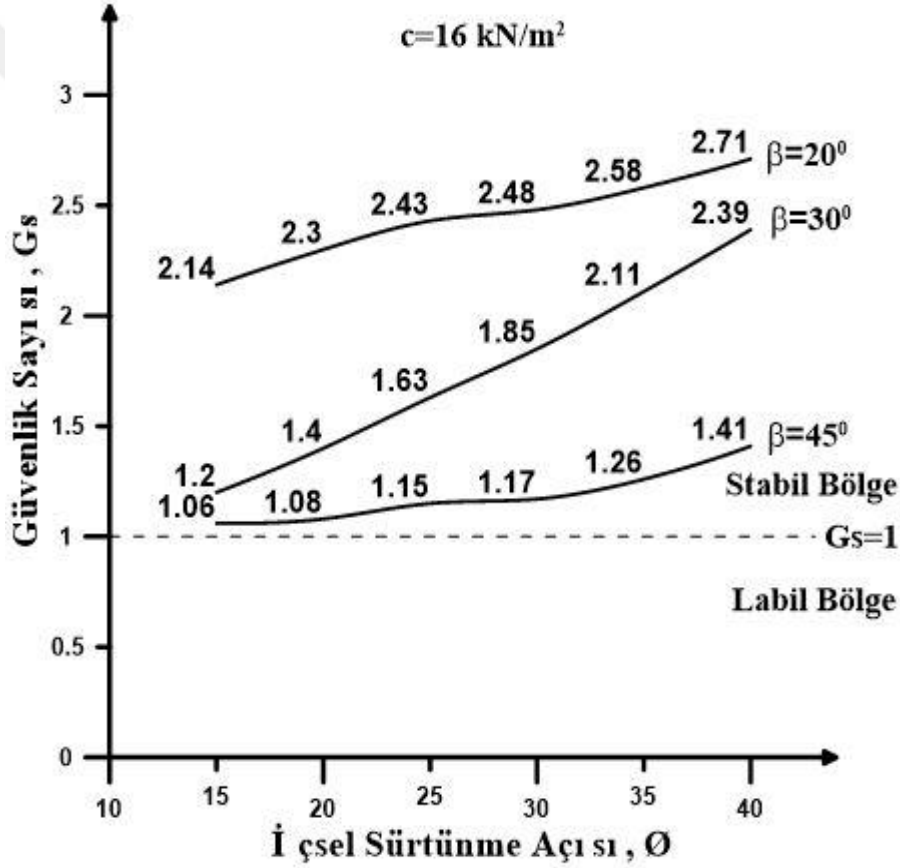
Şekil 47. $c=8 \text{ kN/m}^2$ için değişen içsel sürtünme açısı (\emptyset) ve şev açısı (β) değerlerine bağlı olarak homojen sonlu şevde değiştirilmiş Janbu yöntemiyle elde edilen güvenlik sayısı değerleri

Şekil 48'de, $c=12 \text{ kN/m}^2$ için değişen içsel sürtünme açısı (\emptyset) ve şev açısı (β) değerlerine bağlı olarak homojen sonlu şevde değiştirilmiş Janbu yöntemiyle elde edilen güvenlik sayısı değerlerinin değişimi gösterilmiştir. 20° , 30° ve 45° şev açlarına sahip zemin kütleğinde, güvenlik sayısı değerlerinin sırasıyla 1.43 ila 2.37, 1.34 ila 2.23 ve 1.20 ila 2.08 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Buna göre, içsel sürtünme açısı değerlerinin artmasıyla ve şev açısı değerlerinin azalmasıyla güvenlik sayısı değerlerinde artış gözlenmektedir. 30° şev açısına sahip, güvenlik sayısının değişimini gösteren eğrinin lineer, diğer şev açlarına sahip eğrilerin de lineer olmayan bir görüntü sergilediği söylenebilir.



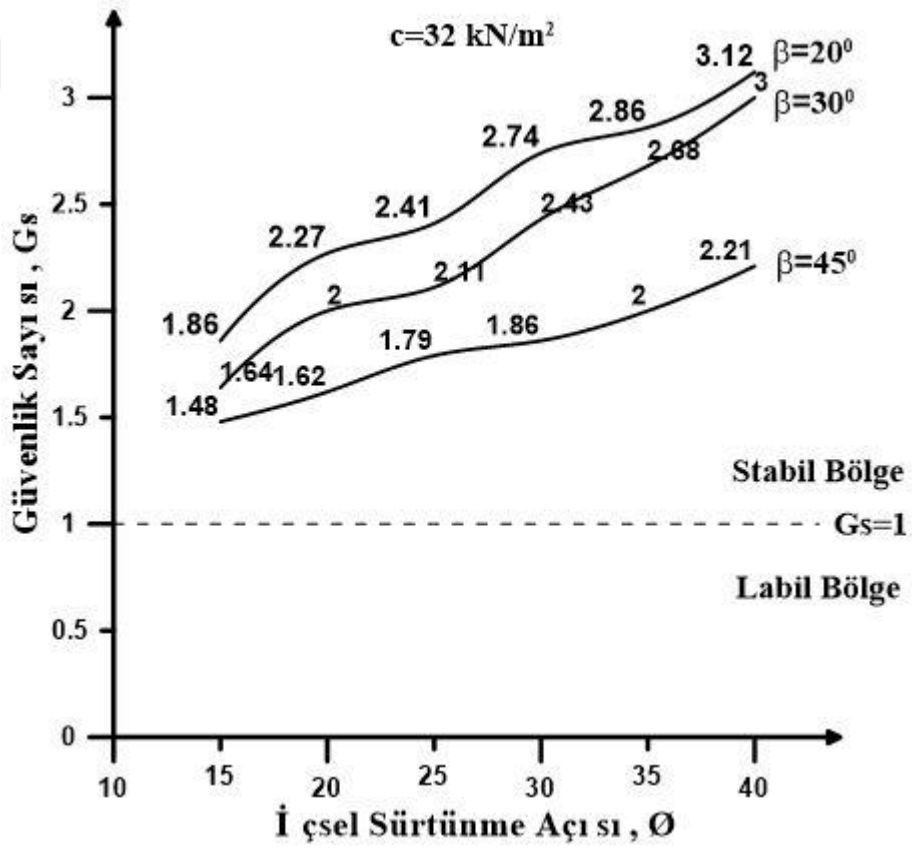
Şekil 48. $c=12 \text{ kN/m}^2$ için değişen içsel sürtünme açısı (\emptyset) ve şev açısı (β) değerlerine bağlı olarak homojen sonlu şevde değiştirilmiş Janbu yöntemiyle elde edilen güvenlik sayısı değerleri

Şekil 49'da, $c=16 \text{ kN/m}^2$ için değişen içsel sürtünme açısı (\emptyset) ve şev açısı (β) değerlerine bağlı olarak homojen sonlu şevde değiştirilmiş Janbu yöntemiyle elde edilen güvenlik sayısı değerlerinin değişimi gösterilmiştir. 20° , 30° ve 45° şev açlarına sahip zemin kütlelerinde, güvenlik sayısı değerlerinin sırasıyla 2.14 ila 2.71, 1.20 ila 2.39 ve 1.06 ila 1.41 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Buna göre, içsel sürtünme açısı değerlerinin artmasıyla ve şev açısı değerlerinin azalmasıyla güvenlik sayısı değerlerinde artış gözlenmektedir. 30° şev açısına sahip, güvenlik sayısının değişimini gösteren eğrinin lineer, diğer şev açlarına sahip eğrilerin de lineer olmayan bir görüntü sergilediği söylenebilir.



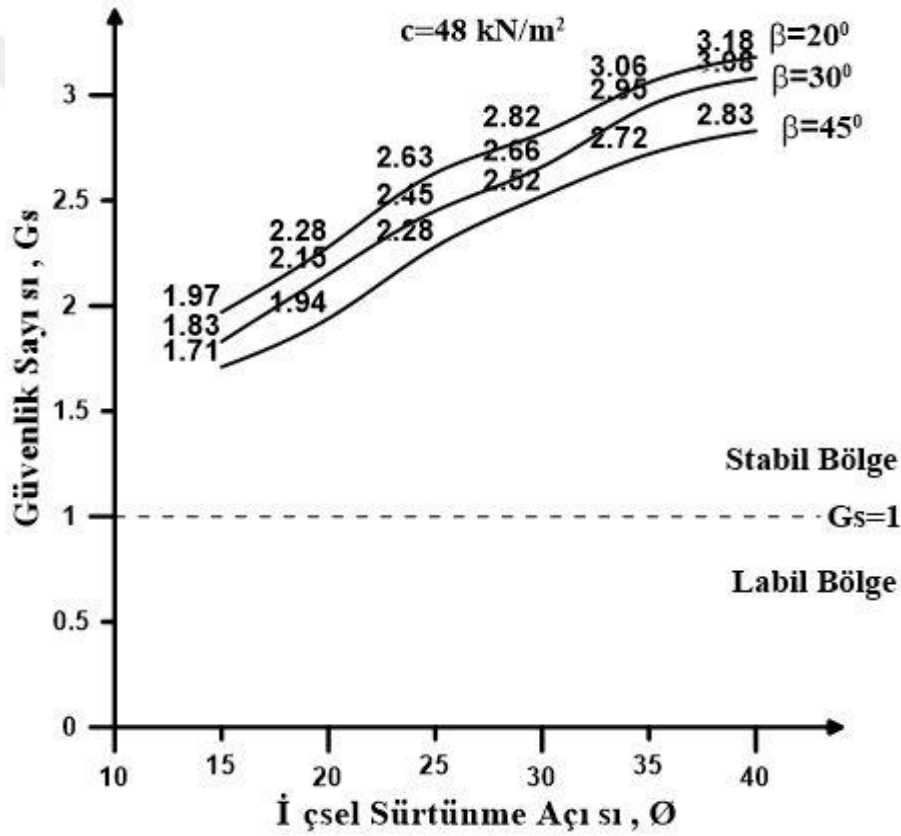
Şekil 49. $c=16 \text{ kN/m}^2$ için değişen içsel sürtünme açısı (\emptyset) ve şev açısı (β) değerlerine bağlı olarak homojen sonlu şevde değiştirilmiş Janbu yöntemiyle elde edilen güvenlik sayısı değerleri

Şekil 50'de, $c=32 \text{ kN/m}^2$ için değişen içsel sürtünme açısı (\emptyset) ve şev açısı (β) değerlerine bağlı olarak homojen sonlu şevde değiştirilmiş Janbu yöntemiyle elde edilen güvenlik sayısı değerlerinin değişimi gösterilmiştir. 20° , 30° ve 45° şev açlarına sahip zemin kütlelerinde, güvenlik sayısı değerlerinin sırasıyla 1.86 ila 3.12, 1.64 ila 3.00 ve 1.48 ila 2.21 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Buna göre, içsel sürtünme açısı değerlerinin artmasıyla ve şev açısı değerlerinin azalmasıyla güvenlik sayısı değerlerinde artış gözlenmektedir. Tüm şev açlarına sahip, güvenlik sayısının değişimini gösteren eğrilerin lineer olmayan bir görüntü sergilediği söylenebilir.



Şekil 50. $c=32 \text{ kN/m}^2$ için değişen içsel sürtünme açısı (\emptyset) ve şev açısı (β) değerlerine bağlı olarak homojen sonlu şevde değiştirilmiş Janbu yöntemiyle elde edilen güvenlik sayısı değerleri

Şekil 51’de, $c=48 \text{ kN/m}^2$ için değişen içsel sürtünme açısı (\emptyset) ve şev açısı (β) değerlerine bağlı olarak homojen sonlu şevde değiştirilmiş Janbu yöntemiyle elde edilen güvenlik sayısı değerlerinin değişimi gösterilmiştir. 20° , 30° ve 45° şev açlarına sahip zemin kütlelerinde, güvenlik sayısı değerlerinin sırasıyla 1.97 ila 3.18, 1.83 ila 3.08 ve 1.71 ila 2.83 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Buna göre, içsel sürtünme açısı değerlerinin artmasıyla ve şev açısı değerlerinin azalmasıyla güvenlik sayısı değerlerinde artış gözlenmektedir. Tüm şev açlarına sahip, güvenlik sayısının değişimini gösteren eğrilerin lineer olmayan bir görüntü sergilediği söylenebilir.

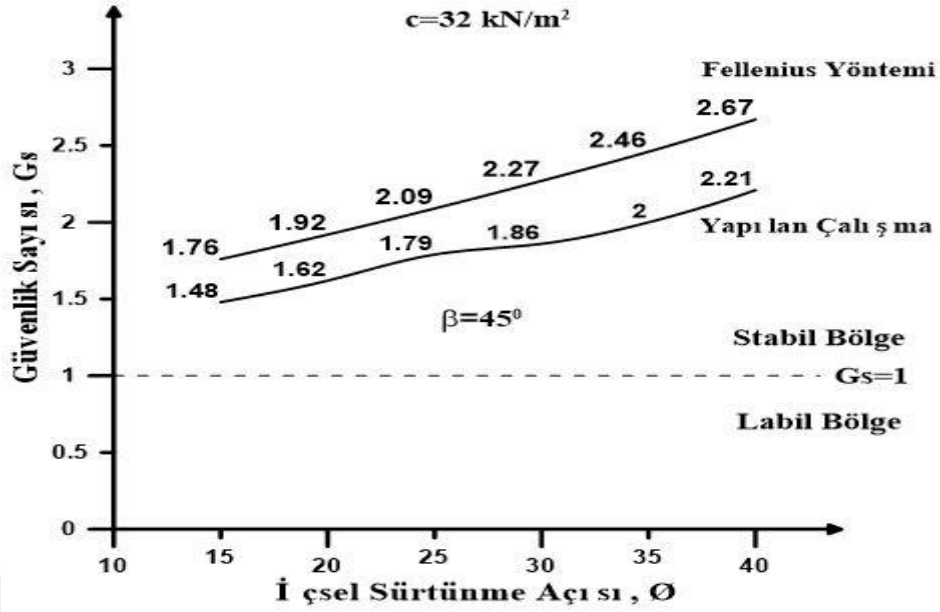


Şekil 51. $c=48 \text{ kN/m}^2$ için değişen içsel sürtünme açısı (\emptyset) ve şev açısı (β) değerlerine bağlı olarak homojen sonlu şevde değiştirilmiş Janbu yöntemiyle elde edilen güvenlik sayısı değerleri

Analiz sonucunda belirlenen şev kırılma yüzeyleri ve güvenlik sayısının değişimini gösteren grafikler irdelendiğinde bazı sonuçlara ulaşılmıştır. 25°den küçük içsel sürtünme açısına (ϕ) sahip şevlerde, analizde kullanılan yöntem; şev kırılma yüzeylerini, topuk noktasını geçmemek adına bir zorlamaya itmektedir ve aslında topuk kayması durumu oluşmamaktadır. Yani kırılma yüzeyleri, taban şevi kaymasının gereği olarak şev topuk noktasını geçip sola doğru devam edebilecekken bu yöntemle birlikte, şev kırılma yüzeylerinin hareketi sınırlandırılıp topuk şevi kaymasının oluşmasına zemin hazırlanmaktadır. Bu içsel sürtünme açısına sahip şevlerde, aslında taban şevi kayması görüldüğü için gerçekte daha düşük bir güvenlik sayısı beklenmektedir. Fakat yöntem gereği şev, topuk kaymasına zorlandığı için daha yüksek bir güvenlik sayısı ile karşılaşılmaktadır.

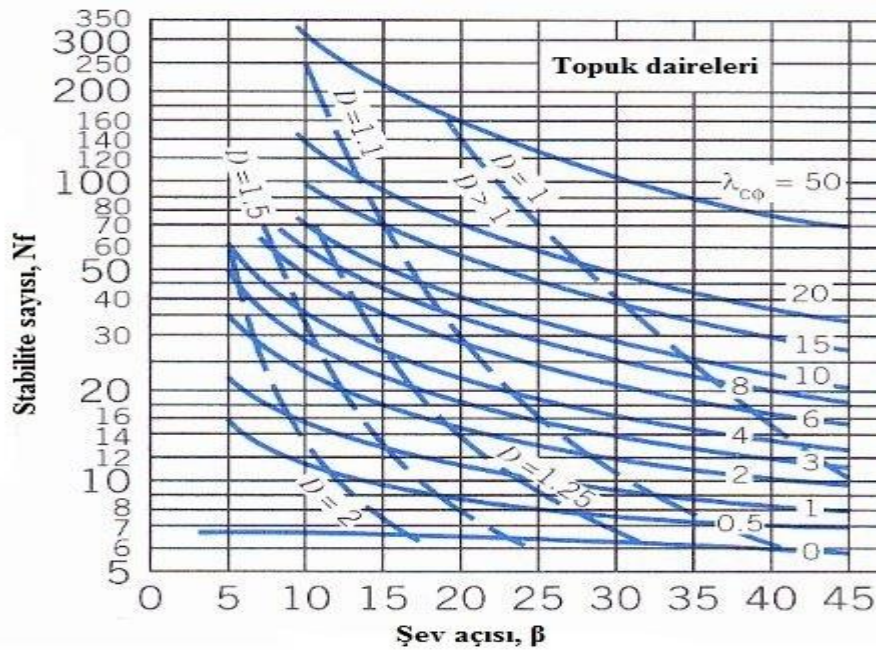
Bu çalışmada geliştirilen yöntemle (Genelleştirilmiş Janbu yönteminin değiştirilmesi) ve bazı stabilite analiz yöntemleriyle (Fellenius, Bishop ve Sürtünme Dairesi Yöntemi) elde edilen güvenlik sayıları, şev kütlesine ait belli geoteknik özelliklerden (c , ϕ , β , γ , H) bazıları aynı tutularak karşılaştırılmış ve aşağıdaki şekillerde gösterilerek bazı sonuçlara ulaşılmıştır.

$c=32 \text{ kN/m}^2$, $\beta=45^\circ$, $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$ değerlerine sahip şev kütlesi için bu tez çalışması kapsamında geliştirilen analiz yöntemiyle ve Fellenius yöntemiyle; şev dilim sayıları aynı tutularak (10 tane dilim) yapılan şev stabilite analizleri sonucunda, elde edilen güvenlik sayılarının içsel sürtünme açılarına bağlı değişimi Şekil 52'de gösterilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen analiz yöntemiyle birlikte güvenlik sayısı değerleri 1.48 ila 2.21 arasında değişirken, Fellenius yönteminde ise 1.76 ila 2.67 arasında değişmektedir. Kıyaslanan yöntemin güvenlik sayısı değerleri lineer tipte bir eğri oluştururken, bu çalışmadaki güvenlik sayısı değerleri lineer olmayan bir görüntü sergilemektedir. Yapılan tez çalışması kapsamında kullanılan yöntem (Genelleştirilmiş Janbu yönteminin değiştirilmesi), tüm kırılma yüzeyi (kompozit) olasılıklarını içermektedir. Fellenius yöntemi ise dairesel kırılma yüzeyleri üzerinde analizlerini gerçekleştirmektedir. Ayrıca, Fellenius yönteminde dilimler arası kuvvetlerin aynı doğrultuda fakat zıt yönde ve birbirine eşit oldukları kabul edildiği için bu kuvvetler hesaba katılmamaktadır [34]. Bu etkenlerden dolayı, Fellenius şev stabilite analiz yöntemine kıyasla daha düşük güvenlik sayılarına ulaşılmıştır.



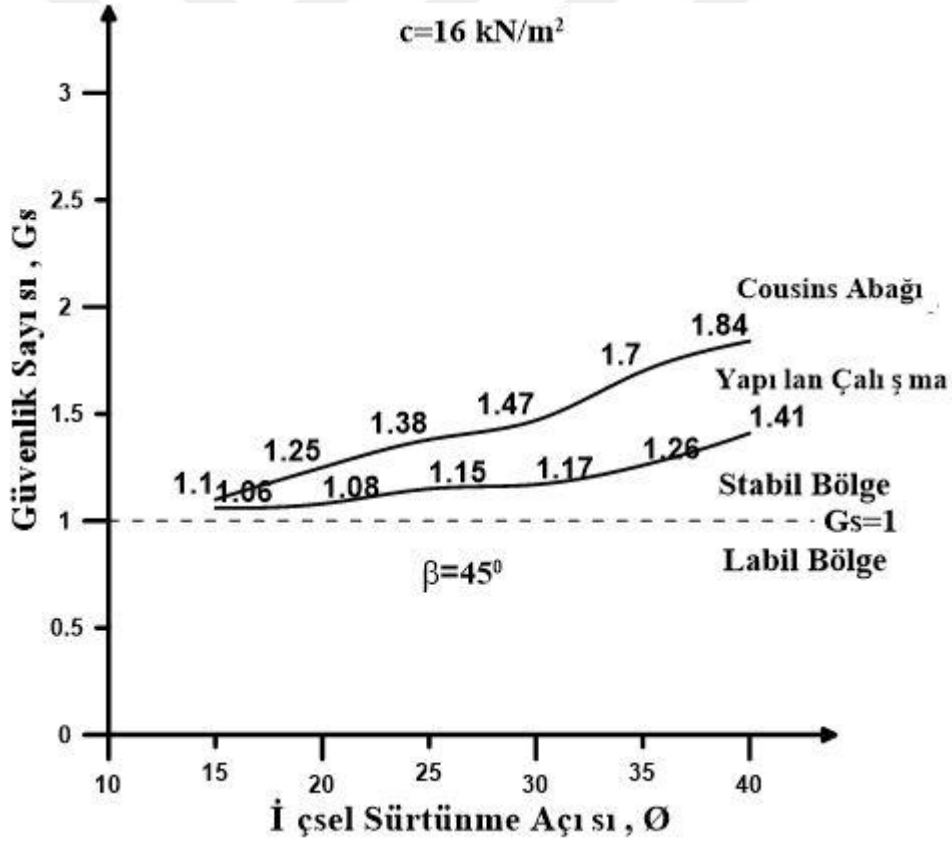
Şekil 52. Yapılan çalışma ile Fellenius şev stabilite yönteminin karşılaştırılması

$c=16 \text{ kN/m}^2$, $\beta=45^\circ$, $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$ değerlerine sahip şev kütlesi için bu tez çalışması kapsamında geliştirilen analiz yöntemiyle ve kıyaslanan yöntem olarak seçilen sürtünme dairesi yöntemine dayalı, Şekil 53'teki topuk daireleri için kullanılan Cousins şev stabilite abağı yardımıyla yapılan analizler sonucunda; elde edilen güvenlik sayılarının içsel sürtünme açlarına bağlı değişimi Şekil 54'te gösterilmektedir.



Şekil 53. Topuk daireleri için kullanılan Cousins şev stabilite abağı [30].

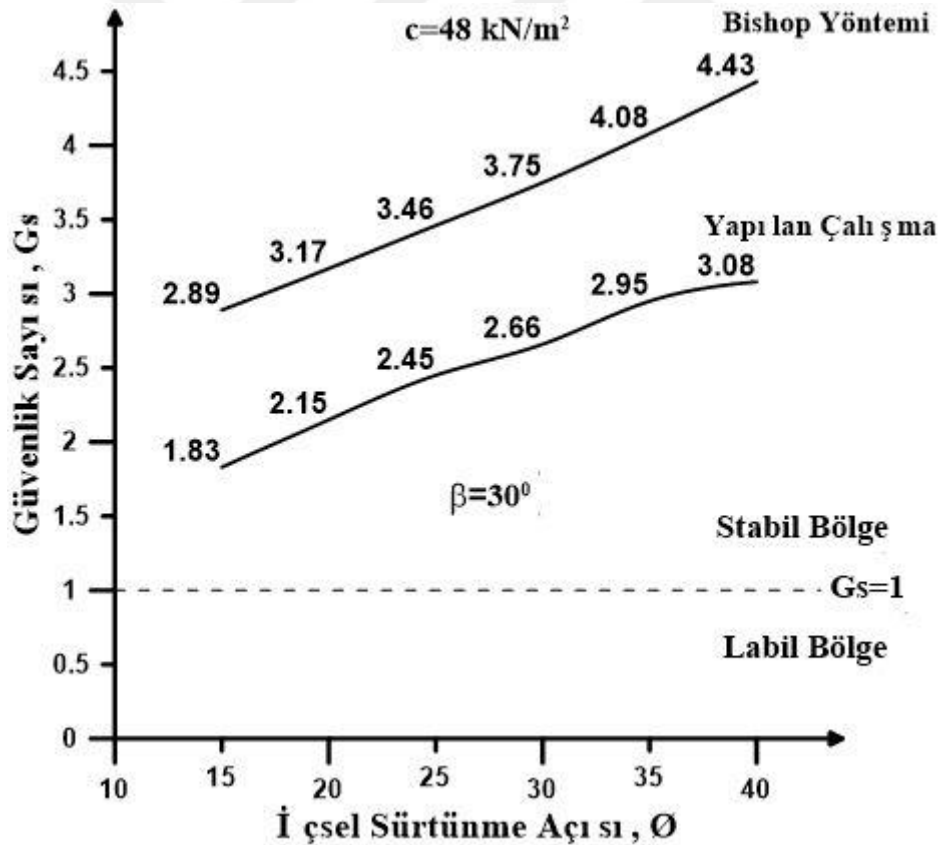
Şekil 54'te gösterilen grafiğe bakıldığında; bu tez çalışması kapsamında geliştirilen analiz yöntemiyle birlikte, güvenlik sayısı değerleri 1.06 ila 1.41 arasında değişirken, Cousins şev stabilite abağı kullanılarak elde edilen güvenlik sayısı değerleri ise 1.10 ila 1.84 arasında değişmektedir. Kıyaslanan yöntemin güvenlik sayısı değerleri ile bu çalışmadaki güvenlik sayısı değerleri lineer olmayan bir görüntü sergilemektedir. Yapılan tez çalışması kapsamında kullanılan yöntem (Genelleştirilmiş Janbu yönteminin değiştirilmesi), tüm kırılma yüzeyi (kompozit) olasılıklarını içermektedir. Cousins şev stabilite abakları ise temelde sürtünme dairesi yöntemine dayanmakta yani analizlerini dairesel kırılma yüzeyleri üzerinde gerçekleştirmektedir. Ayrıca, sürtünme dairesi yönteminde kayan şev kütlelerine (c) kohezyon kuvveti etkimektedir [6]. Bu etkenlerden dolayı, bu yönteme kıyasla daha düşük güvenlik sayılarına ulaşılmıştır.



Şekil 54. Yapılan çalışma ile sürtünme dairesi yöntemine dayalı Cousins şev stabilite abakları analiz yönteminin karşılaştırılması

$c=48 \text{ kN/m}^2$, $\beta=30^\circ$, $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$ değerlerine sahip şev kütleleri için bu tez çalışması kapsamında geliştirilen analiz yöntemiyle ve Bishop yöntemiyle; şev dilim sayıları aynı

tutularak (10 tane dilim) yapılan şev stabilite analizleri sonucunda, elde edilen güvenlik sayılarının içsel sürtünme açlarına bağlı değişimi Şekil 55'te gösterilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen analiz yöntemiyle birlikte güvenlik sayısı değerleri 1.83 ila 3.08 arasında değişirken, Bishop yönteminde ise 2.89 ila 4.43 arasında değişmektedir. Kıyaslanan yöntemin güvenlik sayısı değerleri lineer tipte bir eğri oluştururken, bu çalışmadaki güvenlik sayısı değerleri lineer olmayan bir görüntü sergilemektedir. Yapılan tez çalışması kapsamında kullanılan yöntem (Genelleştirilmiş Janbu yönteminin değiştirilmesi), tüm kırılma yüzeyi (kompozit) olasılıklarını içermektedir. Bishop yöntemi ise dairesel kırılma yüzeyleri üzerinde analizlerini gerçekleştirmektedir. Ayrıca, Bishop yönteminde dilimler arası kuvvetlerin yatay olarak ele alındığı yani kesme (düşey) kuvvetlerinin sıfır olduğu kabul edilmektedir [39]. Bu etkenlerden dolayı, Bishop şev stabilite analiz yöntemine kıyasla daha düşük güvenlik sayılarına ulaşılmıştır.



Şekil 55. Yapılan çalışma ile Bishop şev stabilite yönteminin karşılaştırılması

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Homojen sonlu şevlerde topuk kayması esas alınarak yapılan bu tez çalışmasında, genel olarak kabul edilen dairesel şev kırılma yüzeylerinin, sanıldığı gibi aksine kompozit yapıya sahip olduğunu göstermek amacıyla araştırmalar yapılmıştır. Bu bağlamda, Genelleştirilmiş Janbu Yöntemi'nin değiştirilmesiyle yeni bir şev stabilitesi yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem, kırılma yüzeylerinin optimizasyonu ve genelleştirilmiş Janbu yöntemine dayalı bir algoritmanın oluşturulmasıyla elde edilmiştir. Bu algoritma, MATLAB yardımıyla bilgisayar programına dönüştürülmüştür. Zemine ait bazı geoteknik özelliklere (c , ϕ , β), farklı değerler verilerek birtakım karşılaştırmalarda bulunmak amacıyla, farklı şev kırılma yüzeyleri ve minimum güvenlik sayıları elde edilmiştir. Bu geoteknik özelliklere bağlı olarak şev kırılma yüzeyleri ve güvenlik sayılarının değişimi arasında ilişkiler araştırılmıştır. Ayrıca, geliştirilen bu yöntemle edilen sonuçlar, yaygın olarak kullanılan bazı stabilite analiz yöntemlerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Geliştirilen yöntem kapsamında, yapılan analizlerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Aynı şev açısı (β) ve aynı kohezyon (c) değerine sahip zeminlerde, artan içsel sürtünme açısı değeriyle (ϕ) birlikte; güvenlik sayısında (G_S) artış, kırılma derinliklerinde ise azalış gözlenmiş ve şev kırılma yüzeylerinin, şev eğik yüzeyine yaklaştığı görülmüştür.
- Aynı kohezyon (c) değerine sahip zeminlerde, artan şev açısı (β) değeriyle birlikte güvenlik sayısında (G_S) azalış gözlenmiştir.
- Zemin kohezyon (c) değerlerinin artış gösterdiği durumlarda, güvenlik sayısı (G_S) değerlerinde de artış gözlenmiştir.
- Bu çalışmada geliştirilen yöntemle yapılan analiz sonucunda belirlenen kırılma yüzeylerinden (geometrisinden) elde edilen sonuçlar, genel olarak kabul edilen dairesel kırılma yüzeylerinin aksine farklı eğri tiplerinin oluşturduğu kompozit yüzeyler olarak karşımıza çıkmıştır.
- 25° den küçük içsel sürtünme açısına (ϕ) sahip şevlerde, taban şevi kayması beklendiği, fakat yöntem gereği; kırılma yüzeyleri, şev topuk noktasına doğru hareket ederek topuk şevi kayması durumu oluşturduğu görülmüştür.

- Yapılan tez çalışması kapsamında kullanılan yöntem (Genelleştirilmiş Janbu yönteminin değiştirilmesi), tüm kırılma yüzeyi (kompozit) olasılıklarını içerdiğinden ve kıyaslanan yöntemlerde dairesel kırılma yüzeyleri kabulü yapıldığından dolayı; bu yöntemlere kıyasla daha düşük güvenlik sayılarına ulaşılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, homojen sonlu şevlerde topuk şevi kayması durumu göz önüne alınmış ve analizler bu duruma göre yapılmıştır. Düşük içsel sürtünme açısına sahip şevlerde taban şevi kayması ihtimali daha yüksektir. Bu sebeple yapılan bu çalışmanın, taban şevi kaymasını içerecek şekilde geliştirilmesi yani şev kırılma yüzeyleri ve güvenlik sayısı üzerindeki etkilerinin araştırılması adına daha kapsamlı çalışmalar yapılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Keskin, M.Ö., Çukurova Yöresi Kuvarsit İşletmelerinde Bilgisayar Destekli Şev Dizaynı ve Şev Stabilite Analizleri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 2008.
2. Arıoğlu, E. ve Tokgöz, N., Çözümlü Problemlerle Şev Stabilite Analizi, Evrim Yayınevi, İstanbul, 2005.
3. Şekercioğlu, E., Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 2007.
4. Yıldız, L., Donatıyla Güçlendirilmiş Şevli Zemine Oturan Yüzeysel Temel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 2005.
5. Önalp, A., Heyelan Sözlüğü, 2. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Ekim 1995, Adapazarı, Bildiriler Kitabı 1: 22-34.
6. Haliloğlu, S.B., Heyelan Analizinde Kullanılan Yöntemler ve Sayısal Çözümleri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 1997.
7. Skempton, A.W. ve Hutchinson, J.N., Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations, 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Eng., April 1969, Mexico City, Proceedings 3: 291-340.
8. Varnes, D.J., Slope Movement Types and Process, Transportation Research Board, Special Report 176, NAS-NRC Publ., 11-33, 1978.
9. Walker, B.F., Soil Slope Instability and Stabilization, Sydney, 1987.
10. Kip, F. ve Kumbasar, V., İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, 4. Baskı, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1984.
11. Highland, L.M. ve Bobrowsky, P., The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular, 11-23, 2008.
12. Özgenoğlu, A., Madencilikte Şev Duraylılık Analizi Yaklaşımları, Madencilik Dergisi, 25, 1 (1986) 20-22.
13. Yamaguchi, D.K., Geological and Ecological Settings of Mount St. Helens, 13-27, 1993.
14. Capper, P.L. ve Cassie, W.F., İnşaat Mühendisleri İçin Zemin Mekaniği. (Çev: Kip,

- F. ve Kumbasar, V.), İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı: 496, İstanbul, 1962.
15. Ulusay, R., Zemin Sıvılaşması, Mavi Gezegen, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 2, 2000.
 16. Blong, R.J., A Numerical Classification of Selected Landslides of the Debris Slide, Engineering Geology, 7 (1973) 99-114.
 17. Skempton, A.W., Soil Mechanic in Relation to Geology, Proc. Yorkshire Geological Society, 29, 1 (1953) 33-62.
 18. Varnes, D.J., Landslides Types and Processes, Landslides and Engineering Practise, Highway Research Board, Special Report 29, NAS-NRC Publ., 20-47, 1958.
 19. Karaman, K., Taşönü (Trabzon-Araklı) Kalker Ocağındaki Şevlerin Duraylılık Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 2011.
 20. Önalp, A., İnşaat Mühendisleri İçin Geoteknik Bilgisi, 1. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1983.
 21. TS 8853, Yamaç ve Şevlerin Dengesi ve Hesap Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1991.
 22. Güner, R., Heyelanların Önlenmesi ve Düzeltilmesi, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 379 (1995) 59-65.
 23. Sarıdede, M., Pozantı Otoyolu Kemerhisar-Eminlik Kesiminde (km:312+000-327+000) Açılan Şevlerin Duraylılık Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2011.
 24. Hoek, E. ve Bray, J.W., Kaya Şev Stabilitesi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 15-16, 1991.
 25. Kezdi, A., Safety Factors for Different Types of Failure, Proc. of Design Parameters in Geotechnical Engineering, 1 (1979) 195-198.
 26. Collin, A., Landslides in Clay, University of Toronto Press, 1956.
 27. Hoek, E., Rock Engineering Course Notes, North Vancouver, Canada, 2000.
 28. Hong Kong Government, Report on the Slope Failures at Sau Mau Ping, Hong Kong Government Printer, 1984.
 29. Ulusay, R., Şevlerin Duraylılığı ve Tasarımı Ders Notları, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Vakfı, Ankara, 180, 2002.
 30. Uzuner, B. A., Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, Trabzon, 310, 1990.

31. Özaydın, K., Zemin Mekaniği, Meva Matbaacılık ve Yayıncılık, İstanbul, 395, 1989.
32. Berilgen, M., Şevlerin Duraylılığı Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 14-29.
33. Anderson, M.G. ve Richards, K.S., Slope Stability, John Wiley and Sons Ltd., New York, 1982.
34. Fellenius, W., Calculation of the Stability of Earth Dams, 2nd Congres Large Dams, 4 (1936) 445-450.
35. Utku, T., Teori ve Tatbikatta Heyelanlar, T.C. Karayolları G.M., Ankara, 1975.
36. Craig, R.F., Soil Mechanics, Fourth Edition, London, 1987.
37. Uzuner, B.A., Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, 2. Baskı, Teknik Yayınevi, Ankara, 1992.
38. Whitlow, R., Basic Soil Mechanics, Third Edition, Addison Wesley Longman Limited, Essex, 559, 1996.
39. Bishop, A.W., The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Earth Slopes, Geotechnique, 5, 1 (1955) 7-17.
40. Janbu, N., Stability Analysis of Slopes With Dimensionless Parameters, Harward Soil Mechanics Series, 46 (1954) 811.
41. Janbu, N., Earth Pressure and Bearing Capacity Calculations by Generalized Procedure of Slides, Proc, 4th Int. Conf. Soil Mech. and Foundation Eng., London, 2 (1957) 207-212.
42. Janbu, N., Bjerrum, L. ve Kjaernsli, B., Veiledning Ved Losning av Fundamenterings Oppgaver, Norwegian Geotechnical Institute Publ., 16 (1956).
43. Spencer, E., A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Interslice Forces, Geotechnique, 17, 1 (1967) 11-26.
44. Spencer, E., The Trust Line Criterion in Embankment Stability Analysis, Geotechnique, 23, 1 (1973) 85-101.
45. Morgenstern, N.R. ve Price, V.E., The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces, Geotechnique, 15, 1 (1965) 79-93.
46. Morgenstern, N.R. ve Price, V.E., A Numerical Method for Solving the Equations of Stability of General Slip Surfaces, Computer Journal, 9 (1967) 388-393.
47. Koppula, S.D., Pseudo-static Analysis of Clay Slopes Subjected to Earthquakes, Geotechnique, 34, 1 (1984) 71-79.

48. Bishop, A.W. ve Morgenstern, N., Stability Coefficient for Earth Slopes, Geotechnique, 10, 4 (1960) 129-150.
49. Taylor, D.W., Fundamentals of Soil Mechanics, John Wiley and Sons Ltd., New York, 1948.
50. Cousins, B.F., Stability Charts for Simple Earth Slopes, Proceedings of ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division, 104, 2 (1978) 267-279.
51. Önalp, A., Yamaç Dengesinde Etkenlerin İncelenmesi, Doçentlik Tezi, K.T.Ü., Trabzon, 1975.
52. Uzuner, B. A., Temel Mühendisliğine Giriş, Derya Yayınevi, Trabzon, 180, 1995.
53. Lambe, T.W. ve Whitman, R.Y., Soil Mechanics, John Wiley and Sons Ltd., New York, 1969.
54. Kaymaz, İ., Optimizasyon Teknikleri Ders Notları, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum, 2006.
55. Türkay, M., Optimizasyon Modelleri ve Çözüm Metodları, Koç Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2-14, 2006.
56. Hartmann, D., Ingenieurinformatik im Bauwesen Institute of Computational Engineering, Master-Studiengang, Master Course, 'Computational Engineering', Design Optimization, 51-53, 2006.
57. Janbu, N., Application of Composite Slip Surface for Stability Analysis, European Conference on Stability Analysis, Stockholm, Sweden, 1954.
58. Janbu, N., Slope Stability Computations, Embankment Dam Engineering-Casagrande Volume, R.C. Hirschfeld and S.J. Poulos, eds., John Wiley and Sons, New York, 47-86, 1973.
59. Huang, Y.H., Stability Analysis of Earth Slopes, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1983.
60. İnan, A., Matlab Temel Seviye Semineri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2005.
61. Kaymaz, İ., Matlab Optimizasyon Araç Kutusunun Kullanımı, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum, 2006.
62. Keçek, G., İç Nokta Algoritmaları ve Doğrusal Programlamaya Uygulanması, Dumlupınar Üniversitesi, İ.İ.B.F., İşletme Bölümü, Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı, Kütahya, 2010.
63. Wood, A.J. ve Wollenberg, B., Optimal Power Flow, Power Generation Operation and Control, A Wiley-Interscience Publ., New York, 3 (1999) 551-553.

64. Eid, H., Stability Charts for Uniform Slopes in Soils With Nonlinear Failure Envelopes, Engineering Geology, 168 (2014) 38-45.
65. Gao, W., Determination of the Critical Slip Surface in Slope Stability Analysis by Ant Colony Optimization, American Society of Civil Engineers Technical Note, 30 (2015) 3-9.
66. Lim, K., Li, A.J., Schmid, A. ve Lymain, A.V., Slope Stability Assessments Using Finite-Element Limit-Analysis Methods, Int. Journal Geomech., 17 (2016) 2-6.
67. Zhang, J. ve Huang, H.W., Risk Assessment of Slope Failure Considering Multiple Slip Surfaces, Computers and Geotechnics, 74 (2016) 188-195.



6. EKLER

6.1. Ek 1

MATLAB paket programına girilen değiştirilmiş Janbu yönteminin notasyonları kapsamında, analizi gerçekleştirecek olan yani minimum güvenlik sayısını verecek olan hedef fonksiyonun oluşturulmasına ait kodlar aşağıda gösterilmiştir.

```
function f=hedeffonks(x)
c=10;
Q=20;
B=30;
H=10;
Dx=H/(7*tand(B));
gn=16;
f=[(c*Dx*secd(-atand((x(1)/Dx)-tand(B)))+(((x(1)*Dx*gn/2)+x(13))*secd(-
atand((x(1)/Dx)-tand(B)))-((x(1)*Dx*gn/2)+x(13))*sind(-atand((x(1)/Dx)-tand(B))))*tand(-
atand((x(1)/Dx)-tand(B)))]*tand(Q))*secd(-atand((x(1)/Dx)-tand(B)))+(c*Dx*secd(-
atand((x(2)-x(1)-Dx*tand(B))/Dx))+(((x(1)+x(2))*Dx*gn/2)+x(14))*secd(-atand((x(2)-
x(1)-Dx*tand(B))/Dx))-(((x(1)+x(2))*Dx*gn/2)+x(14))*sind(-atand((x(2)-x(1)-
Dx*tand(B))/Dx))*tand(-atand((x(2)-x(1)-Dx*tand(B))/Dx))]*tand(Q))*secd(-atand((x(2)-
x(1)-Dx*tand(B))/Dx))+((x(2)+x(3))*Dx*gn/2)+x(15))*secd(-atand((x(3)-x(2)-
Dx*tand(B))/Dx))-(((x(2)+x(3))*Dx*gn/2)+x(15))*sind(-atand((x(3)-x(2)-
Dx*tand(B))/Dx))*tand(-atand((x(3)-x(2)-Dx*tand(B))/Dx))]*tand(Q))*secd(-atand((x(3)-
x(2)-Dx*tand(B))/Dx))+((x(3)+x(4))*Dx*gn/2)+x(16))*secd(atand((x(3)-
x(4)+Dx*tand(B))/Dx))-(((x(3)+x(4))*Dx*gn/2)+x(16))*sind(atand((x(3)-
x(4)+Dx*tand(B))/Dx))*tand(atand((x(3)-x(4)+Dx*tand(B))/Dx))]*tand(Q))
*secd(atand((x(3)-x(4)+Dx*tand(B))/Dx))+((x(4)+x(5))*Dx*gn/2)+x(17))*secd(atand((x(4)-
x(5)+Dx*tand(B))/Dx))-(((x(4)+x(5))*Dx*gn/2)+x(17))*sind(atand((x(4)-
x(5)+Dx*tand(B))/Dx))*tand(atand((x(4)-x(5)+Dx*tand(B))/Dx))]*tand(Q))*
secd(atand((x(4)-x(5)+Dx*tand(B))/Dx))+((x(5)+x(6))*Dx*gn/2)+x(18))*secd(atand((x(5)-
x(6)+Dx*tand(B))/Dx))-(((x(5)+x(6))*Dx*gn/2)+x(18))*sind(atand((x(5)-
x(6)+Dx*tand(B))/Dx))*tand(atand((x(5)-x(6)+Dx*tand(B))/Dx))]*tand(Q))*
secd(atand((x(5)-x(6)+Dx*tand(B))/Dx))+((x(6)+x(7)+Dx*tand(B))/Dx))
+(((x(6)+x(7))*Dx*gn/2)+x(19))*secd(atand((x(6)-x(7)+Dx*tand(B))/Dx))-
(((x(6)+x(7))*Dx*gn/2)+x(19))*sind(atand((x(6)-x(7)+Dx*tand(B))/Dx))
*tand(atand((x(6)-x(7)+Dx*tand(B))/Dx))]*tand(Q))*secd(atand((x(6)-
x(7)+Dx*tand(B))/Dx))+((x(7)+x(8))*x(10))*gn/2)+x(20))*secd(atand((x(7)-x(8))/x(10)))-
(((x(7)+x(8))*x(10))*gn/2)+x(20))*sind(atand((x(7)-x(8))/x(10)))*tand(atand((x(7)-
x(8))/x(10)))]*tand(Q))*secd(atand((x(7)-x(8))/x(10)))+(c*x(11)*secd(atand((x(8)-x(9)))/
```

(Ek-1' in devamı)

$$\begin{aligned}
& x(11)) + [(((x(8)+x(9))*x(11)*gn/2)+x(21))*secd(atan((x(8)- \\
& x(9))/x(11)))] + [(((x(8)+x(9))*x(11)*gn/2)+x(21))*secd(atan((x(8)-x(9))/x(11)))- \\
& (((x(8)+x(9))*x(11)*gn/2)+x(21))*sind(atan((x(8)-x(9))/x(11)))*tand(atan((x(8)- \\
& x(9))/x(11)))]*tand(Q))*secd(atan((x(8)-x(9))/x(11)))+(c*x(12))*secd(atan(x(9)/x(12)))+ \\
& + [(((x(9)*x(12)*gn/2))*secd(atan(x(9)/x(12)))- \\
& ((x(9)*x(12)*gn/2))*sind(atan(x(9)/x(12)))]*tand(atan(x(9)/x(12)))]*tand(Q))*secd(atan \\
& (x(9)/x(12)))/[((x(1)*Dx*gn/2)+x(13))*tand(-atan((x(1)-Dx)- \\
& tand(B)))+(((x(1)+x(2))*Dx*gn/2)+x(14))*tand(-atan((x(2)-x(1)- \\
& Dx*tand(B))/Dx))+(((x(2)+x(3))*Dx*gn/2)+x(15))*tand(-atan((x(3)-x(2)- \\
& Dx*tand(B))/Dx))+(((x(3)+x(4))*Dx*gn/2)+x(16))*tand(atan((x(3)- \\
& x(4)+Dx*tand(B))/Dx))+(((x(4)+x(5))*Dx*gn/2)+x(17))*tand(atan((x(4)- \\
& x(5)+Dx*tand(B))/Dx))+(((x(5)+x(6))*Dx*gn/2)+x(18))*tand(atan((x(5)- \\
& x(6)+Dx*tand(B))/Dx))+(((x(6)+x(7))*Dx*gn/2)+x(19))*tand(atan((x(6)- \\
& x(7)+Dx*tand(B))/Dx))+(((x(7)+x(8))*x(10)*gn/2)+x(20))*tand(atan((x(7)- \\
& x(8))/x(10)))+(((x(8)+x(9))*x(11)*gn/2)+x(21))*tand(atan((x(8)- \\
& x(9))/x(11)))+((x(9)*x(12)*gn/2))*tand(atan(x(9)/x(12)))]];
\end{aligned}$$
6.2. Ek 2

MATLAB paket programına girilen değiştirilmiş Janbu yönteminin notasyonları kapsamında, optimizasyon işlemini gerçekleştirecek olan kodlar ve dilimlere ait denge denklemlerinin programa girilmesi aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

```
clear all
clc
close all
```

```
c=10;
Q=20;
B=30;
H=10;
Dx=H/(7*tand(B));
gn=16;
gs=1.18;
```

```
x0=[1 0.9 0.8 0.75 0.7 0.6 0.55 0.5 0.4 0.35 0.3 0.25 0.2 0.15 0.1 0.09 0.08 0.07 0.06 0.05
0.04]; %tasarım değişkenlerinin başlangıç değerleri
```

```
%Aeq=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1]; %başlangıçtaki, kırılma derinliklerini
(x1,x2,x3,...,x12) bulmak için tüm DS'ler(x13,x14,x15,...x21)=0 yapıldı (Aeq*x=beq),
bunun sonucunda işleme sokulacak olan ilk güvenlik sayısı: gs=1.028
%beq=[0];
```

```
%A *x < b => x > 0...Lineer eşitsizlik tipindeki kısıtlayıcı fonksiyonun katsayıları
A=[-1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0
-1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 -1 0
```

(Ek-2' in devamı)

```

0000000000000000;00000-100000000000000000;000000-1000
000000000000;0000000-1000000000000000;00000000-100000
0000000;000000000-1000000000000;0000000000-10000000
000;00000000000-1000000000;000000000000-100000000;0
000000000000-10000000;00000000000000-1000000;00000
0000000000-100000;00000000000000000-10000;000000000
00000000-1000;0000000000000000000-100;0000000000000
000000-10;000000000000000000000-1];
b=[0000000000000000000000];

```

%Aeq*x=beq...Lineer eşitlik tipindeki kısıtlayıcı fonksiyonun katsayıları

```

Aeq=[1 0000000000000000000000;0 1000000000000000000000;0 0
1000000000000000000000;000 1000000000000000000000;0000 1000
000000000000;00000 1000000000000000000000;000000 1000000
00000000;0000000 10000000000000000000;00000000 1000000000
000;000000000 1000000000000;0000000000 1000000000000;00
000000000 10000000000;00000000000 1000000000;00000000
000000 10000000;0000000000000000 10000000;00000000000000
00 100000;000000000000000000 10000;0000000000000000000 1
000;00000000000000000000 100;000000000000000000000 10;00
00000000000000000000 1];
beq=[2.6307 5.7619 7.7514 8.6021 8.3181 6.9004 4.3433 3.2017 1.8207 0.6512 0.8963
1.4979 153.43 -101.02 235.17 120.61 31.07 -116.47 -322.95 -4.21 7.07];

```

```
options = optimset('Display','iter','Algorithm','interior-point');
```

```
[x, fval, exitflag]=fmincon(@hedeffonks,x0,A,b,Aeq,beq,[],[],options);
```

```

fprintf('x(1)=% 10.5f\n',x(1))
fprintf('x(2)=% 10.5f\n',x(2))
fprintf('x(3)=% 10.5f\n',x(3))
fprintf('x(4)=% 10.5f\n',x(4))
fprintf('x(5)=% 10.5f\n',x(5))
fprintf('x(6)=% 10.5f\n',x(6))
fprintf('x(7)=% 10.5f\n',x(7))
fprintf('x(8)=% 10.5f\n',x(8))
fprintf('x(9)=% 10.5f\n',x(9))
fprintf('x(10)=% 10.5f\n',x(10))
fprintf('x(11)=% 10.5f\n',x(11))
fprintf('x(12)=% 10.5f\n',x(12))
fprintf('x(13)=% 10.5f\n',x(13))
fprintf('x(14)=% 10.5f\n',x(14))
fprintf('x(15)=% 10.5f\n',x(15))
fprintf('x(16)=% 10.5f\n',x(16))
fprintf('x(17)=% 10.5f\n',x(17))
fprintf('x(18)=% 10.5f\n',x(18))
fprintf('x(19)=% 10.5f\n',x(19))
fprintf('x(20)=% 10.5f\n',x(20))

```

(Ek-2' in devamı)

fprintf('x(21)=%10.5f\n',x(21))

%10. dilim için parametreler

a10=50.56; %dilim açısı

d10=0; %dilim itki kuvvetleri arası açı

W10=x(9)*x(12)*gn/2 %ağırlık

N10=[(-c*x(12)*secd(a10)/gs)*cosd(a10)*tand(d10)+(c*x(9)/(3*gs))+W10-

(c*x(12)*tand(a10)/gs)]/[cosd(a10)-sind(a10)*tand(d10)+((tand(Q)*(cosd(a10)*tand(d10)+sind(a10)))/gs)+((sind(a10)*x(9)*gs)-(tand(Q)*cosd(a10)*x(9)))/(3*x(12)*gs)] %dilim normal kuvveti

T10=(c*x(12)*secd(a10)+N10*tand(Q))/gs %dilim kaymaya karşı direnme kuvveti

E9=N10*sind(a10)-T10*cosd(a10) %dilimler arası yatay kuvvet

DE9=E9;

S9=-E9*tand(d10)+((x(9)/3)*(DE9/x(12))) %dilimler arası düşey kuvvet

%9. dilim için parametreler

a9=57.02; %dilim açısı

d9=53.57; %dilim itki kuvvetleri arası açı

W9=((x(8)+x(9))*x(11)*gn/2) %ağırlık

N9=[(-c*x(11)*secd(a9)/gs)*cosd(a9)*tand(d9)+E9*tand(d9)+(c*x(9)/(3*gs))+W9-(c*x(11)*tand(a9)/gs)+S9]/[cosd(a9)-

sind(a9)*tand(d9)+((tand(Q)*(cosd(a9)*tand(d9)+sind(a9)))/gs)+((sind(a9)*x(9)*gs)-(tand(Q)*cosd(a9)*x(9)))/(3*x(11)*gs)] %dilim normal kuvveti

T9=(c*x(11)*secd(a9)+N9*tand(Q))/gs %dilim kaymaya karşı direnme kuvveti

E8=N9*sind(a9)-T9*cosd(a9)+E9 %dilimler arası yatay kuvvet

DE8=E8-E9;

S8=-E8*tand(d9)+((x(9)/3)*DE8/x(11)) %dilimler arası düşey kuvvet

DS9=S8-S9 %dilimler arası düşey kuvvetler farkı

%8. dilim için parametreler

a8=60.3; %dilim açısı

d8=57.98; %dilim itki kuvvetleri arası açı

W8=((x(7)+x(8))*x(10)*gn/2) %ağırlık

N8=[(-c*x(10)*secd(a8)/gs)*cosd(a8)*tand(d8)+E8*tand(d8)+(c*x(8)/(3*gs))+W8-(c*x(10)*tand(a8)/gs)+S8]/[cosd(a8)-

sind(a8)*tand(d8)+((tand(Q)*(cosd(a8)*tand(d8)+sind(a8)))/gs)+((sind(a8)*x(8)*gs)-(tand(Q)*cosd(a8)*x(8)))/(3*x(10)*gs)] %dilim normal kuvveti

T8=(c*x(10)*secd(a8)+N8*tand(Q))/gs %dilim kaymaya karşı direnme kuvveti

E7=N8*sind(a8)-T8*cosd(a8)+E8 %dilimler arası yatay kuvvet

DE7=E7-E8;

S7=-E7*tand(d8)+((x(8)/3)*DE7/x(10)) %dilimler arası düşey kuvvet

DS8=S7-S8 %dilimler arası düşey kuvvetler farkı

%7. dilim için parametreler

a7=58.17; %dilim açısı

d7=51.70; %dilim itki kuvvetleri arası açı

W7=(x(6)+x(7))*Dx*gn/2 %ağırlık

(Ek-2' in devamı)

$$N7=[(-c*Dx*secd(a7)/gs)*cosd(a7)*tand(d7)+E7*tand(d7)+(c*x(7)/(3*gs))+W7-(c*Dx*tand(a7)/gs)+S7]/[cosd(a7)-sind(a7)*tand(d7)+((tand(Q)*(cosd(a7)*tand(d7)+sind(a7)))/gs)+((sind(a7)*x(7)*gs)-(tand(Q)*cosd(a7)*x(7)))/(3*Dx*gs)] \text{ \%dilim normal kuvveti}$$

$$T7=(c*Dx*secd(a7)+N7*tand(Q))/gs \text{ \%dilim kaymaya karşı direnme kuvveti}$$

$$E6=N7*sind(a7)-T7*cosd(a7)+E7 \text{ \%dilimler arası yatay kuvvet}$$

$$DE6=E6-E7;$$

$$S6=-E6*tand(d7)+((x(7)/3)*DE6/Dx) \text{ \%dilimler arası düşey kuvvet}$$

$$DS7=S6-S7 \text{ \%dilimler arası düşey kuvvetler farkı}$$

%6. dilim için parametreler

$$a6=49; \text{ \%dilim açısı}$$

$$d6=43.81; \text{ \%dilim itki kuvvetleri arası açı}$$

$$W6=(x(5)+x(6))*Dx*gn/2 \text{ \%ağırlık}$$

$$N6=[(-c*Dx*secd(a6)/gs)*cosd(a6)*tand(d6)+E6*tand(d6)+(c*x(6)/(3*gs))+W6-(c*Dx*tand(a6)/gs)+S6]/[cosd(a6)-sind(a6)*tand(d6)+((tand(Q)*(cosd(a6)*tand(d6)+sind(a6)))/gs)+((sind(a6)*x(6)*gs)-(tand(Q)*cosd(a6)*x(6)))/(3*Dx*gs)] \text{ \%dilim normal kuvveti}$$

$$T6=(c*Dx*secd(a6)+N6*tand(Q))/gs \text{ \%dilim kaymaya karşı direnme kuvveti}$$

$$E5=N6*sind(a6)-T6*cosd(a6)+E6 \text{ \%dilimler arası yatay kuvvet}$$

$$DE5=E5-E6;$$

$$S5=-E5*tand(d6)+((x(6)/3)*DE5/Dx) \text{ \%dilimler arası düşey kuvvet}$$

$$DS6=S5-S6 \text{ \%dilimler arası düşey kuvvetler farkı}$$

%5. dilim için parametreler

$$a5=34.69; \text{ \%dilim açısı}$$

$$d5=33.18; \text{ \%dilim itki kuvvetleri arası açı}$$

$$W5=(x(4)+x(5))*Dx*gn/2 \text{ \%ağırlık}$$

$$N5=[(-c*Dx*secd(a5)/gs)*cosd(a5)*tand(d5)+E5*tand(d5)+(c*x(5)/(3*gs))+W5-(c*Dx*tand(a5)/gs)+S5]/[cosd(a5)-sind(a5)*tand(d5)+((tand(Q)*(cosd(a5)*tand(d5)+sind(a5)))/gs)+((sind(a5)*x(5)*gs)-(tand(Q)*cosd(a5)*x(5)))/(3*Dx*gs)] \text{ \%dilim normal kuvveti}$$

$$T5=(c*Dx*secd(a5)+N5*tand(Q))/gs \text{ \%dilim kaymaya karşı direnme kuvveti}$$

$$E4=N5*sind(a5)-T5*cosd(a5)+E5 \text{ \%dilimler arası yatay kuvvet}$$

$$DE4=E4-E5;$$

$$S4=-E4*tand(d5)+((x(5)/3)*DE4/Dx) \text{ \%dilimler arası düşey kuvvet}$$

$$DS5=S4-S5 \text{ \%dilimler arası düşey kuvvetler farkı}$$

%4. dilim için parametreler

$$a4=13.14; \text{ \%dilim açısı}$$

$$d4=19.19; \text{ \%dilim itki kuvvetleri arası açı}$$

$$W4=(x(3)+x(4))*Dx*gn/2 \text{ \%ağırlık}$$

$$N4=[(-c*Dx*secd(a4)/gs)*cosd(a4)*tand(d4)+E4*tand(d4)+(c*x(4)/(3*gs))+W4-(c*Dx*tand(a4)/gs)+S4]/[cosd(a4)-sind(a4)*tand(d4)+((tand(Q)*(cosd(a4)*tand(d4)+sind(a4)))/gs)+((sind(a4)*x(4)*gs)-(tand(Q)*cosd(a4)*x(4)))/(3*Dx*gs)] \text{ \%dilim normal kuvveti}$$

$$T4=(c*Dx*secd(a4)+N4*tand(Q))/gs \text{ \%dilim kaymaya karşı direnme kuvveti}$$

$$E3=N4*sind(a4)-T4*cosd(a4)+E4 \text{ \%dilimler arası yatay kuvvet}$$

(Ek-2' in devamı)

$$DE3=E3-E4;$$

$$S3=-E3*\tand(d4)+((x(4)/3)*DE3/Dx) \text{ \%dilimler arası düşey kuvvet}$$

$$DS4=S3-S4 \text{ \%dilimler arası düşey kuvvetler farkı}$$

%3. dilim için parametreler

$$a3=12.78; \text{ \%dilim açısı}$$

$$d3=2.36; \text{ \%dilim itki kuvvetleri arası açı}$$

$$W3=(x(2)+x(3))*Dx*gn/2 \text{ \%ağırlık}$$

$$N3=[(-c*Dx*\secd(a3)/gs)*\cosd(a3)*\tand(d3)+E3*\tand(d3)+(c*x(3)/(3*gs))+W3-$$

$$(c*Dx*\tand(a3)/gs)+S3]/[\cosd(a3)-$$

$$\sind(a3)*\tand(d3)+((\tand(Q)*(\cosd(a3)*\tand(d3)+\sind(a3)))/gs)+((\sind(a3)*x(3)*gs)-$$

$$(\tand(Q)*\cosd(a3)*x(3))/(3*Dx*gs)] \text{ \%dilim normal kuvveti}$$

$$T3=(c*Dx*\secd(a3)+N3*\tand(Q))/gs \text{ \%dilim kaymaya karşı direnme kuvveti}$$

$$E2=N3*\sind(a3)-T3*\cosd(a3)+E3 \text{ \%dilimler arası yatay kuvvet}$$

$$DE2=E2-E3;$$

$$S2=-E2*\tand(d3)+((x(3)/3)*DE2/Dx) \text{ \%dilimler arası düşey kuvvet}$$

$$DS3=S2-S3 \text{ \%dilimler arası düşey kuvvetler farkı}$$

%2. dilim için parametreler

$$a2=34.54; \text{ \%dilim açısı}$$

$$d2=14.92; \text{ \%dilim itki kuvvetleri arası açı}$$

$$W2=(x(1)+x(2))*Dx*gn/2 \text{ \%ağırlık}$$

$$N2=[(-c*Dx*\secd(a2)/gs)*\cosd(a2)*\tand(d2)+E2*\tand(d2)+(c*x(2)/(3*gs))+W2-$$

$$(c*Dx*\tand(a2)/gs)+S2]/[\cosd(a2)-$$

$$\sind(a2)*\tand(d2)+((\tand(Q)*(\cosd(a2)*\tand(d2)+\sind(a2)))/gs)+((\sind(a2)*x(2)*gs)-$$

$$(\tand(Q)*\cosd(a2)*x(2))/(3*Dx*gs)] \text{ \%dilim normal kuvveti}$$

$$T2=(c*Dx*\secd(a2)+N2*\tand(Q))/gs \text{ \%dilim kaymaya karşı direnme kuvveti}$$

$$E1=N2*\sind(a2)-T2*\cosd(a2)+E2 \text{ \%dilimler arası yatay kuvvet}$$

$$DE1=E1-E2;$$

$$S1=-E1*\tand(d2)+((x(2)/3)*DE1/Dx) \text{ \%dilimler arası düşey kuvvet}$$

$$DS2=S1-S2 \text{ \%dilimler arası düşey kuvvetler farkı}$$

%1. dilim için parametreler

$$a1=25.92; \text{ \%dilim açısı}$$

$$d1=0; \text{ \%dilim itki kuvvetleri arası açı}$$

$$W1=x(1)*Dx*gn/2 \text{ \%ağırlık}$$

$$N1=[(-c*Dx*\secd(a1)/gs)*\cosd(a1)*\tand(d1)+E1*\tand(d1)+(c*x(1)/(3*gs))+W1-$$

$$(c*Dx*\tand(a1)/gs)+S1]/[\cosd(a1)-$$

$$\sind(a1)*\tand(d1)+((\tand(Q)*(\cosd(a1)*\tand(d1)+\sind(a1)))/gs)+((\sind(a1)*x(1)*gs)-$$

$$(\tand(Q)*\cosd(a1)*x(1))/(3*Dx*gs)] \text{ \%dilim normal kuvveti}$$

$$T1=(c*Dx*\secd(a1)+N1*\tand(Q))/gs \text{ \%dilim kaymaya karşı direnme kuvveti}$$

$$DS1=-S1 \text{ \%dilimler arası düşey kuvvetler farkı}$$

ÖZGEÇMİŞ

Emrullah SAĞIR 1989 yılında Trabzon'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Cudibey İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini ise Trabzon Yunus Emre Lisesi'nde tamamladı. 2008-2009 eğitim öğretim yılında, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. 2013 yılında lisans öğrenimini başarıyla tamamladıktan bir yıl sonra, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans yapmaya hak kazandı. 2016 yılı Mart ayında Karayolları Genel Müdürlüğü'nün yapmış olduğu açıktan atama sonucunda, Bursa Karayolları 14. Bölge Müdürlüğü'ne 'Etüt Ekip Mühendisi' olarak atanan Emrullah SAĞIR, iyi derecede İngilizce bilmektedir.