Şev Stabilite Analizleri İçin Bir Bilgisayar Programının Geliştirilmesi

Tülin Çetin[1]*, Yusuf Erzin[2]

[1]Manisa Celal Bayar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, +90(236) 201 2337, tulin.cetin@cbu.edu.tr
[2]Manisa Celal Bayar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, +90(236) 201 2312, yusuf.erzin@cbu.edu.tr
*İletişimden sorumlu yazar / Corresponding author

Geliş / Received: 28 Mart (March) 2016
Kabul / Accepted: 17 Ekim (October) 2016
DOI: 10.18466/cbayarfbe.280729

Özet

Şev stabilitesi, inşaat mühendisliğinde geoteknik alanındaki önemli konu başlıklarından biridir. Bilgisayar programları, inşaat mühendisliğinde her alanda olduğu gibi geoteknik ve şev stabilitesi konusunda da çok yardımcı olmaktadırlar. Bu çalışmada, farklı özelliklere sahip zeminlerdeki şev stabilitesi hesabını farklı yöntemlerle gerçekleştirebilmek amacı ile MATLAB programı ile şev stabilitesi analizi yazılımı hazırlanmıştır. Hazırlanan bu yazılımla, zemin parametrelerinin (zeminin birim hacim ağırlığı, içsel sürtünme açısı ve kohezyon), şev eğiminin ve şev yüksekliğinin, şev güvenlik katsayısına etkileri incelenebilmektedir. Bu incelemeler sırasında ayrıca, yer altı suyu varlığı, ilave yük olması durumu ve deprem etkileri de göz önüne alınabilmektedir.

Anahtar Kelimeler — Bilgisayar programı, Bishop yöntemi, İsveç dilim yöntemi, Janbu yöntemi, şev stabilitesi

Developing a Computer Program for Slope Stability Analysis

Abstract

Slope stability is one of the main topics of geotechnique in civil engineering field. Computer programs are helping for slope stability and geotechnique field while being in civil engineering. In this study, with MATLAB program, a software is developed to calculate slope stability safe factors in soils having different types with different kinds of methods. With this software, the effects of soil parameters (mass per unit volume, friction angle and cohesion), slope angles and slope heights on the slope stability safe factors can be examined. During these investigations, the conditions of the underground water, surcharge loads and earthquake effects can be also considered.

Keywords Bishop method, computer program, Janbu method, Ordinary method of slices, slope stability

1 Giriş

Geoteknik mühendisliğinin temel konularından biri de şev stabilite konusunun incelenmesidir. Şevler, hem doğal zeminlerde oluşmuş eğimli yamaçlarda, hem de çeşitli mühendislik amaçları için yapılan faaliyetlerde karşımıza çıkmaktadır. Bu mühendislik yapılarında, insan katkısı ile kazı veya dolgu sonucu oluşturulan eğimli zeminlerde şev tanımı içinde yer almaktadır. Bahsedilen bu çeşitli mühendislik amaçları için yapılacak şevlerin, bozulmadan sağlam olarak kalabilmesi için oluşturulmadan önce stabilite analizlerinin yapılması gerekmektedir. Stabilite analizi ile yapının veya mühendislik inşaatının tüm ömrü boyunca yapıya zarar gelmeden şevlerin stabil olarak kalabilmesi amaçlanmaktadır.

Şev stabilitesi ile ilgili çalışmalar sırasında, farklı

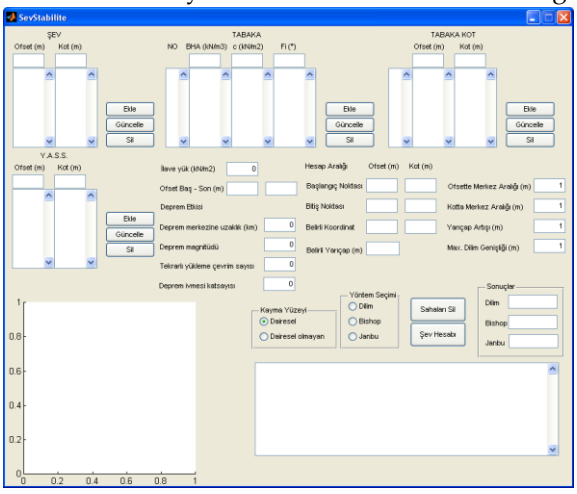
yöntemlerin efektif ve hızlı olarak kullanılması, iterasyonlar nedeniyle elde hesaplama güçlüğü nedeniyle farklı çalışmalarda farklı programlar kullanılmaktadır. Wang vd. 'nin çalışmasında EXCEL tablolarındaki VBA ortamındaki kodlamalar kullanılırken [1], Luo vd. ve Alemdag vd. 'nin çalışmalarında sonlu elemanlar metodu ile ilgili kodlardan faydalanılmıştır [2, 3]. Bu tarz çalışmalarda klasik yöntemler kullanılarken, Reale vd. çalışmalarında şev stabilitesi analizinde optimizasyon yöntemlerinden faydalanmışlartır [4]. Maula ve Zhang 'ın çalışmasında ise Geo Studio software 2007 ve Plaxis 2D Programları ile yapılan şev stabilite hesapları karşılaştırılmıştır. [5] Mergili vd. ise çalışmasında GIS ile şev stabilitesi hesaplarının birlikte kullanımını araştırmıştır. [6]

Şev stabilitesi analizi için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerin bilgisayar programına aktarılması ile, işlemlerin hızlanması ve otomasyon sağlanabilecektir. Bu amaçla, bu çalışmada, akademik programlama için son derece uygun bir yazılım geliştirme programı olan MATLAB programı kullanılarak, şev stabilitesi hesap programı yazılmıştır. Yazılan programla, şev stabilite güvenlik katsayıları hesaplanmaktadır. Bu güvenlik katsayılarını hesaplamak için, pratikte en çok kullanılan yöntemler olan İsveç Dilim Yöntemi [7], Basitleştirilmiş Bishop [8] ve Basitleştirilmiş Janbu [9-11] yöntemleri bilgisayar programına aktarılmıştır. Hesaplama sırasında, tek bir yöntem kullanılabileceği gibi, birden fazla yöntemde seçilebilmektedir. Hesaplarda kullanılmak üzere ilk olarak, şevi tanımlayan çeşitli veriler (şev geometrisi, ofset ve kot olarak), programa girdi olarak verilmektedir. Zemini oluşturan ve birim hacim ağırlığı (γ), zemin içsel sürtünme açısı (Φ) ve kohezyon (c) ile tanımlanan ve geometrisi ofset ve kot olarak verilen zemin tabakaları, istenen sayıda girilebilmektedir. Yer altı suyu bulunması durumunda, yer altı suyu tablasının geometrisi, diğer geometrilerde olduğu gibi ofset ve kot cinsinden tanımlanabilmektedir. Şev üzerinde ilave yük olması durumunda, hangi ofset değerleri arasında yer aldığı bilgisi ve yükün değeri ile birlikte girilebilmektedir. Şev stabilitesi analizinde dinamik etkileri incelemek amacıyla, deprem parametrelerinin (deprem şiddetinin değeri, deprem merkezinin şeve olan uzaklığı ve yer altı suyu varsa kullanılmak üzere tekrarlı yükleme çevrim sayısı değeri) girişi de mümkündür. Şev stabilitesi analizinde, dairesel kayma yüzeyi veya dairesel olmayan kayma yüzeyi tanımlanabilir.

Şev stabilitesi hesabının tamamlanmasının ardından, minimum şev güvenlik katsayısına ait kayma yüzeyi ekranda yer alan çizim bölümünde gösterilmektedir. Yine ekranda yer alan bir listede, yapılan tüm hesaplamaların sonuçları ve en sonunda elde edilen minimum güvenlik katsayısı ve buna ait kayma yüzeyi değerleri görüntülenmektedir. Program hazırlanmasının ardından, hazırlanan program, piyasada mevcut olan SLIDE programına ait örnek çözümlerle denenmiştir. Programdan elde edilen sonuçlarla örnek çözümlerin birbirine çok yakın olması ile, programın güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

2 Programın İçeriği

Pratikte en çok kullanılan İsveç dilim [7], Bishop [8] ve Janbu [8-11] yöntemleri için, MATLAB programı kullanılarak şev stabilitesi hesabı yapabilen bir yazılım geliştirilmiştir [12]. Geliştirilen bu programla, hem şev erstabilitesi ile ilgili denklemler programlanabilirken, hem de interaktif çalışma imkanı oluşturulabilmektedir. Program çeşitli modüllerden oluşacak şekilde hazırlanmıştır. Programda kullanılacak olan tüm veriler, program kullanıcısı tarafından belirlenebilmektedir. Yazının bundan sonraki kısımlarında, programda yer alan veri giriş bölümleri detaylı olarak tanıtılacaktır. Programda



kullanılacak olan verilerin girişinin sağlanması için, programın ekranı Şekil 1 'deki şekilde düzenlenmiştir.

Şekil 1 Program ekranının genel görünümü.

2.1 Programdaki Veri Girişleri

Programa veri olarak girilenler ;

- Şevi geometrik olarak tanımlayan ofset ve kot değerleri,
- Zeminin cinsini tanımlamaya yarayan birim hacim ağırlığı, kohezyon ve zemin içsel sürtünme açısı değerleri,
- (Varsa) Farklı zemin tabakalarını geometrik olarak tanımlayan ofset ve kot değerleri,
- (Varsa) Yer altı suyu tablasını geometrik olarak tanımlayan ofset ve kot değerleri,
- Sürşarj yükü,
- Depremle ilgili değerler,
- Kayma yüzeyi seçimi,
- Dairesel kayma yüzeyi için, kritik kayma yüzeyi merkezi belirleme alanı,
- Dairesel olmayan kayma yüzeyi için, kritik kayma yüzeyini geometrik olarak tanımlayan ofset ve kot değerleri,
- Kayma yüzeyine göre yöntem seçimi,

Her bir verinin giriş şekli ve birimleri aşağıda detaylı olarak anlatılacaktır.

a) Şev Geometrisi

Şev çizgisini tanımlayacak koordinat bilgileri ofset ve kot olarak girilmektedir. Şev çizgisi üzerindeki her bir kırık noktayı belirleyecek ofset ve kot bilgileri sıra ile girilmelidir. Şevin geometrisi, kırık noktalarla tanımlanmak üzere istendiği şekilde girilebilir.

Ofset ve kot değerleri m. cinsinden girilmelidir. Girilen her ofset ve kot değerinden sonra pencerenin al tında yer çizim bölümünde şev çizilmektedir. Girilen değerlerin doğruluğu bu çizime bakarak ta incelenebilmektedir.

b) Zemin Özellikleri

Şevi tanımlayacak zemin bilgileri birim hacim ağırlığı, kohezyon ve zemin içsel sürtünme açısı olarak girilmektedir. Girilen bu değerlerin birimleri, birim hacim ağırlığı (γ) için kN/m^3, kohezyon için (c) kN/m^2 ve zemin içsel sürtünme açısı için (Φ) derece cinsindendir. Zemini oluşturan tüm tabakalar için ayrı ayrı girilebilir. Her girilen zemine otomatikman bir numara verilir. Bu numara, daha sonra zemin geometrisinin girilmesinde tabakayı tanımlayacaktır. Tabaka numarasını girmeye gerek yoktur. Her tabaka girişinde, program otomatik olarak tabaka numarasını ekler.

c) Girilen Zemin Tabakalarının Geometrisi,

Zemin özellikleri kısmında girilen sayıda zeminin geometrisini tanımlayacak koordinat bilgileri ofset ve kot olarak girilmektedir. Hangi zemine ait ofset ve kot değerleri giriliyorsa, ilk olarak o zemine ait zemin özellikleri satırına tıklanmalıdır. Böylece zemin ofset ve kot değerleri girilirken, zemin numarası da otomatikman girilmiş olur.

Zemin tabakası üzerindeki her bir kırık noktayı belirleyecek ofset ve kot bilgileri sıra ile girilmelidir. Ofset ve kot değerleri m. cinsindendir. Girilen her ofset ve kot değerinden sonra pencerenin sol altında yer çizim bölümünde, zemin tabakası çizilmektedir. Girilen değerlerin doğruluğu bu çizime bakarak ta incelenebilir.

Farklı bir zemin tabakasına ait ofset ve kotu girmeden önce, zemin özellikleri bölümünden ilgili tabaka satırına tıklanmalıdır.

d) Yer altı Suyu Tablasının Geometrisi

Yer altı suyu tabakasını tanımlayacak koordinat bilgileri ofset ve kot olarak girilmektedir. Yer altı suyu mevcudiyeti durumunda bu bölüme giriş yapılmaktadır.

Yer altı suyu tablası üzerindeki her bir kırık noktayı belirleyecek ofset ve kot bilgileri sıra ile girilmelidir. Ofset ve kot değerleri m. cinsindendir. Girilen her ofset ve kot değerinden sonra pencerenin sol altında yer çizim bölümünde, yer altı suyu tabakası çizilmektedir. Girilen değerlerin doğruluğu bu çizime bakarak ta incelenebilir.

e) İlave Yük Ekleyebilme

Şev üzerine gelen ilave ağırlık yani sürşarj yükü kN/m^2 cinsinden girilebilir. İlave yükü şev çizgisi boyunca hangi ofset değerleri arasında yer aldığı girilmelidir. Sınır ofset değerleri m. cinsindendir.

f) Deprem Faktörleri, (deprem merkezine uzaklık, deprem magnitüdü, tekrarlı çevrim sayısı, deprem ivmesi katsayısı)

Depremin olmadığı bir durum incelendiğinde bu sahalar 0 değeri ile geçilmelidir. Depremin şev üzerindeki etkisinin incelenmesi istendiğinde ise ilgili sahalara gerekli bilgiler girilmelidir. Deprem

merkezine uzaklık sahasına, şev bölgesinin depremin merkez üssüne olan uzaklığı km. cinsinden girilmelidir. Deprem magnitüdü sahasında, depremin şiddeti bulunacaktır. Depremin tekrarlı çevrim sayısı da, deprem koşulunun incelenmesi sırasında kullanılacak değerlerden biridir.

Tekrarlı yükleme çevrim sayısı değeri, hesaplamalarda ilave boşluk suyu basıncı getirmektedir.

Deprem merkezine uzaklık, deprem magnitüdü ve tekrarlı çevrim sayısı girildiğinde program deprem ivmesi katsayısını hesaplayarak ilgili sahaya yazar. İstenirse doğrudan deprem ivmesi katsayısı da girilebilir.

g) Dairesel veya Dairesel Olmayan Kayma Yüzeyi İnceleme

Şevlerdeki kayma 2 türlü incelenebilmektedir: Dairesel veya dairesel olmayan. Hangi tip kayma yüzeyinin inceleneceğinin seçilmesi gerekir. Kayma yüzeyi seçimine göre, kullanılabilecek yöntemler gösterilmektedir.

h) Kayma Yüzeyi Seçimine Göre Yöntem Seçimi

Program dahilinde 3 yöntemle şev stabilitesi hesabı yapılmaktadır : İsveç Dilim Yöntemi, Bishop ve Janbu. İsveç Dilim Yöntemi ve Bishop yöntemleri sadece dairesel kayma yüzeylerindeki şev stabilite güvenlik katsayısı hesabında kullanılmaktadır. Janbu yönteminde ise, hem dairesel kayma yüzeylerinde hem de dairesel olmayan kayma yüzeylerindeki şev stabilite güvenlik katsayısı hesabında etkilidir. Eğer ekranda kayma yüzeyi dairesel olarak seçilmiş ise, her 3 yöntemde seçime açıktır. Eğer ekranda dairesel olmayan kayma yüzeyi seçili ise sadece Janbu yöntemi hesap yöntemi seçiminde açık olarak gelecektir.

Dairesel kayma yüzeyi seçildiğinde, gösterilen her üç yöntemde aynı anda seçilebilir. Böylece aynı konumda üç yönteme göre de şev güvenlik katsayısı hesaplanıp, birbirleriyle karşılaştırılabilir.

i) Dairesel Kayma Yüzeyi

Dairesel kayma yüzeyi hesabı seçildiğinde, kayma yüzeyinin merkezi ve kayma dairesini oluşturan dilimlerle ilgili veriler girilmelidir.

- Koordinatları belirli bir bölge içinde minimum şev güvenlik katsayısına sahip noktayı arama: Şev stabilitesinin incelenmesi için, kayma yüzeyinin merkezini şev bölgesinde belirli bir bölgede aramak mümkündür. Böylece aranacak alanın küçültülmesi amaçlanmıştır. Aranacak bölgenin başlangıç noktasının ofset ve kot değeri ile bitiş noktasının ofset ve kot değeri, minimum ve maksimum nokta olmak üzere 2 nokta olarak ve m. cinsinden girilmektedir.

- Belirli bir merkez ve belirli bir yarıçap değeri için güvenlik katsayısı hesabı: Daha önceden belirlenmiş şev problemlerinin kolayca programda analiz edilebilmesi için kullanılır. Şev kayma dairesinin merkez koordinatları ve dairenin yarıçapı m. cinsinden girilebilir. Bu sahalarda bilgi bulunduğu zaman, program kayma yüzeyi merkezi aramaya gerek olmaksızın şev stabilitesini kontrol etmeye başlar.

- Yatay Merkez Aralığı - Düşey Merkez Aralığı: Eğer minimum şev güvenlik katsayısına sahip kayma yüzeyinin merkezi belirli bir bölge içinde aranıyorsa, yatayda ve düşeyde hangi karelaja göre arama yapılacağı bu bölümlerdeki girişlere göre belirlenir. Bu sahalara m. cinsinden giriş yapılabilir. İlk değer olarak her iki sahada da, 1 m. değeri yer almaktadır. Karelaj aralığı isteğe göre daha büyütülebilir veya küçültülebilir.

- Yarıçap Artışı: Herhangi bir merkez noktası için minimum şev güvenlik katsayısı bulunurken, farklı yarıçaplar denenmektedir. Bu yarıçapların değer artışının ne kadar olacağı bu bölümde girilen değerle belirlenir. Bu sahaya m. cinsinden bir değer girilmelidir. İlk değer olarak bu saha da 1 m. değeri yer almaktadır.

- Max. Dilim Genişliği : Kayma yüzeyi seçildikten sonra, kayma dairesinin dilimlere en fazla ne kadar genişlikteki dilimlere ayrılacağı bu sahaya girilen m. cinsinden olan değerle belirlenir. İlk değer olarak 1 m. değeri yer almaktadır.

j) Dairesel Olmayan Kayma Yüzeyi

- Kayma yüzeyi geometrisi girişi : Dairesel olmayan kayma yüzeyini tanımlayacak koordinat bilgileri ofset ve kot olarak girilmektedir. Kayma yüzeyi üzerindeki her bir kırık noktayı belirleyecek ofset ve kot bilgileri sıra ile girilmelidir. Ofset ve kot değerleri m. cinsinden girilmelidir. Girilen her ofset ve kot değerinden sonra pencerenin sol altında yer çizim bölümünde, kayma yüzeyi çizilmektedir. Girilen değerlerin doğruluğu bu çizime bakarak ta

incelenebilir.

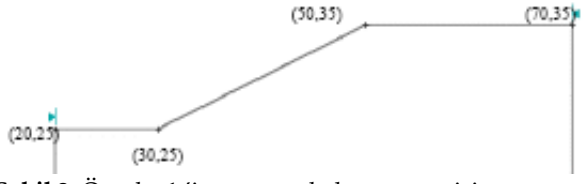
3 Programın Denenmesi

Program hazırlandıktan sonra, programın güvenilir sonuçlar verip vermediğinin denenmesi için, sonuçları bilinen çeşitli örnekler üzerinde çalışılmış ve programla bulunan sonuçlar örneklerdekilerle karşılaştırılmıştır. Bu amaçla bilinen SLIDE programına ait bilinen problemler üzerinde sonuçlarını gösterir yayınlardan yararlanılmıştır. [13-14]

Örnekler verilirken, zemin parametreleri, geometrisi ve yöntemine göre elde edilen sonuçlar listelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile, problemin bilinen çözümü çizelge şeklinde gösterilmiştir.

a) Örnek 1 : Tek zemin tabakası – Dairesel kayma durumu

Bu örnekte tek tabakadan oluşan bir zemin ve bu zeminde 2/1 şev eğimine sahip 10 m. yüksekliğinde bir şev bulunmaktadır. Şev geometrisi Şekil 2 'de görülebilir.

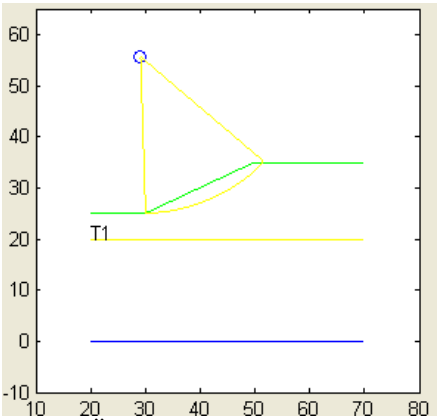


Şekil 2. Örnek : 1 'in şev ve tabaka geometrisi.

Örnek 1 'in zeminine ait parametreler Tablo 1 'de verilmektedir. Şekil 3 'te sonuç çizimi görülebilir.

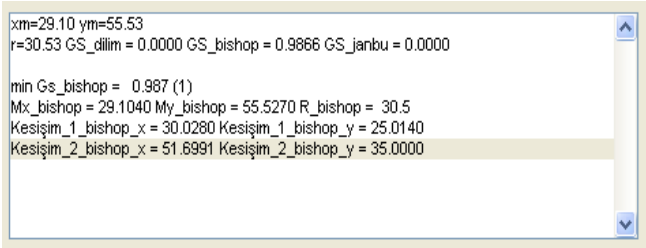
Tablo 1. Örnek : 1 Zemin parametreleri

γ (Kn /m³)	c (kN /m²)	Φ (°)
20	3	19.6

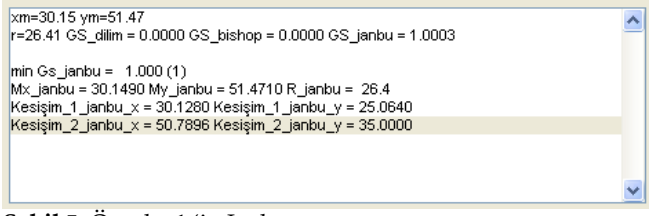


Şekil 3. Örnek : 1 'in sonuç çizimi.

Hazırlanan Matlab programı ile bulunan sonuçlar (Şekil 4 ve 5) ile örnekte verilen sonuçlar, aşağıda Tablo 2 'de listelenmiştir. Görüldüğü üzere sonuçlar birbirine çok yakındır.



Şekil 4. Örnek : 1 'in Bishop sonucu



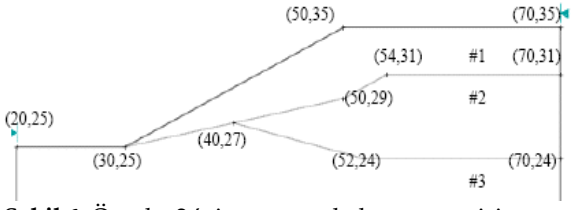
Şekil 5. Örnek : 1 'in Janbu sonucu

Tablo 2. Sonuçların karşılaştırması

Yöntem	Sonuçlar	
	Bilinen	Programla bulunan
Bishop	0.987	0.987
Janbu	0.990	1.000

b) Örnek 2 : Üç tabaka – Dairesel kayma

Örnekte üç tabakadan oluşan bir zemin ve bu zeminde 2/1 şev eğimine sahip 10 m. yüksekliğinde bir şev bulunmaktadır. Şev geometrisi ve tabakaların yerleşimi Şekil 6 'da görülebilir.

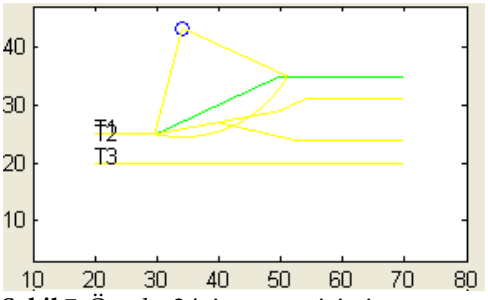


Şekil 6. Örnek : 2 'nin şev ve tabaka geometrisi

Örnek 2 zeminine ait parametreler Tablo 3 'te verilmektedir. Şekil 7 'de sonuç çizimi görülebilir.

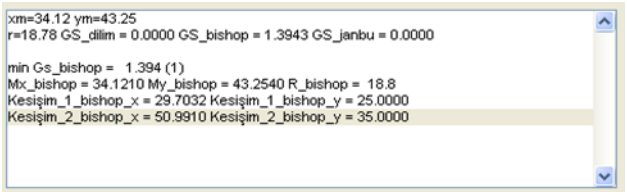
Tablo 3. Örnek : 2 Zemin parametreleri

Tabaka	γ (Kn /m³)	c (kN /m²)	Φ (°)
1	19.5	0	38
2	19.5	5.3	23
3	19.5	7.2	20

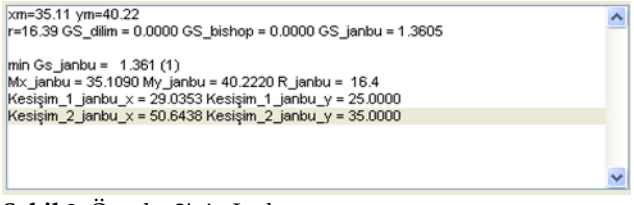


Şekil 7. Örnek : 2 'nin sonuç çizimi.

Hazırlanan Matlab programı ile bulunan sonuçlar (Şekil 8 ve 9) ile örnekte verilen sonuçlar, aşağıda Tablo 4 'te listelenmiştir. Görüldüğü üzere sonuçlar birbirine çok yakındır.



Şekil 8. Örnek : 2 ' nin Bishop sonucu



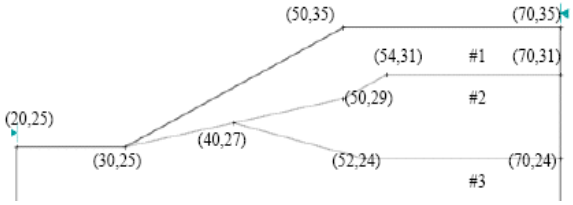
Şekil 9. Örnek : 2'nin Janbu sonucu

Tablo 4. Sonuçların Karşılaştırılması

Yöntem	Sonuçlar	
	Bilinen	Programla bulunan
Bishop	1.405	1.394
Janbu	1.357	1.361

c) Örnek 3 : Üç tabaka – Deprem – Dairesel kayma:

Örnek 3, Örnek 2 ile aynı verilere sahip olup ilave olarak 0.15g 'lik bir deprem etkisi bulunmaktadır. Üç tabakalı bir zemin ve bu zeminde 2/1 şev eğimine sahip 10 m. yüksekliğinde bir şev bulunmaktadır. Şev geometrisi ve tabakaların yerleşimi Şekil 10 'da görülebilir.

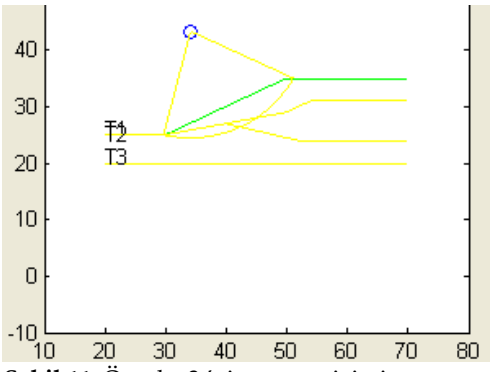


Şekil 10. Örnek : 3 'ün şev ve tabaka geometrisi.

Örnek 3 zeminine ait parametreler Tablo 5 'te verilmektedir. Şekil 11 'de sonuç çizimi görülebilir.

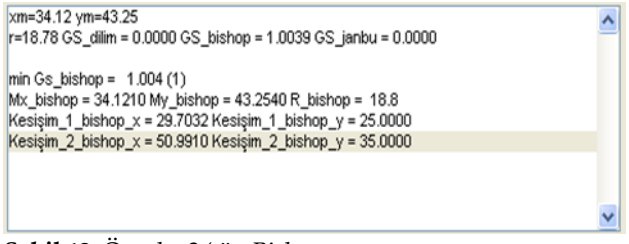
Tablo 5. Örnek : 3 Zemin parametreleri

Tabaka	γ (Kn /m³)	c (kN /m²)	Φ (°)
1	19.5	0	38
2	19.5	5.3	23
3	19.5	7.2	20



Şekil 11. Örnek : 3 'nin sonuç çizimi

Hazırlanan Matlab programı ile bulunan sonuçlar (Şekil 12) ile örnekte verilen sonuçlar, aşağıda Tablo 6 'da listelenmiştir. Görüldüğü üzere sonuçlar birbirine çok yakındır.



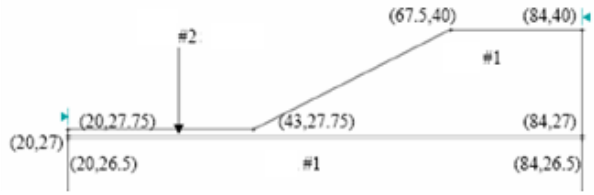
Şekil 12. Örnek : 3 ' ün Bishop sonucu.

Tablo 6. Sonuçların karşılaştırması

Yöntem	Sonuçlar	
	Bilinen	Programla bulunan
Bishop	1.015	1.004

d) Örnek 4 : Üç tabaka – Dairesel olmayan kayma:

Örnekte üç tabakadan oluşan bir bulunmaktadır. Zemin özellikleri aynı olan birinci ve üçüncü tabaka zeminler arasında zayıf ve ince bir tabaka bulunmaktadır. Şev geometrisi ve tabakaların yerleşimi Şekil 13 'te görülebilir.

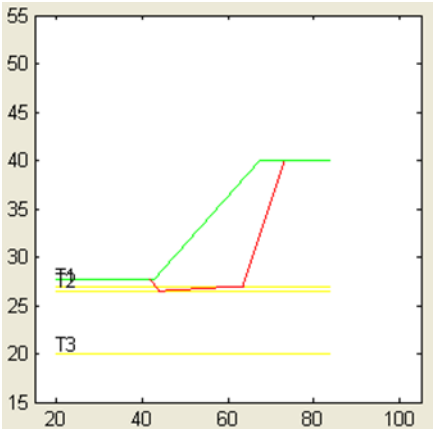


Şekil 13. Örnek : 4 'ün şev ve tabaka geometrisi.

Örnek 4 'ün zeminine ait parametreler Tablo 7 'de verilmektedir. Şekil 14 'te sonuç çizimi görülebilir.

Tablo 7. Örnek : 4 Zemin parametreleri

Tabaka	γ (Kn /m³)	c (kN /m²)	Φ (°)
1	18.84	28.5	20
2	18.84	0	10
3	18.84	28.5	20



Şekil 14. Örnek : 4 'ün sonuç çizimi.

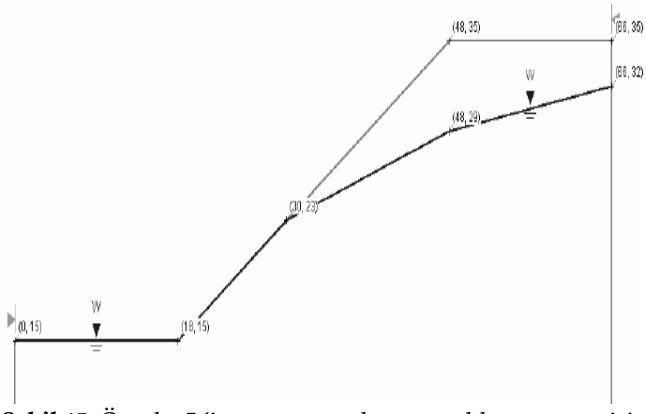
Hazırlanan Matlab programı ile bulunan sonuçlar ile örnekte verilen sonuçlar, aşağıda Tablo 8 'de listelenmiştir. Görüldüğü üzere sonuçlar birbirine çok yakındır.

Tablo 8. Sonuçların karşılaştırması

Yöntem	Sonuçlar	
	Bilinen	Programla bulunan
Janbu	1.294	1.305

e) Örnek 5 : Tek zemin tabakası – Yer altı suyu olması durumu

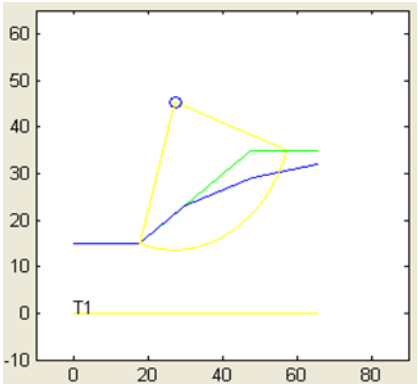
Örnekte tek tabakadan oluşan bir zemin ve bu zeminde 3/2 şev eğimine sahip 20 m. yüksekliğinde bir şev bulunmaktadır. Şev geometrisi ve yer altı suyu tablasının geometrisi Şekil 15 'te görülebilir. Örnek 5 zeminine ait parametreler Tablo 9 'da verilmektedir. Şekil 16 'da sonuç çizimi görülebilir.



Şekil 15. Örnek : 5 'in şev ve yer altı suyu tablası geometrisi.

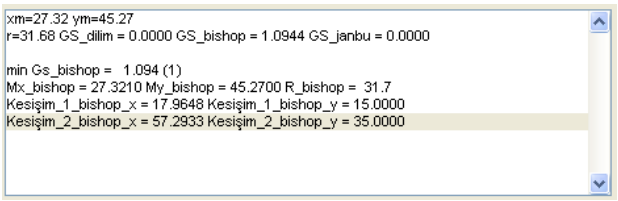
Tablo 9. Örnek : 5 Zemin parametreleri

Tabaka	γ (Kn /m³)	c (kN /m²)	Φ (°)
1	18.82	41.65	15



Şekil 16. Örnek:5'in sonuç çizimi

Hazırlanan Matlab programı ile bulunan sonuç (Şekil 17) ile örnekte verilen sonuçla, aşağıda Tablo 10 'da listelenmiştir. Görüldüğü üzere sonuçlar birbirine çok yakındır.



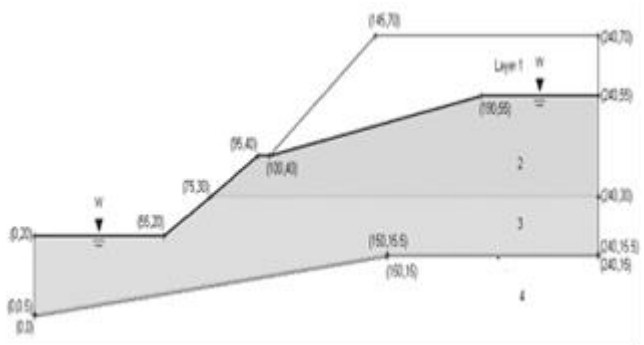
Şekil 17. Örnek : 5 'in Bishop sonucu.

Tablo 10. Sonuçların karşılaştırması

Yöntem	Sonuçlar	
	Bilinen	Programla bulunan
Bishop	1.117	1.094

f) Örnek 6 : Dört tabaka – Yer altı suyu

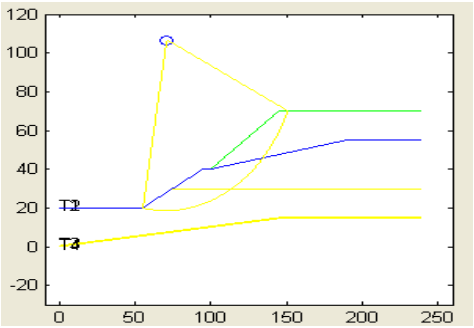
Örnekte dört tabakadan oluşan bir zemin ve bu zeminde, palyeli ve 50 m. yüksekliğinde bir şev bulunmaktadır. Şev geometrisi, tabakaların yerleşimi ve yer altı suyu tablasının geometrisi Şekil 18 'de görülebilir. Örnek 6 zeminine ait parametreler Tablo 11 'de verilmektedir. Şekil 19 'da sonuç çizimi görülebilir.



Şekil 18. Örnek : 6 'nın şev, tabaka ve yer altı suyu tablası geometrisi.

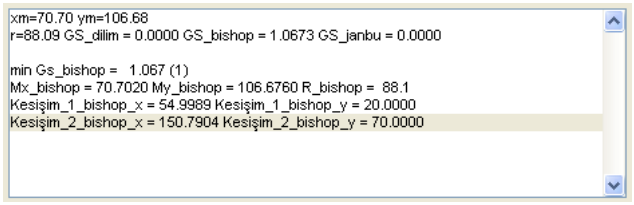
Tablo 11. Örnek : 6 Zemin parametreleri

Tabaka	γ (Kn /m³)	c (kN /m²)	Φ (°)
1	20	9.8	35
2	19	58.8	25
3	21.5	19.8	30
4	21.5	9.8	16



Şekil 19. Örnek : 6 'nın sonuç çizimi.

Hazırlanan Matlab programı ile bulunan sonuçlar (Şekil 20) ile örnekte verilen sonuç, aşağıda Tablo 12 'de listelenmiştir. Görüldüğü üzere sonuçlar birbirine çok yakındır.



Şekil 20. Örnek : 6 'nın Bishop sonucu.

Tablo 12. Sonuçların karşılaştırması

Yöntem	Sonuçlar	
	Bilinen	Programla bulunan
Bishop	1.087	1.067

Yukarıdaki örneklerden de görüleceği üzere tüm denemelerde, elde edilen sonuçlar ile bilinen çözümler karşılaştırıldığında birbirlerine çok yakın oldukları görülmüştür (Bakınız Tablo 2, 4, 6, 8, 10 ve 12). Ayrıca sonuçların arasında elde edilen yakınlığın, Alkasawneh ve diğerlerinin [15] dünya piyasasında bilinen ticari programlar için yaptıkları sonuç karşılaştırmalarındaki yakınlığa benzer olduğu görülmüş ve programın doğru sonuç verdiği onaylanmıştır.

4 SONUÇ

Şev stabilitesi, geotekniğin önemli konularından biridir. Şev stabilitesi konusunu detaylı olarak incelemek için, güvenlik katsayısını etkileyecek tüm parametreleri göz önüne alarak farklı alternatiflerin denenmesi gerekmektedir. Her ne kadar bu amaçla hazırlanan hazır ticari bilgisayar programları olmuş olsa da, yüksek bedeller göz önüne alındığında avantajlı olmaktan çıkmaktadır. Bu amaçla şev stabilitesi güvenlik katsayısı hesabı ile ilgili bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Program hazırlandıktan sonra, programın denenmesi için sonuçları bilinen çeşitli örnekler üzerinde çalışılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tüm denemelerde, programla elde edilen sonuçlar ile bilinen çözümlerin birbirlerine yakın oldukları görülmüştür. Buradan da, programın doğru sonuçlar verdiği kabul edilmiştir.

Bu program kullanılarak, bir veya birden fazla tabakalardan oluşan ve farklı zemin özelliklerine

sahip doğal veya yapay şevlerin dinamik veya statik koşullarda, şev güvenlikleri üç farklı yöntemle kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

5 KAYNAKLAR

[1] Wang, L., Chen, Z., Wang, N., Sun, P., Yu, S., Li, S. Modeling lateral enlargement in dam breaches using slope stability analysis based on circular slip mode. Engineering Geology. 2016; Volume 209, Pages 70–81.

[2] Luo, N., Bathurst, R.J., Javankhoshdel, S. Probabilistic stability analysis of simple reinforced slopes by finite element method. Computers and Geotechnics. 2016; Volume 77, Pages 45–55.

[3] Alemdag, S., Kaya, A., Karadag, M., Gurocak, Z., Bulut, F. Utilization of the limit equilibrium and finite element methods for the stability analysis of the slope debris: An example of the Kalebasi District (NE Turkey). Journal of African Earth Sciences. 2015; Volume 106, Pages 134–146.

[4] Reale, C., Xue, J., Pan, Z., Gavin, K. Deterministic and probabilistic multi-modal analysis of slope stability. Computers and Geotechnics. 2015; Volume 66, Pages 172–179.

[5] Maula , B.H., Zhang, L. Assessment of Embankment Factor Safety Using Two Commercially Available Programs in Slope Stability Analysis. The Proceedings of the Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction – EASEC12. 2011; Volume 14, Pages 559-566.

[6] Mergili, M., Marchesini, I., Rossi, M., Guzzetti, F., Fellin, W. Spatially distributed three-dimensional slope stability modelling in a raster GIS. Geomorphology. 2014; Volume 206, Pages 178–195.

[7] Fellenius, W. Calculation Of The Stability Of Earth Dams. Transactions. 2nd International Congress On Large Dams. Int Commiss Large Dams. 1936; 1936 445-9.

[8] Bishop, A. W. The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. Geotechnique. 1955; Vol 5, No. 1, pp 7-17.

[9] Janbu, N. Application of Composite Slip Surface for Stability Analysis. European Conference on Stability Analysis. Stockholm, Sweden. 1954.

[10] Janbu, N. Slope Stability Computations, Institutt for Geotknikk og Fundamenteringslære. Norges Tekniske Høgskole. Soils Mechanics and Foundation Engineering. the Technical University of Norway. 1968.

[11] Janbu, N. Slope Stability Computations, Embankment Dam Engineering - Casagrande Volume, R.C. Hirschfeld and S.J. Poulos. eds., John Wiley and Sons. New York. 1973; pp 47-86.

[12] Çetin, T. "Şev Stabilite Analizleri İçin Bilgisayar Programının Geliştirilmesi ve Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırılması" Konulu Yüksek Lisans Çalışması. 2010.

[13] SLIDE: 2D Limit Equilibrium Slope Stability for Soil and Rock Slopes. 2006; Verification Manual Part I.

[14] SLIDE: 2D Limit Equilibrium Slope Stability for Soil and Rock Slopes. 2006; Verification Manual Part II.

[15] Alkasawneh, W., Malkawi, A.I.H., Nusairat, J.H., Albataineh, N. A Comparative Study of Various Commercially Available Programs in Slope Stability Analysis. Computers and Geotechnics. 2008; 35, 428-435.