T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GERÇEK TOPOLOJİK DEĞİŞİMLERİ TEMEL ALARAK MODELLENMİŞ ŞEVLERİN ÜÇ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ

Mehmet Can ARSLAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2018

T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GERÇEK TOPOLOJİK DEĞİŞİMLERİ TEMEL ALARAK MODELLENMİŞ ŞEVLERİN ÜÇ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ

Mehmet Can ARSLAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2018

Prof. Dr. Saffet ERDOĞAN danışmanlığında, Mehmet Can ARSLAN'ın hazırladığı **"Gerçek Topolojik Değişimleri Temel Alarak Modellenmiş Şevlerin Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Analizleri**" konulu bu çalışma 10/07/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Prof. Dr. Saffet ERDOĞAN

Üye : Prof. Dr. H. Murat ALĞIN

Üye : Dr. Öğr.Ü. Nuri ERDEM

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. H.Murat ALĞIN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER DİZİNİ I
1.GİRİŞ 1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 4
3.MATERYAL ve YÖNTEM 9
3.1. Giriş 9
3.2. Şevlerin Duraylılığı 9
3.3. Şev Duraylılık Yöntemleri 10
3.3.1. İsveç Dilim Yöntemi (ø=0) 10
3.3.1.1 Dilim Yöntemi 11
3.3.1.2. Sıradan Dilim Yöntemi 12
3.3.1.3. Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi 14
3.3.1.4. Janbu'nun Basitleştirilmiş Yöntemi 15
3.3.1.5. Janbu'nun Genelleştirilmiş Dilim Prosedürü 17
3.3.1.6. Spencer Yöntemi 19
3.3.1.7.Morgenstern ve Price Yöntemi 22
3.3.1.8. Sarma Yöntemi 24
3.4. İnsansız Hava Araçları (İHA) 26
3.5. Sonlu Elemanlar Yöntemi 29
3.6. Sonlu Elamanlar Programları 30
3.7. Dayanım Azaltma Yöntemi (Strenght Reduction Metod) 31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 34
4.1.Giriş 34
4.2.Çalışma Alanı ve Modelleme 34
4.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Şevin 3B Analizi 38
4.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Şevin 2B Analizi 41
5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER 44
KAYNAKLAR 46
ÖZGEÇMİŞ 50

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GERÇEK TOPOLOJİK DEĞİŞİMLERİ TEMEL ALARAK MODELLENMİŞ ŞEVLERİN ÜÇ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ

Mehmet Can ARSLAN

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Saffet ERDOĞAN
Yıl:2018, Sayfa:50

Bu çalışma kapsamında, nümerik analizlerde kullanılabilecek gerçek şev geometrisini temel alan yüzey topolojisinin bilgisayar ortamında oluşturulabilmesi için, uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilen şev verisinin görüntü işleme tekniği ile beraber şevlerin üç boyutlu sonlu elemanlar (3B SE) ile modellemesinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla insansız hava aracından (drone) faydalanılarak elde edilen verilerden görüntü işleme tekniği kullanılarak modellemesini mümkün kılıp, yapılacak şev analizlerinin daha gerçekçi olması düşünülmüştür. Geçmişten günümüze şev analizleriyle ilgili çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Ancak mevcut literatür çalışmalarının çoğunda, şevlerin gerçek topolojik verilerdeki üç boyutlu değişimler göz ardı edilmektedir. Bu kabuller analiz sonuçlarını direkt olarak etkilemektedir. Çalışma kapsamında ilk kez İHA (İnsansız Hava Aracı) fotogrametrisinden faydalanılarak üç boyutlu olarak modellenen şevlerin 3B SE stabilite analizlerinin yapılabilirliği gösterilmiştir. Böylece üçüncü boyutta meydana gelen olası değişimlerin göz önüne alınması ile gerçekçi duraylılık analizleri yapılabilecektir. Üç boyutlu sonlu elemanlar analizlerinde elastoplastik bünye modelinde, dayanım azaltma tekniği kullanılarak incelenen dönüşlü şevli alanın 3B kritik kayma yüzeylerindeki yenilme karakteristikleri çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Bu çalışma sonucunda görüntü işleme tekniği ile oluşturmuş olduğu hasarlar nedeniyle can ve mal kayıplarıyla insan yaşamını tehdit eden şev stabilite problemlerinin önlenmesine yönelik atılacak adımlar daha sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilecektir. Çalışmanın analiz işlemlerine getirdiği farklı bakış açısının gerek şev stabilite analizlerinde, gerekse diğer alanlardaki çalışmalara rehber olabileceği düşünülmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Sonlu elemanlar analizi, İnsansız hava aracı, Üç boyutlu şev modellemesi, Duraylılık analizi

ABSTRACT

MSc Thesis

ANALYSIS OF THREE-DIMENSIONAL FINITE ELEMENTS BY MODELED SLOPES BASED ON REAL TOPOLOGICAL CHANGES

Mehmet Can ARSLAN

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Saffet ERDOĞAN
Year:2018, Page:50

In this study, the use of data obtained from the remote sensing methods incorpration with the image processing technique from modelling of slopes in three dimensional finite elements is investigated to be able to construct the model the surface topology varying depending on the slope geometry. For this purpose, full scalled modelling using the image processing technique based on the data obtained from unmanned aerial vehicle (UAV) (drone) and the slope analysis to undertaken more realistically. In most of the present literature three dimensional geometrical diversity in real topological data have been neglected. The results of the analysis are directly affected by these assumptions. In the scope of the study, the feasibility of 3D FE (Finite Element) stability analysis of slopes, using the photogrammetry of UAV was demonstrated for the first time in the literature. In 3D FE an use deformation characteristics of 3D critical sliding surfaces of round slope investigated by using the strenght reduction technique in the elastoplastic body model that have been evaluated in the scope of the study. As a result of this study, the process taken to prevent slope stability failures and property variation have been considered. The different viewpoint to the slope stability analysis considered in this study is expected to provide a guide for the slope in general.

KEY WORDS: Finite element analysis, Unmanned aerial vehicle, Three dimensional slope modeling, Stability analysis

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamı mümkün kılan ve bu çalışmayı benim için zevkli bir deneyim haline dönüştüren herkese teşekkür ederim.

Yüksek Lisans çalışmalarım boyunca beni her anlamda destekleyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Saffet ERDOĞAN ve Dr. Öğr. Ü. Mustafa ULUKAVAK hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmam kapsamında engin bilgi birikimlerinden faydalandığım ve bu süreçte gösterdikleri anlayışlarından dolayı Prof. Dr. H. Murat ALĞIN başta olmak üzere Arş. Gör. Arda Burak EKMEN hocalarıma teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Arazi çalışmaları kapsamındaki katkılarından dolayı Arş. Gör. Abdullah MEMDUHOĞLU ve Arş. Gör. Halil İbrahim ŞENOL hocalarıma teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca beni her anlamda destekleyen ve güvenen başta dedem olmak üzere tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım kapsamında bana yardımcı olan tüm arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. İsveç Dilim Metodu (Abramson ve ark., 1996)..... 111
Şekil 3.2. Sıradan dilim yöntemi (Anderson ve Richards, 1987)…….. 13
Şekil 3.3.Bishop'un basitleştirilmiş dilimleme yöntemi (Anderson ve Richards, 1987) 155
Şekil 3.4.Janbu'nın basitleştirilmiş yöntemi (Anderson ve Richards, 1987)..... 166
Şekil 3.5.Basitleştirilmiş yöntem için Janbu'nın düzeltme faktörü (Abramson ve diğ., 1996) 177
Şekil 3.6. Janbu'nun genelleştirilmiş prosedürü (Anderson ve Richards, 1987)..... 188
Şekil 3.7. Dilim üzerindeki kesişen kuvvetlerin yerlerini açıklayan itme çizgisi (Duncan ve Wright, 2005) 199
Şekil 3.8. Spencer'ın yöntemi (Anderson ve Richards, 1987) 21
Şekil 3.9. Fm ve Ff ile birlikte değişimi (Spencer, 1967) 21
Şekil 3.10. Genel Dilim Yöntemi (Fredlund ve Krahn, 1977) 23
Şekil 3.11. Morgenstern-Price metodu için moment ve kuvvet dengesizliğine karşı güvenlik faktörünün değişimi (Fredlund ve Krahn, 1977). 244
Şekil 3.12. Sarma'nın Yönteminde Kc ve güvenlik faktörü arasındaki ilişki (Sarma ve Bhave, 1974). 255
Şekil 3.13. Çalışmada kullanılan drone aleti……. 299
Şekil 4.1. Çalışma alanının harita üzerindeki görünümü..... 366
Şekil 4.2. Çalışma alanının arazideki mevcut durumu……37
Şekil 4.3. Şevli Alanın Nokta Bulutu ve 3B modeli..... 38
Şekil 4.4. Şevli Alanın 3B SE Modelinin Mesh Görüntüleri 40
Şekil 4.5. Şeve ait 3B SE modelinin analiz sonuçları 40
Şekil 4.6. Olası şev stabilite kayıp bölgelerinin görünümü 421
Şekil 4.7. Modellenen Şevin 2B Geometrisi……..…42
Şekil 4.8. Şeve Ait 2B SE Modelinin Analiz Sonuçları 422

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 4.1. Şevli alanın malzeme özellikleri……..…….……39

SİMGELER DİZİNİ

τ	Kayma gerilmesi
F	Güvenlik sayısı
Fs:	Güvenlik azaltma faktörü
c ve ϕ	Kayma mukavemeti parametrelerini
c' ve ϕ'	Azaltılmış kayma mukavemeti parametreleri
Cu	Drenajsız kesme kuvveti
L	Dairesel yay uzunluğu
R	Dairesel yüzeyin yarıçapı
W	Dairesel kayma yüzeyi üzerindeki zemin kütlesi
x	Zemin kütlesinin ağırlık merkezi ile daire merkezi O arasındaki yatay mesafe
σ	Toplam normal kuvvet,
u	Boşluk basıncıdır,
c'	Etkili kohezyon kuvveti,
ϕ'	Etkili sürtünme açısıdır ve
s	Kesme gerilmesidir
F	Güvenlik faktörü
P	Dilimin tabanındaki normal kuvvet
R	Yarıçap
f_o	Düzeltme faktörü
ht	Yataydan ölçülen açı
(X_R-X_L)	Düşey kesme kuvvetleri
λ	Ölçeklendirme faktörü
(E)	Yatay kesişen kuvvet
(kc)	Sismik katsayısı
Sv	Silim sınırında kullanılabilir kesme kuvveti

1.GİRİŞ

Heyelan gibi çeşitli doğa olaylarının insan yaşamı üzerinde meydana getirdiği kayıpların büyük olmasına bağlı olarak bu alandaki duraylılık analizleri, geoteknik mühendisliğinde araştırılan önemli bir konudur. Bu alanda çeşitli duraylılık analiz yöntemleri geliştirilmiş ve geliştirilmeye de devam edilmektedir. Bu alandaki ilk çalışmalar başta kolay ve yaygın bir uygulama alanı kazanan, geleneksel olarak idealleştirilmiş şekildeki, iki boyutlu (2B) limit denge (LD) veya sonlu elemanlar (SE) yöntemlerine bağlı doğrusal olmayan gerilme deformasyon durumlarını dikkate almaktadır (Sarma,1979; Griffiths ve Lane, 1999; Cheng ve ark., 2007; Cheng ve Yip, 2007; Stolle ve Guo, 2008; Nian ve ark., 2012; Leong ve Rahardjo, 2012; Zhang ve ark., 2013; Lin ve Cao, 2014).

Şev stabilite yöntemleri, teorik olarak değişseler de analiz sonuçları, kullanılan teoriye bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca 2B şev stabilite yöntemlerinde basitleştirilmiş varsayımlar, daha titiz 3B şev stabilite analizi yöntemlerinden farklı olan güvenlik faktörlerine yol açmıştır. Uygulamada, şevin geometrisi çok karmaşık değilse veya başarısızlık mekanizması karmaşık olmadıkça şev stabilitesinin 3B analizlerine başvurulmamaktadır. Ayrıca şev stabilite analizleri ile ilgili uygulamada kullanılacak yöntem daha çok uygulayıcı mühendise kalmaktadır. Çoğu uygulayıcı, başarısız olan şev koşullarından ziyade aşina oldukları analiz metoduna dayanarak şev stabilite analizlerini gerçekleştirmektedir. Sonuç olarak iyileştirme yöntemleri ya yetersiz tasarlanmış ya da aşırı tasarlanmış olarak karşımıza çıkmaktadır. Gerçekte ise başarısız olan şevin mekanizması ayrıntılı olarak incelenmelidir.

Clough ve Woodward (1967) tarafından geoteknik mühendisliğine kazandırılan SE yöntemi, geoteknik problemlere çözüm bulmada doğrusal olmayan gerilme-deformasyon malzeme davranışlarını modelleme olanakları sayesinde önemli bir araç haline gelmiş durumundadır. Fakat 2B analizler, basitleştirilmiş yaygın bir teknik olduğu kadar da gerçek durumdaki şev geometrilerinde görülen karmaşık durumlar nedeniyle pratikte yapılan duraylılık analizlerinde hataların oluşmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Ayrıca daha önceden yapılmış olan araştırmalarda (Chen ve Chameau,

1985; Hungr, 1987; Duncan, 1996a ; Griffiths ve Marquez, 2007; Chugh, 2003; Leong ve Rahardjo, 2012; Lin ve Cao, 2014), 2B düzlem deformasyon temeline dayalı olarak yapılan analizlere bağlı oluşan güvenlik sayılarının genel manada 3B olarak yapılan analizlerden elde edilenlere göre daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Bu durumda yapılacak olan geoteknik hesaplamalara bağlı tasarımların gereğinden fazla güvenli tarafta kalmasına yol açmaktadır. Fakat dönüş veya çıkıntılı köşe gibi spesifik durumları içeren 2B şev duraylılık analiz sonuçlarından elde edilen güvenlik sayılarının 3B duruma göre daha güvenli olduğu da yapılan literatür araştırmalarında belirtilmiştir. (Bromhead ve Martin, 2004; Sainak, 2004; Vaughan, 2008). Böyle bir durumun varlığı yapılacak şev duraylılık analizlerinde üçüncü boyut etkisinin hesaba katılmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak bilgisayar teknolojisinde de meydana gelen gelişmeler 2B analizlerle beraber 3B analizlerin yapılmasını da olanaklı hale getirmiştir. Böylece kompleks geometri, değişen sınır koşulları ve malzeme mukavemetlerine sahip şevlerin duraylılık analizlerinin daha gerçekçi yapılabilmesi sağlanmış olmaktadır. Günümüzde yapılan 3B şev duraylılık analiz çalışmalarında (Ugai ve Leshchinsky, 1995; Duncan, 1996b ; Stark ve Eid, 1998; Cai ve ark., 1998; Huang ve Tsai, 2000; Huang ve ark., 2002; Jiang ve Yamagami, 2004; Cheng ve Yip, 2007; Griffiths ve Marquez, 2007; Wei ve ark., 2009; Nian ve ark., 2012; Ho, 2014; Lin ve ark., 2015) SE yöntemi ile LD yöntemlerinin dayanım azaltma tekniği ile beraber kullanılması şeklinde olmaktadır.

Bu tez kapsamında, Şanlıurfa İli sınırları içerisinde bulunmakta olan yapay bir şevin üç boyutlu duraylılık analizleri ile ilgili ilk defa İHA kullanılarak elde edilmiş olan verilerin çeşitli yazılım programları kullanılarak dijital yükseklik modellemesi (DYM) yapılmış olup, şeve ait doğal haldeki şev geometrisi elde edilmiştir. 3B olarak gerçek durumdaki gibi modellenen gerçek şev geometrisi konfigürasyonunda dayanım azaltma tekniği ile 3B SE analizleri gerçekleştirilmiştir. Böylece 3B şevin kritik kayma yüzeyleri ile dayanım parametreleri elde edilmiştir. Daha sonra ise bunlarla ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Böylece doğal halde karmaşık geometrik konfigürasyon gösteren doğal ve yapay şevlerin 3B olarak modellenip sayısal analizlerinin yapılabileceği bu tez kapsamında anlatılarak, fotogrametrik ölçümlerde diğer adıyla drone'dan elde edilen koordinatlarla geliştirilen hassas yüzey modellerinin direkt olarak 3B SE duraylılık analizlerinde kullanılabileceği

açıklanmıştır. Bu yönüyle çalışma 3B şev analizlerinin daha gerçekçi modellenmesi ve çözümlenmesi adına farklı bir bakış açısı kazandıracaktır.

Tezin birinci bölümünde şev stabilite analizlerine genel bir bakış yapılmıştır. İkinci bölümde ise bu alanda yapılmış olan çalışmalar özet olarak sunulmuştur. Üçüncü bölümde çalışma kapsamında kullanılan materyal ve yöntem ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Dördüncü bölümde ise elde edilen araştırma bulguları ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar ve yapılan öneriler sunulmuştur.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Şev stabilite analizleri ile ilgili yapılmış olan çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Griffiths ve Lane (1999), Bishop limit denge yönteminden çok SE yöntemleri için ağırlıklı olarak kayma yüzeyi tayini, dilimler veya sütunlar arasındaki yan kuvvet varsayımları ve dilatasyon açısı gibi etkenlerin şev analizleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Dayanım azaltma yöntemi ile 2B SE analizini kullanarak elde edilen güvenlik sayısının Bishop LD analizini kullanarak elde edilen güvenlik sayısından daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Xie ve ark. (2006), çalışmalarında Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı bir program olan 3DSlopeGIS'i geliştirerek geniş çapta ele alınan bazı örnekler üzerinde değerlendirmeler yapmışlardır. Yapılan bu değerlendirmelere bağlı olarak bazı sonuçlar elde etmişlerdir. 3D şev stabilite analizi için kullanılan modelleri içeren bir CBS platformunda entegre bir sistem geliştirilmiş ve geliştirilen sistem, 3DSlopeGIS adı verilen bir uzantı olarak paketlenip ArcGIS programında mekânsal ve atfedilen verilerin girişi yoluyla doğrudan giriş ve çıkış ara yüzlerini desteklemiştir. Bu şekilde elde edilen sonuçlar ile CBS tabanlı 3B şev duraylılık analizlerinde veri yönetiminin kolaylığını göz önüne sermiştir.

Cheng ve ark. (2007), çalışmalarında güvenlik faktörleri ve kritik yüzeylerin konumlarını limit denge yöntemi ile elde etmeye çalışmışlardır. Basit homojen zeminlerden oluşan şevler için, LD ve dayanım azaltma yöntemlerinden elde edilen sonuçların, içsel sürtünme açısının sıfır olduğu durumlar dışında benzer olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Dayanım azaltma yönteminin sürtünmeli malzemeye sahip yumuşak durumlarda doğrusal olmayan bir çözüm algoritması dışında genel manada birçok durum için iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Cheng ve Yip (2007), çalışmalarında her zemin sütununda farklı kayma yüzeyleri varsayımına dayalı olarak Bishop'un basitleştirilmiş, Janbu'nun

basitleştirilmiş ve Morgenstern-Price'ın yöntemlerine dayanan 3B asimetrik şev modellerini geliştirmişlerdir. Kayma yönünü tek ve 3B kuvvet/moment dengesine dayalı formülasyonlarına bağlı olarak elde edilen sonuçların, normal durumlardaki klasik metotlara benzer olduğunu ancak enine yük altındaki durumlarda nümerik olarak stabil olduğu sonucuna varmışlardır.

Leong ve Rahardjo (2012), Singapur'da 1989 ve 1991'de şev güvenliği açısından iki kez başarısız olup bu yıllardaki geometrileri farklı olan bir şevin eğimi için 2B ve 3B şev stabilite analizlerini kullanarak yeniden analiz etmişlerdir. Yapılan analiz sonuçlarından 1989'da yükselen yeraltı suyu nedeniyle başarısız olan şevdeki 2B ve 3B şev stabilite analizlerini incelemişlerdir. Bu durumda ortalama kayma mukavemeti parametrelerinin emniyet faktörlerinin 2B şev stabilite analizleri ile elde edilen değerin 3B şev stabilite analizlerinden daha güvenli tarafta olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Şevde 1991 yılında yapılan analizler, şevin yüksek yeraltı suyu durumuna bağlı olarak stabil olmadığını göstermiştir. Yeraltı suyu seviyesinin yatay drenler ile indirilmesinin ardından yapılan şev analizi, şevin emniyet faktörünün büyük oranda geliştiğini göstermiştir. 2B ve 3B şev stabilite analizleri için güvenlik faktörleri arasındaki farklar yeraltı suyu seviyeleri ile karşılaştırıldığında düşük yeraltı suyu seviyeleri için daha fazla bulunmuştur. Elde ettikleri sonuçlar 3B şev stabilite analizlerinin nasıl gerçekleştirileceğinin ve rutin şev tasarımlarına nasıl dâhil edilebileceğini göstermiştir.

Zhang ve ark. (2013), çalışmalarında karmaşık geometrilerin 3B şev stabilitesi üzerindeki etkilerini, dayanım azaltma tekniği ile elastoplastik sonlu fark yöntemini kullanarak analiz etmektedir. Eğri şev yüzeyi, köşeleri döndürme, gibi çeşitli geometrik konfigürasyonlara sahip bir dizi özel 3B eğri emniyet faktörü, kayma yüzeyi ve deformasyonlar açısından incelenmiştir. Farklı sınır koşulları altında (90°, 45° ve 26.57 °) farklı geometriler için ve farklı geometrilere sahip 180°'den fazla olgu detaylı olarak hesaplanmış ve tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlardan hareketle, şev stabilite kaybı tehlikesine karşı hazırlık veya altyapıların güvenli ve ekonomik tasarımı için öneriler sunmuşlardır.

Lin ve Cao (2014), çalışmalarında şev stabilite analizlerinde kayma yüzeyleri ile ilişkilerini incelemek amacı ile kesme dayanımı azaltma yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemin performansı daha sonra iyi belirlenmiş sınır denge yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca kohezyon(c), içsel sürtünme açısı (φ) ve tabi birim hacim ağırlığı (γ) ile kayma yüzeyleri arasında önemli bir ilişki kurmak için varyasyon analizlerini yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar ile belirli bir şev geometrisinde kayma yüzeyinin yerinin sadece şev yüksekliğinin bulunduğu boyutsuz bir parametreyle ilişkili olduğunu göstermiştir.

Duncan (1996a), yaptığı çalışmasında 2B analiz için 3B problemdeki en iyi durumun seçildiği zaman güvenli bir sonucun elde edileceğini belirtmiştir.

Griffiths ve Marquez (2007), çalışmalarında SE yöntemine göre bazı 3B şev stabilite analizlerini, sonuçların 2B çözümlerle bağlantılı hale getirilmesi ve mümkün olan yerlerde alternatif yöntemlere karşı sonuçların doğrulanmasını göstermektedirler. Bu amaçla elastoplastik SE yaklaşımını kullanarak birkaç şev örneğinden elde edilen sonuçlar üzerinde durulmuştur. Ayrıca sınır koşullarının şev duraylılığı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, homojen bir şevin konvansiyonel 2B LD analizlerine göre doğrulanmıştır. Ayrıca düzlem dışı boyut arttıkça 2B sonucun 3B emniyet faktörü ile yakınsaklığını göstermiştir. Son olarak, düzlem dışı yönünde şev boyunca değişken kuvvet parametrelerini ortaya koyan bazı örnekleri sunmuşlardır.

Chugh (2003), çalışmasında şev duraylılık analizlerinde sınır koşullarının etkisini göstermek için mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan 2B ve 3B sayısal modellemeleri kullanmıştır. Bunun için çözülmüş örnek bir problem üzerinde analizler yapmıştır.

Ugai ve Leshchinsky (1995), çalışmalarında LD ve SE yöntemlerini kullanarak 2B ve 3B için şev stabilite analizleri ile ilgili buldukları sonuçları kıyaslamışlardır.

Duncan (1996b), çalışmasında New Melones barajı üzerinde SE yöntemi ve LD yöntemlerini kullanarak yapmış olduğu barajla ilgili duraylılık analizlerinde,

hesaplanan deformasyon değerlerinin ölçülen deformasyon değerlerinden daha fazla olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Wei ve ark. (2009), şevde bir kayma düzleminin emniyet faktörünü elde etmek için dayanım azaltma yöntemi ve LD metotlarıyla 3B şev duraylılık analizini birkaç durum için analiz etmişlerdir.

Lin ve ark. (2015), Changsha (Çin)'de bulunan bir maden ocağındaki çukurun stabilitesini incelemek için çeşitli yazılımlar aracılığı ile 3B modelini oluşturup deformasyon ve duraysızlıkları tespit etmeye çalışmışlardır. Bunun için zemin parametreleri, yüzeye uygulanan yük ve bu yükün dağılım alanlarına bağlı olarak değişimi ile ilgili çeşitli analizler yapmışlardır.

Ho (2014), şev stabilitesi analizinde kullanılan 3B SE tekniklerinin geometri ve sınır koşulları açısından avantajlarını sunmak için 2B limit denge yöntemleri ve 2B ile 3B SE analizlerini kullanarak homojen ve homojen olmayan şevler gibi birkaç durum üzerinde parametrik çalışmalar sunmuştur. Bu şekilde yapılan analizlerin 2B analizlere göre daha uzun sürse de, bu durumun 3B şev duraylılık analizlerini daha gerçekçi kıldığını ifade etmiştir. Ayrıca genelde literatürde SE metodu temelinde şev duraylılığı analizlerinin 3B etkiler ve sınır şartlarındaki değişimin sonuçlar üzerindeki etkisi konusunda olduğunu da ifade etmiştir.

Nian ve ark. (2012), şev analizi için dayanım azaltma tekniğini elastoplastik SE yöntemi ile kullanarak yeraltı suyunun olduğu 3B şev için sayısal modelleme ile kritik kayma yüzeyini ve güvenlik sayısını belirlemeye çalışmışlardır. Bunlarla beraber çeşitli geometrik konfigürasyonlara sahip 3B şev serilerinin (dönen köşe, dışbükey ve konkav şeklindeki yüzey geometrilerinin) çeşitli sınır koşullarına bağlı olarak şev duraysızlığı üzerine olan etkilerini nümerik olarak analiz etmişlerdir.

Taşkıran ve ark. (2015), çalışmalarında şev duraylılık analizlerinde SE yöntemini 2B ve 3B modeller yardımı ile araştırmışlardır. SE yöntemi eşliğinde dayanım azaltma yöntemi kullanılarak kumlu şev örneği ile ilgili güvenlik sayısı elde edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca bununla beraber 2B ve 3B modellerin analiz üzerine etkileri araştırılmıştır. Plaxis ve Geostudio (2012) bilgisayar programlarından

faydalanmışlardır. LD yöntemi ile de elde edilen sonuçlar SE yöntemi ile elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. Yapılmış olan bu kıyas sonucu 3B durumda elde edilen güvenlik sayısının 2B durumda elde edilen güvenlik sayısından daha büyük olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca dayanım azaltma yöntemi ve LD yöntemleri ile elde edilen güvenlik sayılarının birbirleriyle uyumlu oldukları sonucuna da varmışlardır.

3.MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Giriş

Bu bölümde şevlerin duraylılığı hakkında bilgi verilmiş olup sonlu elemanlar yöntemi, sonlu elamanlar analiz yazılımları ile insansız hava aracı (İHA-Drone) ve dayanım azaltma yöntemi hakkında bilgi verilmiştir.

3.2. Şevlerin Duraylılığı

Yatay zeminle açı yapan zemin kütlesi şev olarak isimlendirilebilir. Heyelan gibi doğa olaylarının geçmişten günümüze insan yaşamı üzerinde meydana getirdiği can ve mal kayıplarının yadsınamaz bir düzeyde olması, geçmişten beri geoteknik mühendisliği açısından bu konuyu üzerinde durulması gereken bir duruma getirmiştir. Şev analizleri ile ilgili risk sadece yüksek şev değerlerinde söz konusu olmamaktadır. Skredkommissionen (1995)' e göre genellikle, herhangi bir değişiklik yapısına sahip olmayan doğal şevler için sadece 1:10'dan daha büyük şev arazi kayması riski altında kabul edilmektedir. Bu durum gerek doğal ve gerek yapay olsun her durumdaki şev için analizleri kaçınılmaz kılmaktadır. Çünkü olası şev duraysızlık durumları deprem, taşkın gibi doğa olaylarında olduğu gibi zaman zaman can ve mal kayıplarıyla insan yaşamı üzerinde kötü etkiler bırakmaktadır.

Şev duraysızlıklarında şevde uzun vadede veya kısa vadede meydana gelen kuvvet denge kayıpları şeklinde olmaktadır. Bu etkilerden uzun vadede etkili olan etkiler Springman (2002) tarafından, şevin mevcut durumunda değişiklik, jeolojisi, gerilme geçmişi, eski tektonik hareketlere bağlı kayma yüzeyleri, ayrışmaya bağlı oluşumlar, erozyon etkileri, zeminlerin şişme özellikleri gibi etkiler şeklinde sıralanmıştır. Kısa vade etkileri ise, sızıntı sularına bağlı olarak yer altı sularında meydana gelen değişimler, dış yük veya deprem yükleri, ani yağışlara bağlı olarak meydana gelen doygun hallere bağlı olmaktadır.

3.3. Şev Duraylılık Yöntemleri

Yapılan şev analizlerinde stabilite riskini değerlendirmek için bir güvenlik katsayısı kullanılır. Bu durum da genel manada elastik teoriye dayalı LD yöntemi ile şeve uygulanan tüm yüklerin (kendi ağırlığı dâhil) etkisi altındaki göçmeye karşı duraylılıkları tespit edilmeye çalışılır. Bunun için temeli buna dayalı birden fazla yöntem kullanılmaktadır. İsveç Dilim, Spencer, Bishop, Janbu, Morgenstern ve Price, vb. metodlar bunlar arasında sayılabilmektedir.

3.3.1. İsveç Dilim Yöntemi (ø=0)

Şev stabilite analiz yöntemleri geçmişten beri kullanılmaktadır. İlk olarak hem homojen hem de homojen olmayan şevler için kısa vadedeki stabiliteyi silindirik bir bloğun kendi merkezi etrafında dönme ve sürtünme açısının sıfır olacağı varsayımına dayanarak en kısa dairesel kararlılığı analiz etmek için kullanılmıştır. İsveç Demir yollarınca oluşturulan Geoteknik Komisyonu tarafından geliştirilip halen kullanılarak şev hareketlerinin bir kayma yüzeyi üzerinde oluştuğuna dayalı İsveç Kayma Dairesi metodu (Jarnvagers, 1922) olarak bilinen yöntem şev stabilitesi analizleri arasında ilk olarak bilinmektedir. Bu yöntem Fellenius (1927, 1936) tarafından geliştirilerek Basitleştirilmiş Dilim Yöntemi (Fellenius Yöntemi) oluşturulmuştur. Bu yöntemde düşey dilimlere ayrılan her bir kayma dairesi için ayrı ayrı duraylılık hesapları yapılarak şevin duraylılığı tespit edilmeye çalışılmaktadır. Fellenius (1927) her dilimin sağ ve sol taraflarındaki dilimlerlerle arasında olan normal gerilme ve kayma gerilmelerini göz ardı etmektedir. Bu durum bu yöntemle hesaplanan güvenlik sayılarının daha düşük çıkmasına sebep olmaktadır. Bu yöntemde güvenlik faktörü, daire yüzeyinin merkezine ilişkin toplam momentlerin toplanması şeklinde hesaplanabilir:

F= Karşı koymaya çalışan kuvvetler/Devirmeye çalışan kuvvetler

$$F = \frac{\mathrm{CuLR}}{\mathrm{Wx}} \tag{3.1}$$

Burada;

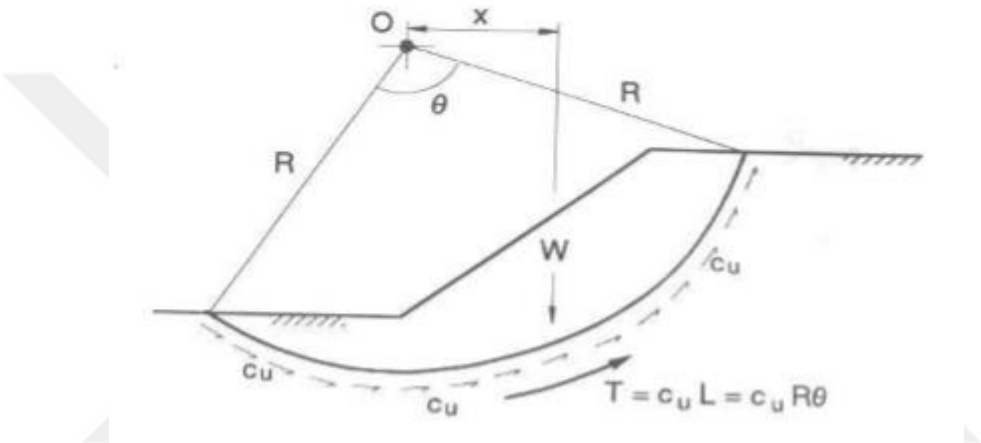
Cu: drenajsız kesme kuvveti,

L: Dairesel yay uzunluğu,

R:Dairesel yüzeyin yarıçapı,

W:Dairesel kayma yüzeyi üzerindeki zemin kütlesi,

X:Zemin kütlesinin ağırlık merkezi ile daire merkezi O arasındaki yatay mesafeyi temsil etmektedir.



Şekil 3.1. İsveç Dilim Metodu (Abramson ve ark., 1996)

Bu metod, normal gerilmelerin çemberin merkezi boyunca hareket ettiğini ve kesme gerilmelerinin çemberin merkezine aynı mesafede hareket ettiğini varsayarak moment dengesine göre statik olarak belirleyici bir çözüme ulaşmaya çalışır. Bu nedenle moment kolları sabit ve çözümlerinden bağımsız olmaktadır. Bu yöntemde kayma yüzeyinin etrafında hareket ettirilmemiş olan kayma mukavemetinin gerilme seviyesinden bağımsız olduğu varsayılmaktadır. Etkili bir kuvvet analizinde kayma yüzeyindeki kayma mukavemeti Mohr-Coulomb başarısızlık kriteri ile etkili normal kuvvete bağlıdır. Bu nedenle normal yüzey geriliminin bozulma yüzeyi etrafındaki değişiminin belirlenmesi gerekmektedir. Bu başarısızlık kütlesinin birtakım dilimlere bölünmesi ile aşağıdaki yöntemler elde edilir.

3.3.1.1 Dilim Yöntemi

Dilim yönteminde, kayma yüzeyinin üzerindeki zemin kütlesi bir dizi düşey dilime bölünür ve bu dilimlerin her birinin dengesi dikkate alınır. Dilimlerin gerçek sayısı şev geometrisine ve zemin profiline bağlıdır. Ancak kütleyi bir dizi düşey dilime ayırmak sorunu statik olarak belirleyemez. Dilimleme yöntemini kullanarak güvenlik faktörünü elde ederken fazla bilinmeyenleri ortadan kaldırmak için varsayımlar yapmak gerekir. Bu varsayımlar yöntemleri ayırt etmede önemli rol üstlenirler. Çoğu bilgisayar programında şev geometrileri, değişken zemin ile su koşulları ve dış sınır yüklerin etkisi gibi karmaşık işlemler yapılabildiği için dilimleme yöntemi kullanılmaktadır. Bu nedenle şev stabilite analizinde en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntemlerden popüler ve çok kullanılanları aşağıda açıklanmaktadır. Tüm bu yöntemlerdeki denklem ifadeleri (Albataineh,2006) çalışmasından alınmıştır.

3.3.1.2. Sıradan Dilim Yöntemi

Kullanılan yöntemler arasında en basiti olan bu yönteme "Fellenius Yöntemi" veya "İsveç Çemberi" de denilmektedir. Bu yöntem herhangi bir dilim üzerinde hareket ederek kesişen kuvvetlerin ortaya çıkan maddenin tabanına paralel olduğunu varsayar. Bu nedenle kesişen kuvvetler ihmal edilmektedir (Fellenius, 1936). Bu yöntemde sadece moment dengesi yeterlidir. Bu bakımdan bu yöntemle hesaplanan güvenlik faktörleri tipik olarak güvenli tarafta kalmaktadır. Yassı şevler ve / veya yüksek boşluk basınçlarına sahip şevler için hesaplanan güvenlik faktörleri, daha kesin çözümlerden elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında, %60'a kadar güvenli olabilmektedir (Whitman ve Baily, 1967). Bu sebepten dolayı bu yöntem çok fazla tercih edilmektedir.

Aşağıdaki Şekil 3.2'de gösterilen dilim için Mohr-Coulomb arıza kriteri:

$$s=c'+(\sigma-u)\tan\phi' \qquad (3.2)$$

burada; σ toplam normal kuvvet, u boşluk basıncıdır, c' etkili kohezyon kuvveti, ϕ' etkili sürtünme açısıdır ve s kesme gerilmesidir.

Bir güvenlik faktörü kullanılması (F): τ = s / F, P = σ.l ve T = τ. L durumunda denklem şöyle olacaktır:

$$T = \frac{1}{F}(c'l+(p-u)\tan \phi' \quad (3.3)$$

Kesişen kuvvetleri ihmal etmeden, dilimin tabanındaki normal kuvvet şu şekilde ifade edilebilir:

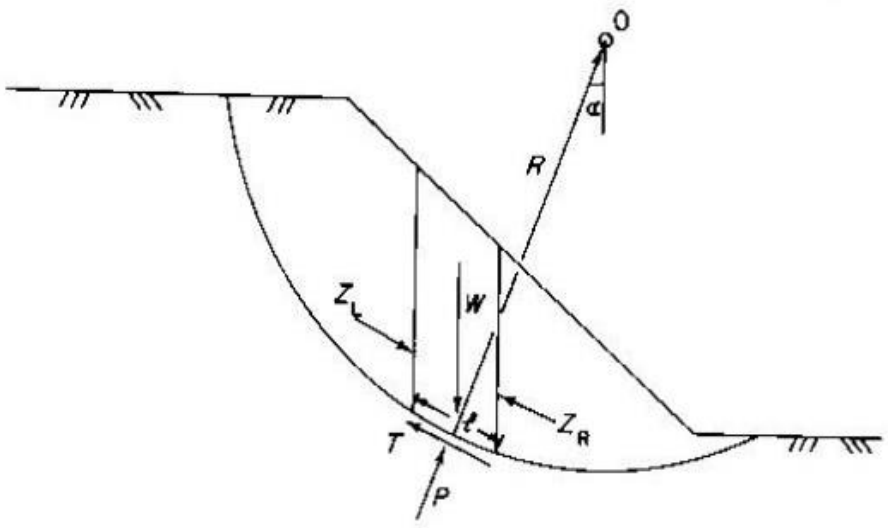
$$P=W \cos \alpha \quad (3.4)$$

Burada, W dilimin ağırlığıdır ve α dilimin tabanının teğetiyle yatay arasındaki açıdır. Güvenlik faktörü, ortak bir nokta olan O etrafındaki momentlerin toplamından türetilir ve şöyle ifade edilir:

$$\sum WR \sin \alpha = \sum TR \quad (3.5)$$

böylelikle;

$$F = \frac{\sum(c'l+(W\cos\alpha - ul)\tan\phi'}{\sum W\sin\alpha} \quad (3.6)$$



Şekil 3.2. Sıradan dilim yöntemi (Anderson ve Richards, 1987)

3.3.1.3. Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi

Basitleştirilmiş Bishop yöntemi, zemin kütlesinin güvenlik faktörünü bulmak için dilim yöntemini kullanır. Bu yöntemde birkaç varsayım yapılmıştır. Bunlar:

a) Stabilite kaybının Şekil 3.3 'te gösterildiği gibi ortak bir nokta üzerinde merkezlenmiş dairesel bir kayma yüzeyinde bir zemin kütlesinin döndürülmesiyle gerçekleştiği varsayılır. Bu nedenle sürtünme merkezi kullanılmadıkça dairesel olmayan yüzeylerde güvenlik faktörünü hesaplamak için Bishop yöntemi kullanılmamalıdır. (Anderson ve Richards, 1987).
b) Dilimin kenarlarındaki kuvvetlerin yatay olduğu varsayılır ve böylece dilimler arasında kesme gerilmelerinin olmadığı varsayılır (Bishop, 1955).
c) Toplam normal kuvvetin, her dilimin tabanının merkezinde hareket ettiği varsayılır ve toplayıcı kuvvetler tarafından dikey yönde türetilir.

$$F = \frac{[W - 1/F(c'lsina - ultan\phi' sina}{\text{ma}} \tag{3.7}$$

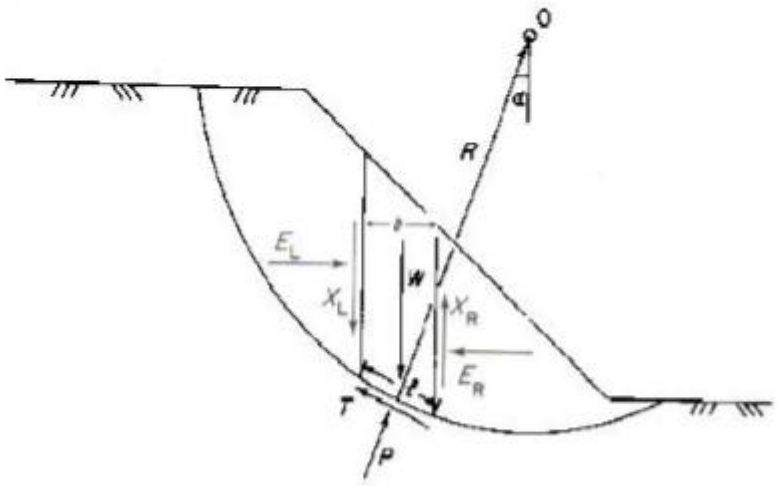
Buradaki ifade;

$$\text{m}_a = cosa + \frac{(sinatan\phi'}{F} \tag{3.8}$$

Çemberin merkezi ile ilgili momentler ile güvenlik faktörü:

$$F = \frac{\sum[\frac{[(c'lcosa + (W - ulcosa)tan\phi'}{\text{cosa} + (\text{sina}tan\phi')/F}]}{\sum W sin\alpha} \tag{3.9}$$

Bu denklem her iki tarafta da F'yi içerdiğinden, iteratif olarak çözülmelidir. Yakınsama genellikle hızlıdır ve bu nedenle yöntem el hesaplaması için daha uygun olmaktadır (Bishop, 1955).



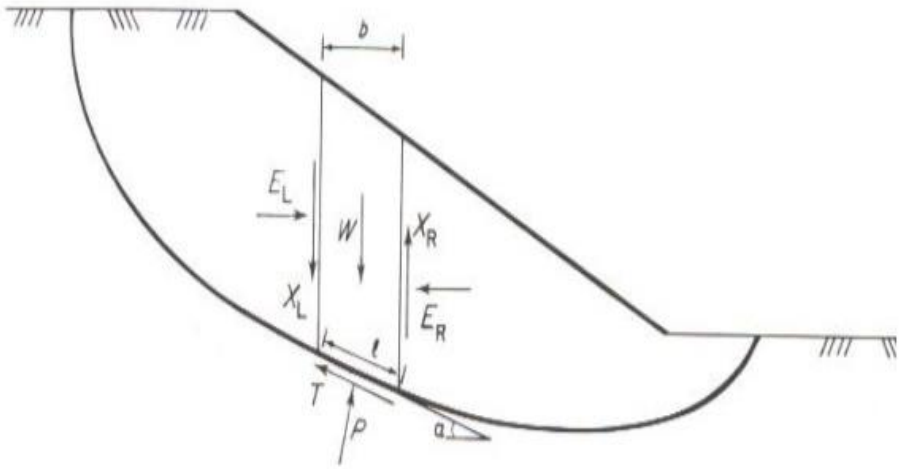
Şekil 3.3. Bishop'un basitleştirilmiş dilimleme yöntemi (Anderson ve Richards, 1987)

Basitleştirilmiş Bishop yöntemi tam olarak statik dengeyi karşılamamasına rağmen prosedür güvenlik faktörü için nispeten doğru değerler verir. Bishop (1955), Basitleştirilmiş Piskopos Yönteminin, özellikle yüksek boşluk suyu basıncıyla etkili gerilme analizi için Sıradan Dilim Metodundan daha doğru olduğunu göstermiştir. Ayrıca Wright ve arkadaşları (1973), Basitleştirilmiş Piskopos metodu ile hesaplanan güvenlik faktörünün, SE prosedürleri kullanılarak hesaplanan güvenlik faktörü ile uygun olduğunu göstermişlerdir. Basitleştirilmiş Bishop yönteminin ilk sınırlaması dairesel kayma yüzeyiyle sınırlı olmasıdır.

3.3.1.4. Janbu'nun Basitleştirilmiş Yöntemi

Janbu'nun basitleştirilmiş yöntemi (1956), Şekil 3.4'te gösterildiği gibi dairesel olmayan kayma yüzeylerine uygulanabilir. Bu yöntemde, kesişen kuvvetlerin yatay olduğu ve dolayısıyla kesme kuvvetlerinin sıfır olduğu varsayılmaktadır. Bu nedenle, her dilimin tabanındaki toplam normal kuvvet için elde edilen ifade Bishop'un yöntemi (1955) tarafından elde edilenle aynı olmaktadır:

$$P = \frac{[W - 1/F(c'lsina - ultan\phi' sina}{\text{ma}} \tag{3.10}$$



Şekil 3.4. Janbu'nun basitleştirilmiş yöntemi (Anderson ve Richards, 1987)

Genel yatay kuvvet dengesini inceleyerek güvenlik faktörü Fo' ın bir değeri elde edilir:

$$Fo = \frac{\sum(c'l+(P-ul)tan\phi')seca}{\sum Wtana} \quad (3.11)$$

Kesişen kesme kuvvetlerini hesaba katmak için Janbu ve ark. (1956), Şekil 3.5'te gösterilen düzeltme faktörünü fo önermişlerdir:
Burada;

$$F=fo.Fo \quad (3.12)$$

Bu düzeltme faktörü, kayma geometrisinin ve zeminin mukavemet parametrelerinin bir fonksiyonudur.

Düzeltme faktörü, aynı şevler için hem basitleştirilmiş hem de titiz yöntemler kullanılarak bir dizi şev stabilite hesaplamasına dayanarak Janbu tarafından sunulmuştur. Uygunluk açısından, bu düzeltme faktörü aşağıdaki formüle göre de hesaplanabilir (Abramson ve ark., 1996):

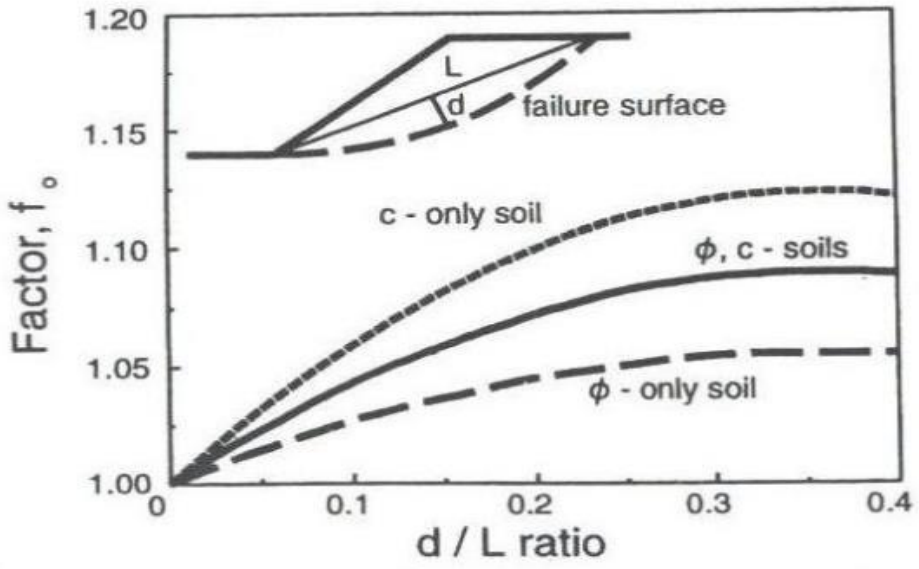
$$fo = 1 + b1[\left(\frac{d}{l}\right) - 1.4\left(\frac{d}{l}\right)^2] \quad (3.13)$$

Burada b1, zemin tipine göre değişmekte olup:

Ø = 0 zeminler: b1 = 0.69

C = 0 zeminler: b1 = 0.31

C>0, Ø>0 zeminler: b1 = 0.5



Şekil 3.5. Basitleştirilmiş yöntem için Janbu'nun düzeltme faktörü (Abramson ve diğ., 1996)

3.3.1.5. Janbu'nun Genelleştirilmiş Dilim Prosedürü

Janbu'nun genelleştirilmiş dilimleme yöntemi (1957, 1973), dikey dilimler ve herhangi bir şekil için kayma yüzeyini kullanan yinelemeli bir prosedürden oluşmaktadır. Prosedür, titiz haliyle dikey ve yatay kuvvet dengesini dilimlerin moment dengesini ve tüm heyelan kütlesinin moment dengesini ancak son dilimi içerecek şekilde tüm denge koşullarını karşılar.

Genel kuvvet dengesini göz önüne alarak, güvenlik faktörü F_f için bir ifade elde edilir (Anderson ve Richards, 1987):

$$T = \frac{1}{F}(c'l+(P-ul)\tan \phi') \quad (3.14)$$

Denklem dikey olarak çözülerek:

$$Pcosa+Tsina=W-(X_R-X_L) \quad (3.15)$$

T yerine:

$$P = \frac{[W-(Xr-Xl)-(\frac{1}{F})(c'lsina-ultan\phi'sina}{\text{ma}} \quad (3.16)$$

Dilimin tabanına paralel olarak çözümleme yapılırsa:

$$T+(E_R-E_L)\cos a=(W-(X_R-X_L \sin a \quad (3.17)$$

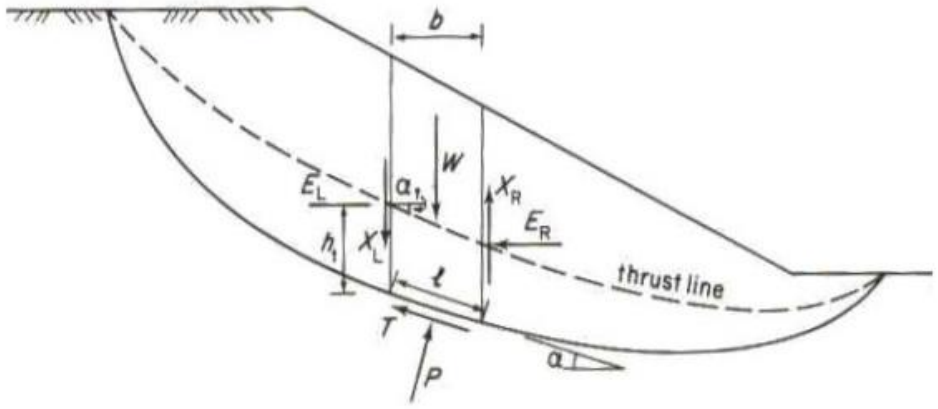
T için yeniden düzenleme ve değiştirme ile yüzey yüklemesinin yokluğunu göz önünde bulundurarak:

$$\sum(Er-El)=\sum\big(W-(Er-El)\big)tana-(1/Ff)\sum(c'l+(P-ul)tan\phi')seca=0 \quad (3.18)$$

Böylelikle;

$$Ff=\frac{\sum(c'l+(P-ul)tan\phi')seca}{\sum(W-(Xr-Xl))tana} \quad (3.19)$$

olur.



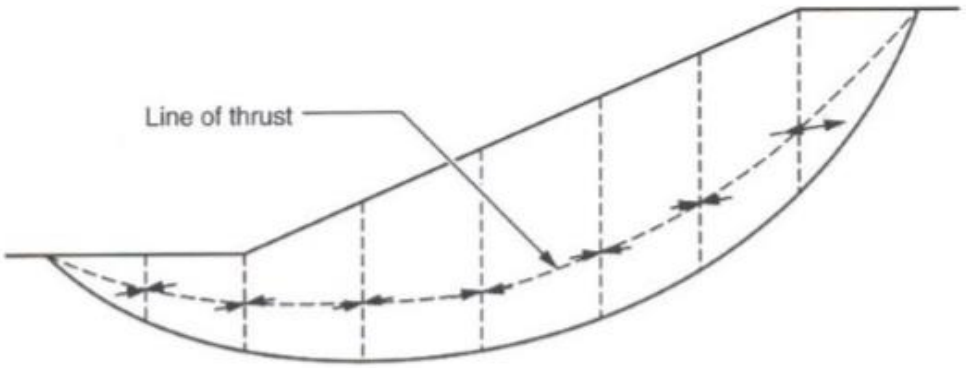
Şekil 3.6. Janbu'nun genelleştirilmiş prosedürü (Anderson ve Richards, 1987)

Kesişen kuvvetler, Şekil 3.6'da görüldüğü gibi her dilimin tabanının merkezi ile ilgili andaki denge durumu göz önüne alınarak hesaplanır. Bu Janbu için (1973) Şekil 3.7' de gösterildiği gibi kesişen kuvvetlerin itme çizgisinin bir pozisyonunu üstlenerek kesişen güçlerin hareket ettiği noktaları, hayali bir çizgiyi, problemi statik olarak belirlemek ve genel moment dengesinin örtük olarak sağlandığını ortaya koymaktadır.

$$E_{Rbtanat}\text{-}X_{Rb}\text{-}(E_R\text{-}E_L)ht=0 \text{ ise } XR=E_{Rtanat}\text{-}(E_R\text{-}E_L)\frac{ht}{b} \quad (3.20)$$

Burada, kayma yüzeyinin üzerindeki itme çizgisinin yüksekliği ve ht, yataydan ölçülen bir açı olup itme çizgisinin eğimini temsil eder.

Güvenlik faktörünü çözmek için, önce kesme kuvvetleri (XR-XL) sıfır kabul edilebilir. Daha sonra yukarıdaki denklemlere dayanarak E ve X değerleri hesaplanır. Ardından emniyet faktörü bu şekilde hesaplanmış kesişen kuvvet değerleri ile yeniden hesaplanır ve F'nin ardışık değerleri hemen hemen aynı olduğunda iterasyonlar durdurulur. Böylece hem genel kuvvet dengesi hem de moment dengeleri karşılanmış olur.



Şekil 3.7. Dilim üzerindeki kesişen kuvvetlerin yerlerini açıklayan itme çizgisi (Duncan ve Wright, 2005)

3.3.1.6. Spencer Yöntemi

Spencer yöntemi, esas olarak dairesel kayma yüzeylerinin analizi için sunulmuş ancak sürtünmeli bir dönme merkezini benimseyerek dairesel olmayan kayma yüzeyleri içinde kolayca genişletilebilmiştir. Bu metot, kesişen kuvvetlerin paralel olması ve aynı eğime sahip oldukları varsayımına dayanmaktadır:

$$\tan\theta=\frac{Xl}{El}=\frac{Xr}{Er} \quad (3.21)$$

burada ɵ yataydan gelen kesişen kuvvetin açısıdır.

Spencer (1967), dilimin tabanındaki normal kuvvetin türetilmesi için kesişen kuvvetlere dik olan güçleri toplayarak:

$$P = \frac{[W-(Er-El)tan\theta-(\frac{1}{F})(c'lsina-ultan\phi'sina}{\text{ma}} \quad (3.22)$$

burada;

$$\text{m}_a=cosa(1+tana\frac{tan\phi'}{F}) \quad (3.23)$$

genel kuvvet dengesini ve genel momenti dikkate alarak, güvenlik faktörü F_f ve Fm'nin iki değeri elde edilir. Bunun nedeni toplam 2n-1 varsayımlarının yapılmasıdır.

Güvenlik faktörü (Fm), ortak bir nokta (O) için genel moment dengesine dayanarak türetilebilir:

$$\sum WRsina=\sum TR \quad (3.24)$$

$$T = \frac{1}{F}(\text{c'l+(P-ul)tan } \phi') \quad (3.25)$$

Böylece,

$$Fm = \frac{\sum(c'l+(P-ul)tan\phi')}{\sum Wsina} \quad (3.26)$$

Güvenlik faktörü (F_f), genel kuvvet dengesine dayanarak şu şekilde türetilebilir:

$$\sum Fh=0$$

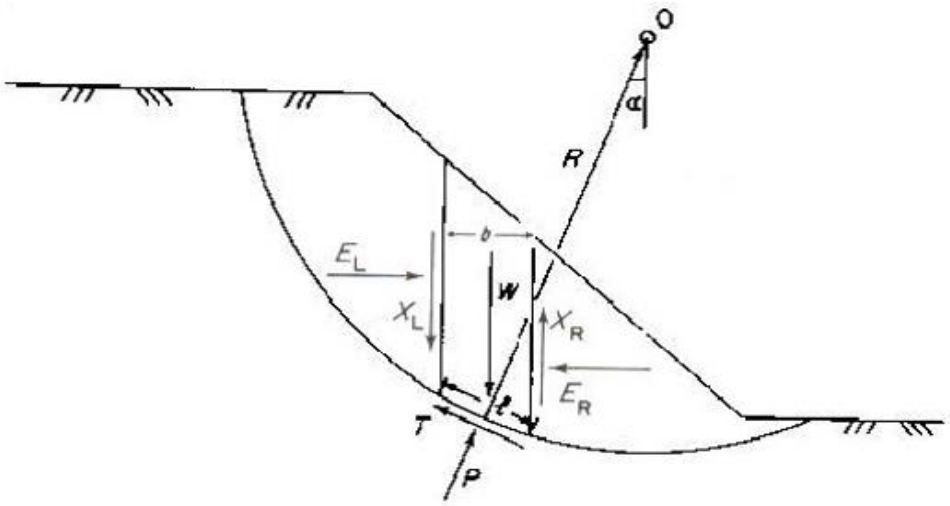
$$\text{Tcosa-Psina+E}_R\text{-E}_L=0 \quad (3.27)$$

T için yeniden düzenleme ve değiştirme yapılırsa:

$$\sum(Er-El)=Psina-\frac{1}{Ff}\sum(c'l+(P-ul)tan\phi')cosa=0 \quad (3.28)$$

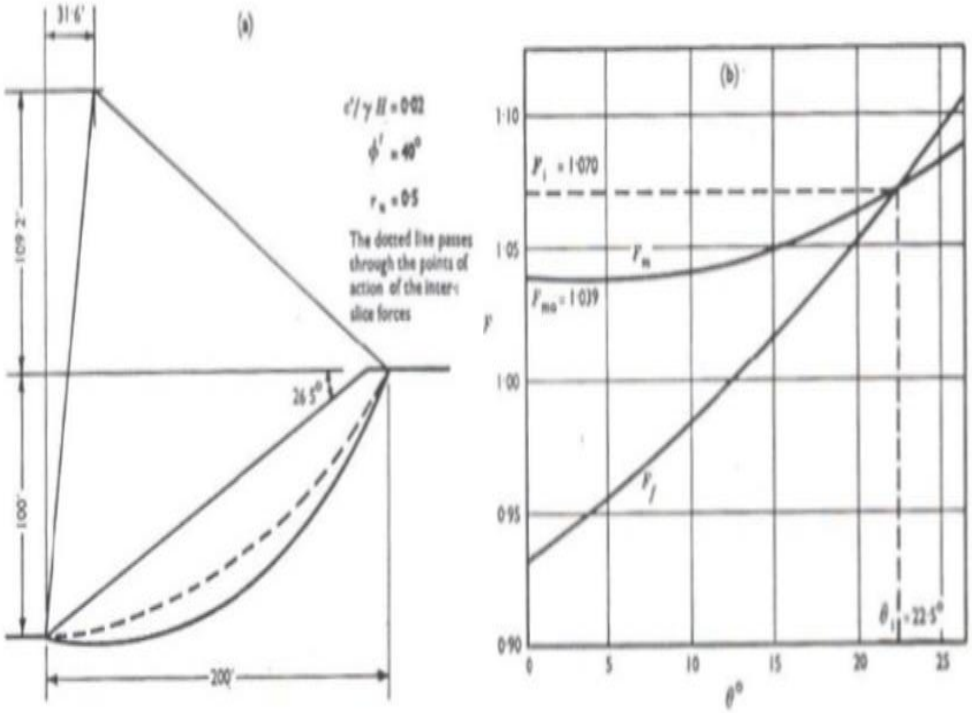
Spencer'ın varsayımını kullanarak şev eğimi boyunca $\frac{X}{E}$= tanθ=constant sabitini ve $\sum(Xr-Xl)$=0 yüzey yükü yokluğunda:

$$Ff = \frac{\sum(c'l+(P-ul)tan\phi')seca}{\sum W-(Xr-Xl))tana} \quad (3.29)$$



Şekil 3.8. Spencer'ın yöntemi (Anderson ve Richards, 1987)

Eşitliği çözmek için deneme ve hata prosedürü yolu kullanılır. Ancak Spencer, Şekil 3.9' da gösterildiği gibi tipik bir problem için Ff ve Fm arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Kesişen kuvvetlerin bir açısında iki emniyet faktörü eşit olup böylelikle hem moment hem de kuvvet dengesi sağlanmış olmaktadır.



Şekil 3.9. Fm ve Ff ile birlikte değişimi (Spencer, 1967)

3.3.1.7.Morgenstern ve Price Yöntemi

Morgenstern ve Price (1965) tarafından geliştirilen bu yöntem, normal ve teğetsel dengeleri dikkate almamış aynı zamanda dairesel ve dairesel olmayan kaygan yüzeylerde her bir dilim için moment dengesini de dikkate almıştır. Bu yöntemde kesişen kesme kuvvetleri (X) ile kesişen normal kuvvetler (E) arasındaki ilişki ile ilgili olarak basitleştirici bir varsayım yapılır:

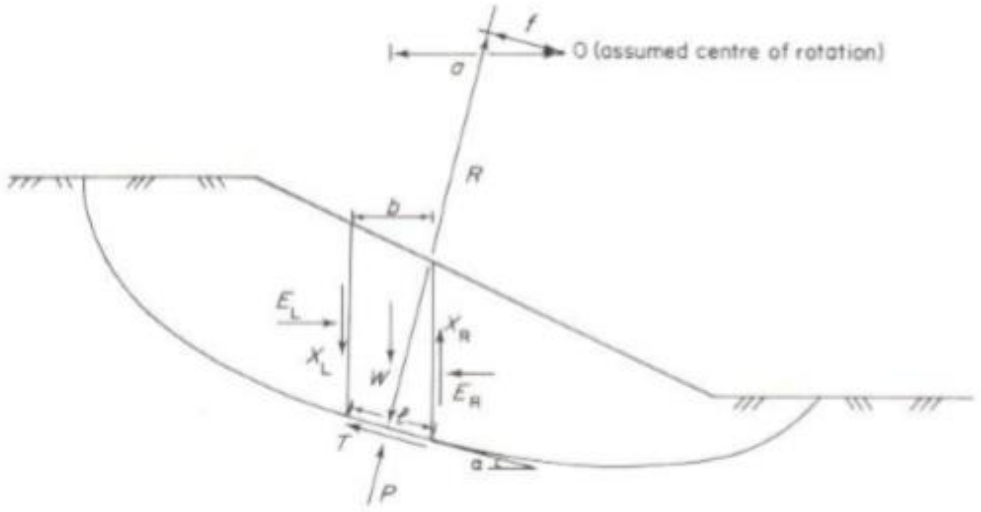
$$X=\lambda.f(x).E \tag{3.30}$$

Burada *f* (x), kayma boyunca sürekli olarak değişen ve varsayılan bir işlevdir. λ ise bilinmeyenlerin bir parçası olarak çözülen bilinmeyen bir ölçeklendirme faktörüdür.

Morgenstern ve Price yönteminde çözülen bilinmeyenler; güvenlik faktörü (F), ölçekleme faktörü (λ), dilimin (P) tabanındaki normal kuvvetler, yatay kesişen kuvvet (E) ve kesişen kuvvetlerin yeri (itme çizgisi) şeklindedir. Yukarıdaki bilinmeyenler denge denklemleri kullanılarak hesaplandığında kesişen kuvvetler (X) üzerindeki dikey bileşen denklem 3.30'dan hesaplanır.

Morgenstern-Price yöntemi için alternatif bir türev Fredlund ve Krahn (1977) tarafından önerilmiştir. Hemen hemen aynı sonuçların Morgenstern ile birlikte denge denklemlerinin genel denklemleri ve kesişen kesme kuvvetleri hakkında Price varsayımı kullanılarak elde edilebileceğini göstermişlerdir (denklem 3.30). Çözüm, aynı statik elementleri karşılar fakat türev diğer dilimler yönteminde kullanılanlarla daha tutarlıdır.

Fredlund ve Krahn'a (1977) göre normal kuvvet, Şekil 3.10'da gösterildiği gibi dikey kuvvet denge denkleminden elde edilir:



Şekil 3.10. Genel Dilim Yöntemi (Fredlund ve Krahn, 1977)

$$P = \frac{[W-(Xr-Xl)-(\frac{1}{F})(c'lsina-ultan\phi'sina}{\text{ma}} \quad (3.31)$$

Biri moment dengesi (Fm) ve diğeri kuvvet dengesi (Ff) ile ilgili olarak iki faktör güvenlik denklemi hesaplanır. Moment denge denklemi aşağıdaki gibi ortak bir noktaya göre alınır:

$$Fm = \frac{\sum[c'l+(P-ul)tan\phi']R}{\sum Wd-Pf} \quad (3.32)$$

Dairesel kayma yüzeyleri için: f = 0, d = Rsin$a$ ve R = sabit;

$$Fm = \frac{\sum[c'l+(P-ul)tan\phi']}{\sum Wsina} \quad (3.33)$$

Kuvvet dengesine göre güvenlik faktörü:

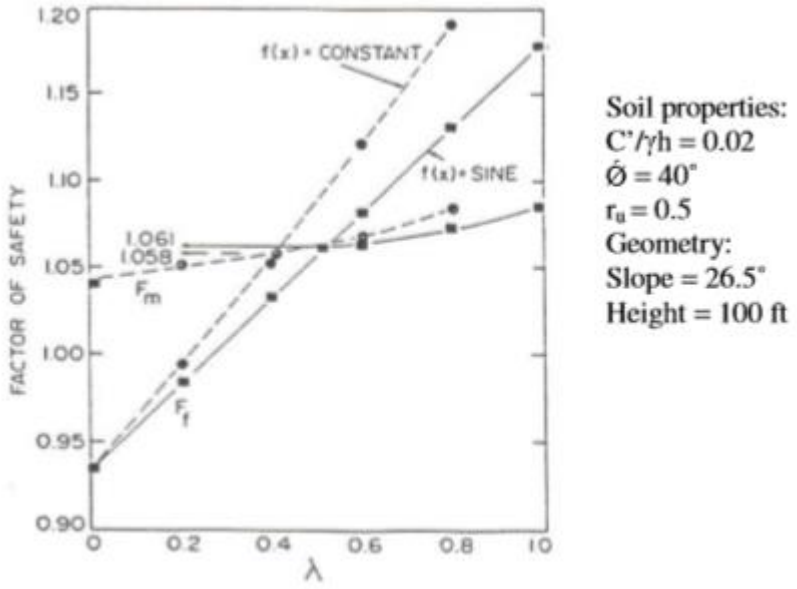
$$Ff = \frac{\sum[c'l+(P-ul)tan\phi']cosa}{\sum Psina} \quad (3.34)$$

İlk iterasyonda, dikey kesme kuvvetleri (X_L ve X_R) sıfıra ayarlanır. Daha sonraki iterasyonlarda yatay kesişen kuvvetler ilk önce aşağıdaki denklemlerden hesaplanır:

$$\sum(Er - El) = Psina - \frac{1}{F}\sum(c'l + (P - ul)tan\phi')cosa = 0 \qquad (3.35)$$

Daha sonra dikey kesme kuvvetleri varsayılan bir değer ve f (x) kullanılarak hesaplanır.

XL ve XR belirlendikten sonra her dilimin tabanındaki normal kuvvet (P) hesaplanır ve Fm = Ff değeri, Şekil 3.11'de gösterildiği gibi yinelemeli olarak bulunabilir.



Şekil 3.11. Morgenstern-Price metodu için moment ve kuvvet dengesizliğine karşı güvenlik faktörünün değişimi (Fredlund ve Krahn, 1977)

3.3.1.8. Sarma Yöntemi

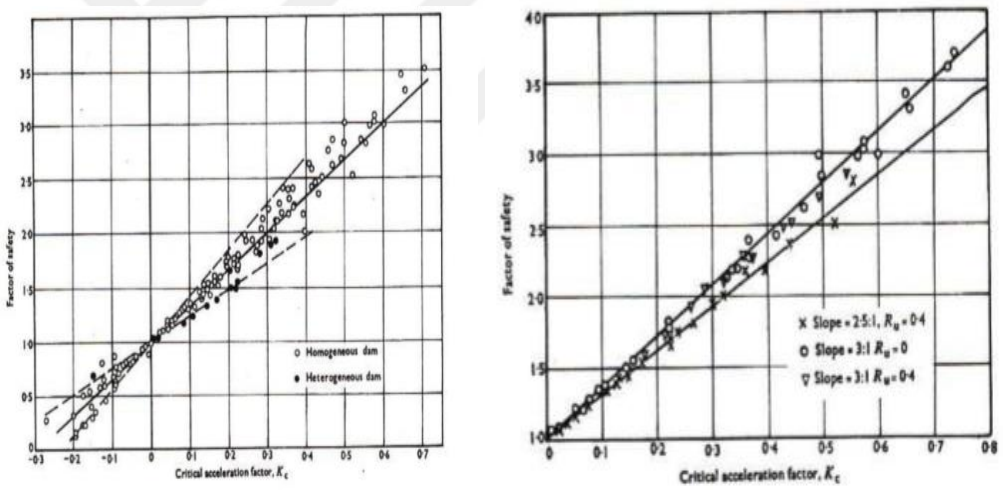
Sarma yöntemi (1973), bir şev için güvenlik faktörünün belirlenmesinde farklı bir yaklaşım sunar. Çünkü o sismik katsayının (kc) bilinmeyeceğini düşünür ve güvenlik faktörünün ise bilindiğini düşünür. Genellikle güvenlik faktörü için bir değer kabul edilir ve bu güvenlik faktörünü üretmek için gerekli olan sismik katsayı bilinmeyen olarak çözülür. Bu katsayı, kaymaya sebep olması gereken sismik katsayıyı temsil eder.

Sarma yöntemi, başarısızlık yüzeyinin üzerindeki malzemeye yatay bir ivmelenme (yerçekimi sabitinin bir kısmı olarak) uygulayarak sonuç olarak ortaya çıkan güvenlik faktörünü hesaplayarak şev stabilitesini belirler.

Bu yöntem, sismik yükleme nedeniyle toprak barajlarının deformasyonunu tahmin etmek için Mühendisler Birlikleri için yapılan araştırmanın bir parçası olarak Sarma tarafından geliştirilmiştir. Sarma, sismik bir olay sırasında bir kütle zemininin hareketsiz kalmasından dolayı kütlenin güvenlik faktörünün 1.0 olduğu, yani kütlenin nerede olduğu noktasında ivmelenmeden geçmesi gerektiği sonucuna varması nedeniyle araştırmayı güvenlik faktörlerini hesaplamak için genişleterek dengeyi sınırlandırmıştır. Sarma ve Bhave (1974), analiz sonucunda, Şekil 3.12'de gösterildiği gibi kritik hızlanma ve statik güvenlik faktörü arasında lineer bir ilişkinin bulunduğunu ve F'nin başlangıç değerini F:

$$F=1+3.33K_c \tag{3.36}$$

olarak elde etmişlerdir.



Şekil 3.12. Sarma'nın Yönteminde Kc ve güvenlik faktörü arasındaki ilişki (Sarma ve Bhave, 1974)

Sarma'nın yönteminde, dilimler arasındaki kesme kuvveti, ilişkinin kesme dayanımı ile ilgilidir:

$$X=\lambda f(x)Sv \tag{3.37}$$

Burada Sv, dilim sınırında kullanılabilir kesme kuvveti, λ bilinmeyen bir ölçeklendirme parametresidir ve f (x) her dikey dilim sınırında belirtilen değerlere sahip varsayılan bir işlevdir. Kesme kuvveti Sv, dilim sınırı boyunca zemin için

kayma mukavemeti parametrelerine ve normal (yatay) kesişme kuvveti, E üzerindeki sürtünme malzemelerine (ø, ø ’> 0) bağlıdır (Duncan ve Wright, 2005).

Sarma yönteminde sismik katsayı ve diğer bilinmeyenler doğrudan hesaplanabilir. Yinelemeli, deneme-yanılma prosedürü gerekli değildir. Güvenlik faktörü, kısıtlayıcı bir denge durumu oluşturmak için malzemenin mukavemetinin azaltılması gereken faktör olarak tanımlanır. Yani, iten güçlerin direnen güçlere eşit olduğu güç. Bu faktör mühendislik özelliklerinin bir dizi deneme ve hata indirgemesi yolu ile elde edilmiş ve 1.0'lık bir güvenlik faktörünü temsil eden bir (kc) 0,0 değerine ulaşmıştır. Sarma analiz metodu, normal olarak karmaşık bir başarısızlık yüzeyine dikey olmayan dilimlere hataların dâhil edilmesine ya da dilim sınırları üzerindeki normal kuvvetlerin kritik olması muhtemel olan karmaşık şev stabilite problemleri için kullanılır.

Söz konusu metodlarda tahmin edilen bir kritik kayma yüzeyi boyunca kayma kütlesinin dengesi bulunmaya çalışılmaktadır. Tüm bu yöntemlerde kayma yüzeyinin istenilen ölçüde düşey dilimlere ayrılması ortak özelliklerini oluşturduğu gibi söz konusu dilimlere etkiyen kuvvetlerde yapılan varsayımlar ise aralarındaki temel farkı ortaya koymaktadır.

3.4. İnsansız Hava Araçları (İHA)

Daha çok askeri alanlarda kullanılan İHA’lara olan ihtiyaç gün geçtikçe artmış durumdadır. Bu araçlar uzaktan kumanda aracılıklarıyla kontrolleri mümkün olup insan gereksinimi olmadan uçabilme özelliklerine sahiptirler. Sınır güvenliği, orman yangınlarının önlenmesi, doğal kaynakların araştırılması, iletişim ve haberleşme ile beraber havadan video ve fotoğraf alınması gibi pek çok alanda kullanımları söz konusu olmaktadır. Döner kanat tipli İHA’lar; kamera, güç sistemi, sensörler, hız denetleyicileri gibi çeşitli donanımlardan oluşmaktadırlar. Robotlara olan ilginin giderek artmasıyla beraber bu araçların insan yaşamında kullanımı çoğu kolaylığı beraberinde getirmektedir. Genellikle tehlikeli ve zorlu olan endüstriyel alanlarda insan gücü yerine robotlar tercih edilmektedir. Günümüzde bu anlamda önem

kazanmış olan İHA' lar bir manada bu kapsama dâhil edilebilmektedir. Bu araçlarla üç eksenli hareketi elde edebilmek için sabit kanatlı olan uçaklar, kuş benzeri yapılar ya da tek rotorlu helikopterlerin kullanımı söz konusu olmaktadır. Dikey iniş kalkış yapabilme, düşük hızlarda uçuş yapabilme, havada durabilme, manevra kabiliyeti gibi özellikler döner kanat yapısı tipi araçları diğerlerine göre avantajlı konuma getirmektedir. Günümüzde İHA'lara yönelik yatırımlar sadece askeri alanlarla sınırlı kalmayıp arama kurtarma, tarım ve topoğrafya, doğalgaz ve petrol aramaları gibi değişik alanlarda da olmaktadır.

Dört rotorlu döner kanat İHA'lar üzerine çapraz bir şekilde yerleştirilmiş olan ve uç kısımlarında mevcut dört ya da daha fazla motor vasıtasıyla hareketi sağlanan İHA'dır. Bu araç ön, arka, sağ ve sol taraflarında bulunan toplam dört ya da daha fazla motora sahip olup motorlara enerji verilmesi ile pervaneler hareket ederek kendi dönme eksenleri doğrultularında kaldırma kuvveti meydana getirirler. Sol ve sağda mevcut olan pervaneler saat yönünde dönme gerçekleştirirken ön ve arkadaki pervaneler ise saatin tersi yönde bir hareket meydana getirmektedir. Söz konusu pervanelerin hızları eşit olup merkezde toplam torkun dengelenmesi sağlanmaktadır. Böylelikle İHA'nın kendi ekseni etrafında dönme açısı olarak nitelendirilen yönelme açısının sabit kalmasını sağlamaktadır. (Erginer, 2007a). Sağ ve sol pervanelerdeki hızların farlı olduğu durumlarda kaldırma kuvvetlerinde meydana gelen farka bağlı olarak yalpalama açısı değişmektedir. Benzer durum ön ve arka pervaneler içinde söz konusu olmaktadır. Tüm pervanelerde aynı oranda arttırılan hıza bağlı olarak İHA z-ekseni doğrultusunda harekete maruz kalmaktadır. Farklı yönlerde hareket eden pervane hızlarının değiştirilmesi ise İHA'nın kendi ekseni etrafında dönmesini sağlar. (Erginer ve Altuğ, 2007).

Topoğrafik haritaların üretilmesi için genellikle hava fotogrametrisi ve uzaktan algılamadan faydalanılmaktadır. Fakat büyük yatırım bedeli gerektiren bu tür sistemlerin küçük alanlarda kullanımı ekonomik olmamaktadır. İHA'lar küçük alanlarda mekânsal verilerin elde edilmesi, esnek, hızlı olması gibi pek çok avantajlarından dolayı yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışma

kapsamında, İHA yardımıyla elde edilen görüntüler kullanılarak çalışma alanı olarak seçilen bölgenin Sayısal Yüzey Modeli (SYM) üretilmiştir.

İHA'lar, boş veya pilotsuz motorlu havasal araçlar olarak tanımlanmaktadır (Blyenburgh, 1999). Kontrol mekanizmaları uzaktan, yarı otomatik, otomatik veya bunlardan birkaç tanesinin bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Fiziksel manada pilotun bulunmaması İHA'ları diğer hava araçlarından farklı kılan en önemli özellik olarak görülmektedir. İHA'ların objeye yakın ve daha düşük seviyedeki uçuş imkânı geleneksel hava fotogrametrisinde faydalanılan uçaklardan önemli bir avantaj ortaya çıkarmaktadır. Objelerin bulutlu hava koşulları gibi durumlarda tespitlerinin sorun teşkil ettiği ve insanlı hava araçlarının kullanımının söz konusu olmadığı durumlarda İHA'lar veri çıkarımının yapılmasında tek alternatif yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

İHA yardımı ile hava fotoğrafı alımı ilk olarak 1955 yılında keşif uçuşu ile askeri amaçlı olarak yapılmıştır. (Newcome, 2004). 2000'li yıllardan itibaren kullanımı yaygınlaşmış, kullanılan sistem ve çeşitlerinde meydana gelen artışlarla beraber yetenekleri de artmış durumdadır. İHA'lardan elde edilen verilerin dijital kamera ve fotogrametrinin katkısı ile önemli ölçüde meydana getirdiği iyileştirmeler, bu verilerden üretilen kartografik verilerin kullanımını yaygınlaştırmıştır. Birçok amaç doğrultusu ve disiplinde İHA'ların kullanımı yaygın hale gelmiştir. Sabit kanatlı ve pervaneli İHA'lar araştırmacı gruplar tarafından; Niethammer ve ark., (2010), yüksek çözünürlüklü heyelan görüntülerinin elde edilmesi ve heyelanların izlenmesi, Manyoky ve ark.,(2011), kadastro çalışmalarındaki yeterliliği, Rau ve ark., (2011), heyelanların haritalanması, Maza ve ark., (2011), afet çalışmalarındaki senaryolarda kullanılması, Chikwanha ve ark., (2012), arama kurtarma operasyonlarının gerçekleştirilmesi, Wing ve ark., (2014), orman alanlarda yüzeylerin çıkarılması, Döner ve ark., (2014), haritalama çalışmalarında kullanılması, Akgül ve ark., (2016), yüksek hassasiyetli sayısal yükseklik modeli üretilmesi ve ormancılık alanlarında kullanılması çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan drone aleti Şekil 3.13'te görünmektedir.



Şekil 3.13. Çalışmada kullanılan drone aleti

3.5. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi bir diferansiyel veya integrali çözmek için kullanılan sayısal bir yöntemdir. Yönetimsel farklılığın bulunduğu bir dizi fiziksel problem için uygulanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemindeki ana düşünce çok karmaşık bir problemi basite indirgeyerek bir çözüm bulmaktır. Karmaşık problemin daha basite indirgenmiş olması nedeni ile kesin sonuç yerine yaklaşık bir sonuç elde edilmektedir. Ancak bu sonucun çözümü kesin sonuca çok yaklaşılması veya kesin sonuca ulaşılması ile mümkün olmaktadır. Elde bulunan matematiksel araçların kesin sonucu, hatta yaklaşık bir sonucu dahi bulmakta yetersiz kalması durumunda ise, SE metodu kullanılabilecek tek metod olmaktadır. Yapısal veya akışkan davranışı, termal taşıma, dalga yayılımı ve biyolojik hücrelerin büyümesi gibi herhangi bir fiziksel elemanı kapsamlı olarak anlamak ve nicelleştirmek için matematiğin kullanılması gereklidir. Bu işlemlerin çoğu kısmi diferansiyel denklemler kullanılarak açıklanmaktadır. Ancak bunları çözmek amacıyla son yıllarda bilgisayar destekli sayısal teknikler geliştirilmiş olup en önemli olanlardan biri SE yöntemidir.

Öncelikli varsayımlar özellikle başarısızlık mekanizması ile ilgili SEM, düzensiz sınırlar, potansiyel ve akış hatlarının karmaşık varyasyonlarıyla problemleri

çözmede çok güçlüdür (Zaman ve ark., 2000). SE yöntemi, Zeinkiewicz (1977) tarafından matematiksel ifadelerle tanımlı sürekli sistemlerin genel çözüm yöntemi olarak ifade edilmiştir. Analiz edilecek bölge, düğümlere katılan elemanlara bölünmüştür. Her düğümdeki bilinmeyen yer değiştirmeler hesaplanabilir. Bunlardan kütle içindeki gerilim ve gerilme alanları bulunabilir. Şev stabilite analizi için geleneksel LD yöntemlerine göre SEM yaklaşımının temel avantajları, başarısızlık yüzeyinin şekli veya yeri, dilim yan kuvvetleri ile bunların yönleri ve kayma yüzeylerinin herhangi bir şekilde olabilmesidir (Chollada, 2013). Mohr-Coulomb ve diğer birçok modeli içeren genel zemin malzemesi modelleri kullanılabilir. LD metotları, sadece şevin deformasyonu hakkında bilgi sahibi olmayan bir güvenlik katsayısı tahminini vermektedir. Nümerik analizde başarısızlık, hesaplama sırasında şevdeki fiziksel bozulma düzleminin doğal evrimini temsil edecek şekilde gelişerek "doğal olarak" ortaya çıkmaktadır (Wyllie ve Mah, 2004).

Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler SE yöntemi ile büyük gelişmiş modelleme ve bir dizi analiz yapabilme yeteneği kazanmıştır. Bunlar;

- ✓ Doğrusal statik yapısal yetenekleri,
- ✓ Lineer olmayan statik yapısal yetenekleri,
- ✓ Doğrusal dinamik yetenekleri,
- ✓ Doğrusal olmayan dinamik yetenekleri,
- ✓ Doğrusal kararlı durum termal yetenekleri,
- ✓ Lineer olmayan termal yetenekleri şeklinde karşımıza çıkmaktadır.

3.6. Sonlu Elamanlar Programları

SE programları gerek üretim olsun gerekte üretim aşamalarını kavrama ve bunların analiz süreçlerinde kullanıcılarına birden fazla alanda çözümleme imkanları sağlamaktadırlar. İnşaat, havacılık, otomotiv gibi endüstriyel alanlarda başta olmak üzere bilimsel alanlarda da kullanımları yaygındır. Sadece yapısal alandaki analizlerle bağımlı kalmayıp değişik alanlarda da analizler yapabilme olanağı sunmaktadırlar. Basit doğrusal ve zorlu karmaşık problemler gibi tüm alanlarda

değişik SE tip ve malzeme modelleri ile klasik yöntemlerle çözümü zor lineer ve non-lineer problemleri etkili bir şekilde analiz etme imkanı sunmaktadırlar.

Analiz modüllerinde Dinamik analizler, Statik, Hesaplamalı Akışlar Dinamiği ve ısı transferi ile ilgili problemlerin çözümlenmesi gibi değişik alanlarda kullanımları bulunmaktadır. Örneğin Abaqus gibi program için Abaqus/Standard genel amaçlı SE modülünü içerir. Bu modülde statik, quasi statik ve yavaş düzeyde gerçekleşen dinamik problemler için etkili çözümler sunulmaktadır. Birden fazla adım içeren analiz süreçlerini tek modelde analiz yapma olanağı sunmaktadır. Abaqus/CFD hesaplamalı verilere dayalı akışkanlar dinamiği modülü olup türbülanslı ve sıkıştırılamaz akış problemlerin çözümlenmesinde olanaklar sunar. İleri akışkanlar dinamiği, geniş çaplı doğrusal olmayan ısı-akışkan ile yapı-akışkan problemleri, laminer ve türbülanslı akış problemleri gibi alanlarda kullanımı söz konusu olmaktadır. Abaqus/CAE ise bütünleşik ve son derece kullanışlı bir görüntüleme ve modelleme ara yüzüne sahip olup Abaqus/Standard/Explicit/CFD için geliştirilmiştir. Burada bütün modelleme, bulunan çözümleri takip, çözümü yönetme ve elde edilen sonuçları irdeleme özelliklerine sahip tüm işlemlerin yapılabildiği ara yüzdür (URL-1;URL-2).

Bu program aynı zamanda modelleme, analiz yapma, çözüm aşamaları için tek bir arayüz kullanımını sağlayarak kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca diğer programlarla bütünleşik bir şekilde çalışabilme olanağına sahip olup diğer programlardan elde edilen verilerin içe aktarılması olanağını da sunmaktadır.

3.7. Dayanım Azaltma Yöntemi (Strenght Reduction Metod)

Şev duraylılık analizlerinde SE yöntemine bağlı olarak genel manada gravite (yerçekim kuvveti) arttırma veya dayanım azaltma yöntemi olmak üzere iki yaklaşım kullanılmaktadır. Yer çekim kuvveti arttırma metodunda, şevde göçme durumu meydana gelene kadar yer çekim ivmesi arttırılır (Chen ve Mizuno, 1990). Dayanım azaltma yönteminde ise denge durumu kaybolup şevde göçme meydana gelene kadar azaltılır (Zienkiewicz ve Taylor, 1989). Bu şekilde elde edilen yeni parametrelere bağlı olarak elastoplastik analizler yapılarak şevlerin duraylılıkları tespit edilmeye

çalışılır. Duncan (1996b) şevin güvenlik faktörü, eğim kritik durumundayken zeminin kayma mukavemeti üzerindeki azaltma derecesi olarak tanımlanabilir şeklinde ifade etmiştir. Malzeme modeli Mohr-Coulomb olanlarda; güvenlik azaltma faktörü (Fs) ile azaltılarak bulunan kayma dayanımı denklem (3.38) ile bulunabilir. Böylece malzemenin yeni mukavemet değerleri elde edilir.

$$\frac{\tau}{Fs}=\frac{c}{Fs}+\frac{tan\phi}{Fs} \tag{3.38}$$

Bu denklem aynı zamanda

$$\frac{\tau}{Fs}=c'+tan\phi' \tag{3.39}$$

şeklinde de yazılabilir. Böyle bir durumda;

$$c'=\frac{c}{Fs}\ , \qquad \phi'=\arctan[\frac{tan\phi}{Fs}] \tag{3.40}$$

şeklinde olmaktadır. Burada;

c ve ϕ: kayma mukavemeti parametrelerini
c' ve ϕ': azaltılan kayma mukavemeti parametrelerini temsil etmektedir.

Bu azaltma işlemleri yapılırken kohezyon ve sürtünme açısı kademeli olarak aynı seviyede azaltılır. Bu modelin geleneksel SE analizi, daha sonra kararsızlığa neden olan kritik bir dayanım azaltma değeri elde edilene kadar gerçekleştirilir. SE modeli, bir çözüme yaklaşmadığında (belirtilen bir tolerans dâhilinde) bu teknikte bir şev kararsız olarak kabul edilir. Dayanım azaltma materyaller için Mohr-Coulomb mukavemet modellerinin kullanımına dayanmakta olup bunda;

- ✓ Başlıca gerilmeler açısından ya da kesme ve normal gerilmeler açısından ifade edilebilir (bu, hem SE hem de LD analizlerinde kullanılmasını sağlar).
- ✓ Bir orijinal kayma mukavemeti modeli bir faktör F (Griffith ve Lane, (1999) indirgenmiş parametrelerin hesaplanması için basit, kapalı form denklemler

sağlarken azaltıldığında, azaltılmış parametrelerin kolayca hesaplanmasına imkân veren doğrusallığı,

- ✓ Birçok mevcut SE yazılımında kolayca mevcut olması
- ✓ Göçme durumundaki güvenlik katsayısının detaylı olarak tanımlanabilmesi gibi etkenler etkili olmaktadır.

SE yöntemi dâhilinde şevin genel durumdaki göçme durumunu belirlemek amacıyla farklı göçme kriterleri sunulmuştur. Zienkiewicz ve Taylor (1989), nümerik analizin sonuçlarının bir değere yakınsamaması durumunu, Snitbhan ve Chen (1976), şevde göçme durumunu şevde kabarmanın meydana geldiği an, Duncan ve Dunlop (1969), kayma yüzeyinde bulunan kayma gerilmelerinde meydana gelen azalma ve belirli bir değerde sınırlanması durumunu, Ugai ve Leshchinsky (1995), 500 iterasyon sonucunda deplasman artışının toplam deplasmana bölünmesi halinde 10^{-5} den küçük olmasının göçme için yeterli olabileceğini belirtmişlerdir. Deplasmanlarda meydana gelen ani artış durumları da göçme durumunun tayininde kullanılabilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1.Giriş

Şev duraylılık analizleri ile ilgili şimdiye kadar yapılan çalışmaların çoğunda şevlerin gerçek topolojik değişimleri ihmal edilmektedir. Bu durumda analiz sonuçlarını etkilemektedir. Stabilite analizlerinde şevin duraylılık analizlerinin nedenleri iyi anlaşılmalıdır. Şev stabilite analizlerinin değerlendirilebilmesi için çok sayıda analitik ve sayısal modelleme yöntemleri önerilmiştir. Sayısal (nümerik) modelleme teknikleri içerisinde iki boyutlu (2B) ve 3B modeller yaygın olarak geliştirilmiştir. 2B modeller duraysızlık mekanizmasının bir ön tahminini sunabilmesine rağmen şeve ait gerçek topolojik değişimleri göz ardı etmesinden dolayı yanıltıcı yorumların elde edilmesine yol açar. Bu durum da, yapılan yorumlara bağlı elde edilen sonuçları da ideal olmaktan çıkarmaktadır. 3B modeller ise şevlerin gerçekçi topolojik değişimlerinin temsilini sağlayarak sonuçları daha ideal bir duruma getirebilmektedir. Bununla birlikte 3B sayısal modeller şev duraysızlığının daha iyi açıklanabilmesi için geoteknik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan geleneksel 2B yöntemlere iyi bir altenatif sunmak için gerekli olmaktadır. Bu araştırmanın amacı, İHA fotogrametrisi kullanılarak karmaşık ve gerçek ölçekli şevlerin 3B bir şekilde modellenen 3B SE analizlerinin yapılabilirliğini sunmaktır. Böylelikle, şevin üçüncü boyuttaki geometrik değişimleri dikkate alınarak daha gerçekçi analizlerin yapılması sağlanmaktadır. Dolayısıyla daha doğru değerlendirmelere bağlı optimum geoteknik tasarımların yapılmasına olanak sunmaktadır. Tüm bu işlemlerle ilgili detaylar aşağıdaki bölümlerde sunulacaktır.

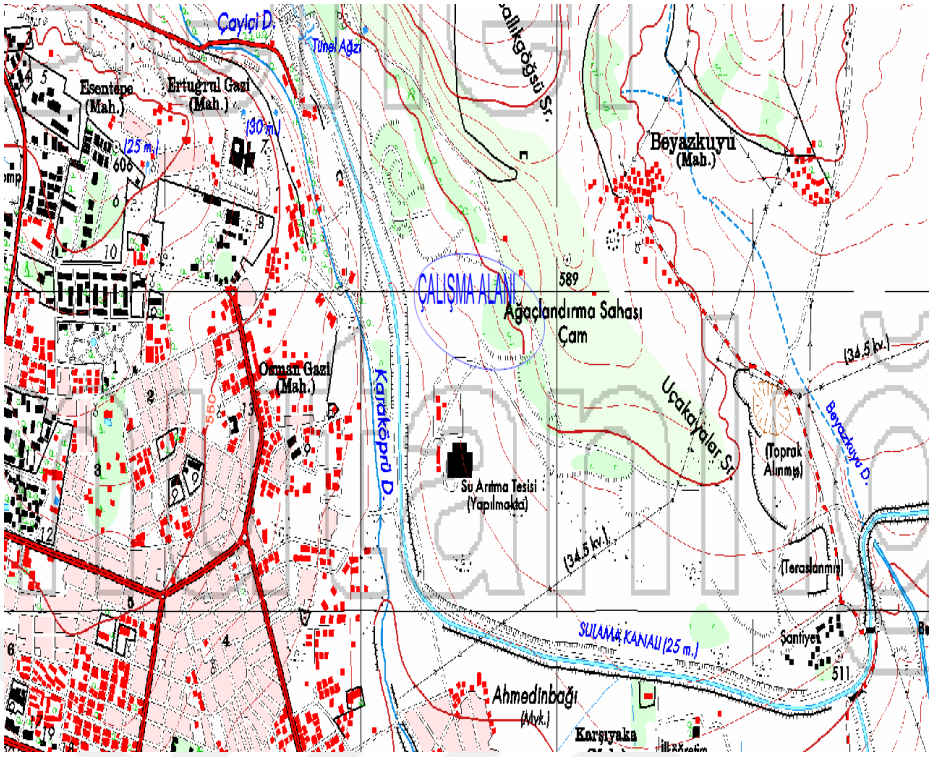
4.2.Çalışma Alanı ve Modelleme

Bilgisayar ve görüntüleme teknolojilerinin girmiş olduğu hızlı gelişme süreci günümüzde farklı disiplin alanları tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Bunlar elde edilen dijital görüntülerin alınması, verilerin derlenip işlenmesi ve söz konusu alanlardaki öznitelik verilerinden sayısal bilgilerin derlenip bu alanlara yönelik

birden fazla uygulamayı da beraberinde getirmiştir. Pratik kullanım olanakları nedeniyle İHA'lar veri sağlama kolaylığı açısından çoğu disipline önemli kaynak teşkil etmektedir. Her ne kadar askeri amaçlı kullanım ile üretilen İHA'lar günümüzde sivil alanlardaki üretim olanakları sayesinde bilimsel araştırmalar, arama kurtarma, sağlık gibi diğer birçok sektörde de oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Haritacılık alanında kullanımı daha yaygın olan İHA'lar diğer disiplin alanları içinde taban oluşturmada önemli bir araç haline gelmiştir.

Çalışma kapsamında çok pervaneli İHA'dan faydalanılarak uzaktan algılama teknikleri sayesinde verilerin elde edilip görüntü işleme yöntemi beraberinde şevlerin 3B SE modellemesinde kullanılabilirliği değerlendirilmektedir. Bunun için İHA kullanılarak çalışma alanına ait veriler elde edilmiş olup görüntü işleme tekniği sayesinde şevin olduğu gibi modellenmesi mümkün olmaktadır. Böylece şev stabilite analizlerinde üçüncü boyut etkilerinin analize yansımaları sağlanmış olmaktadır.

Çalışma kapsamında değerlendirilen dönüşlü yapay şev Şekil 4.1'deki harita üzerindeki alanda bulunmaktadır. Bu alan Şanlıurfa İli sınırları içerisindeki Şanlıurfa tüneli mansap kısmından güney tarafa doğru yaklaşık 37,178210 kuzey enlemi ve 38,827601 doğu boylamı alanında bulunmaktadır. Şevin 200 m x168 m'lik alanı analize tabi tutulmuştur. Yüksekliği yer yer 20 m'ye varan değerlere ulaşan şevin arazideki gerçek durumu Şekil 4.2'de görülmektedir. Söz konusu alana ait eğim değeri ise 20-30 derece arasında değişiklik göstermektedir. Çalışma kapsamında öncelikli olarak İHA aracı ile uçuş yapılmıştır. Şekil 3.13'te görüldüğü üzere kullanılan İHA aracı İHA_1 ticari sınıf uçuş lisansına sahip kullanıcılar (operatörler) tarafından kullanılıp 7 kilogram ağırlığa sahiptir. 8 pervanesi bulunan cihazın üzerinde 16 MP'lik sensör bulunmaktadır. Bu sensör uçuş sırasında otomotik olarak görüntü alabilen kompakt fotoğraf makinesinden oluşmaktadır. Çalışma alanı ile ilgili uçuş rotası belirlenip 50 m yükseklikten uçuş gerçekleştirilmiş ve İHA ile toplam 205 adet görüntü elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler inşaat, malzeme ve tıbbi alanlarda kullanımı gittikçe yaygın hale gelen görüntü işleme yazılımları aracılığıyla işlenip değerlendirildikten sonra söz konusu yüzeye ait nokta bulutu verileri elde edilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.1. Çalışma alanının harita üzerindeki görünümü

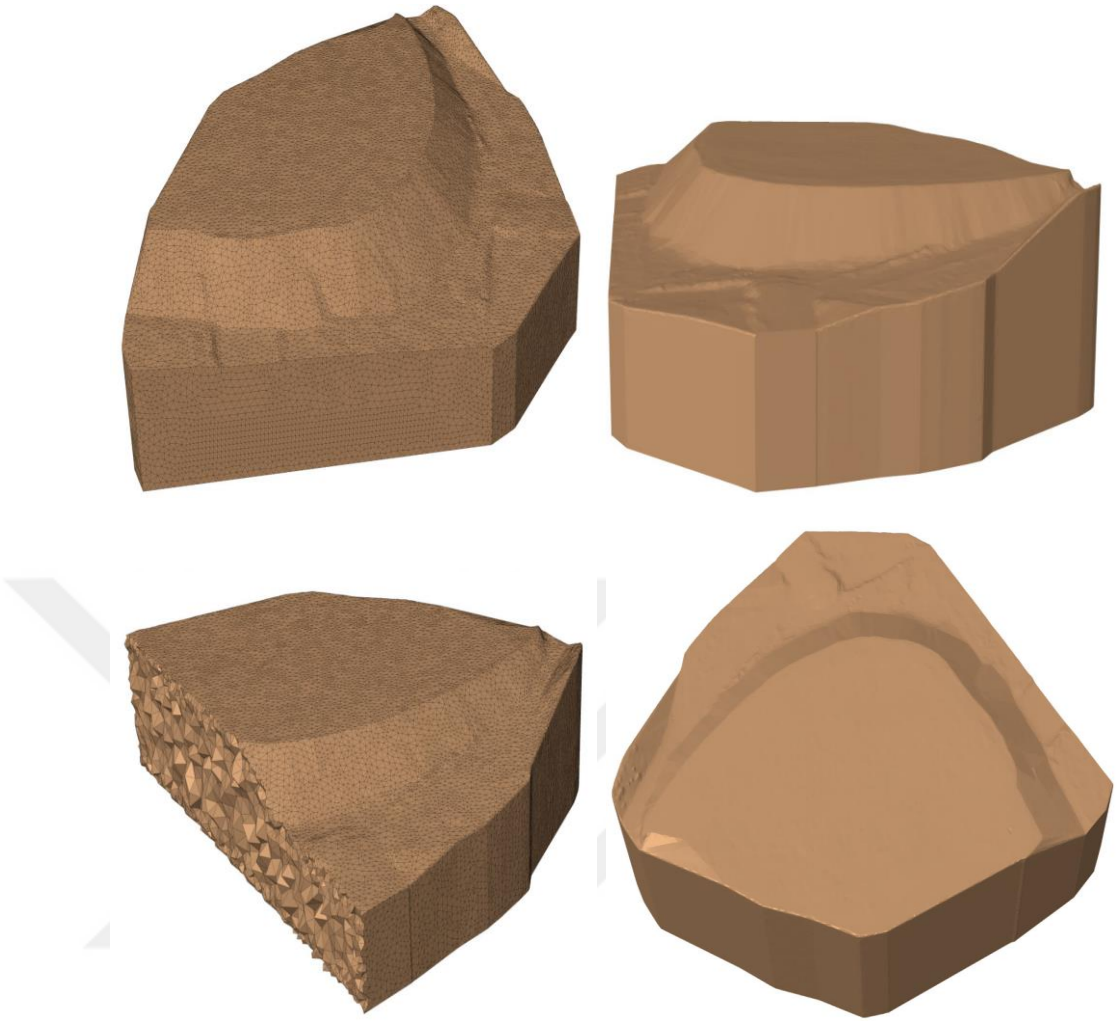


Şekil 4.2. Çalışma alanının arazideki mevcut durumu



Şekil 4.3. Şevli Alanın Nokta Bulutu ve 3B modeli

Ardından bu verilerden üçgen yüzeyi kullanılarak yüzey modeli ve oluşturulan yüzey modeline bağlı olarak şevi 3B hacme dönüştürmek için tasarım ve modelleme olanağı sunan çeşitli CAD yazılımları kullanıldı. Bu yazılımlar yardımı ile çalışma alanının 3B sayısal modeli elde edilmiştir (Şekil 4.4). Şekil 4.4'te şevin 3B olarak modellenmiş durumunun arazideki gerçek topoğrafik yapı ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.4'te çalışma alanı ile ilgili 3B SE modeli ve ağı görülmektedir.



Şekil 4.4. Şevli alanın 3B SE modelinin mesh görüntüleri

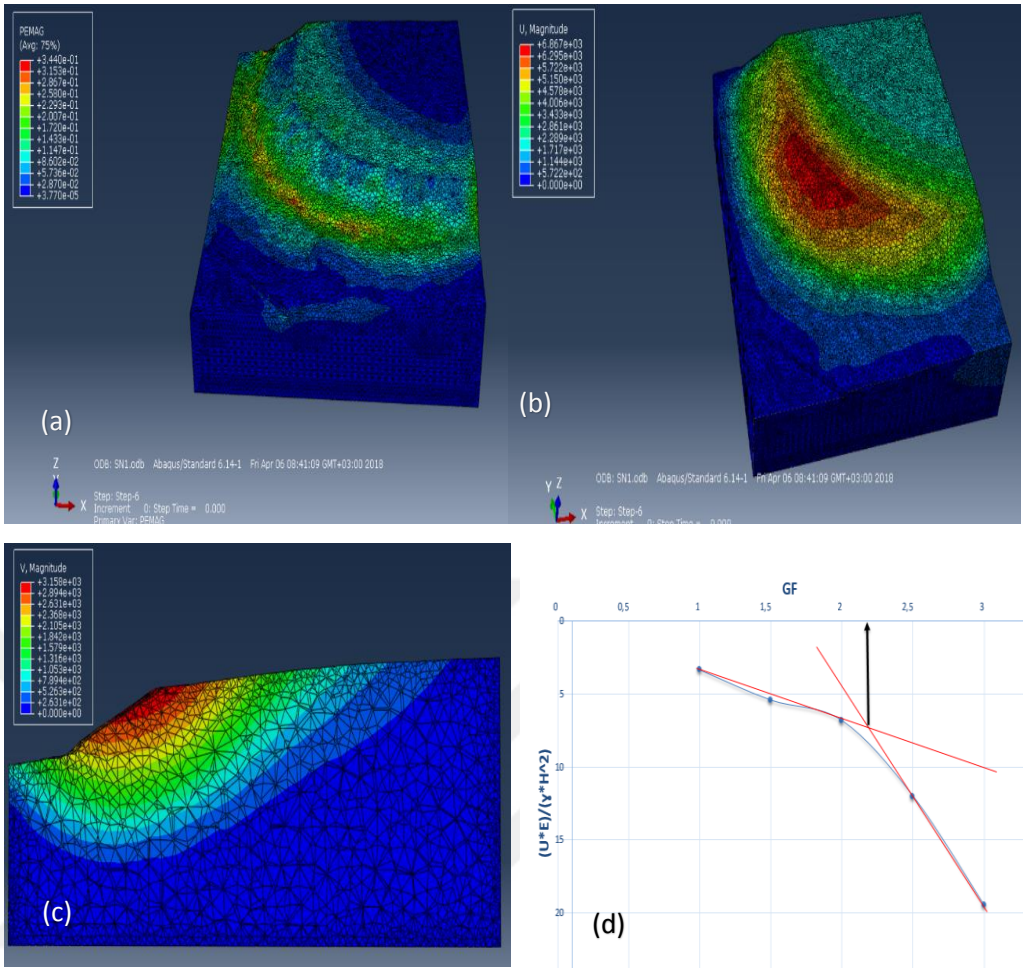
4.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Şevin 3B Analizi

Çalışma kapsamındaki alanın 3B SE analizini gerçekleştirmek için olanaklar sunan SE yazılımları (Abaqus gibi) kullanılmış olup zemini modellemek için malzeme özelliği olarak Mohr-Coulomb seçilmiştir. Çalışma alanının 3B SE modeli Algin, (2016) ve Algin (2017) tarafından açıkça tanıtılan görüntü işleme yönteminden faydalanılarak oluşturulmuş. Bu model için çalışma alanı için ihtiyaç duyulan zemine ait hipotetik malzeme parametreleri Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Şevli alanın malzeme özellikleri

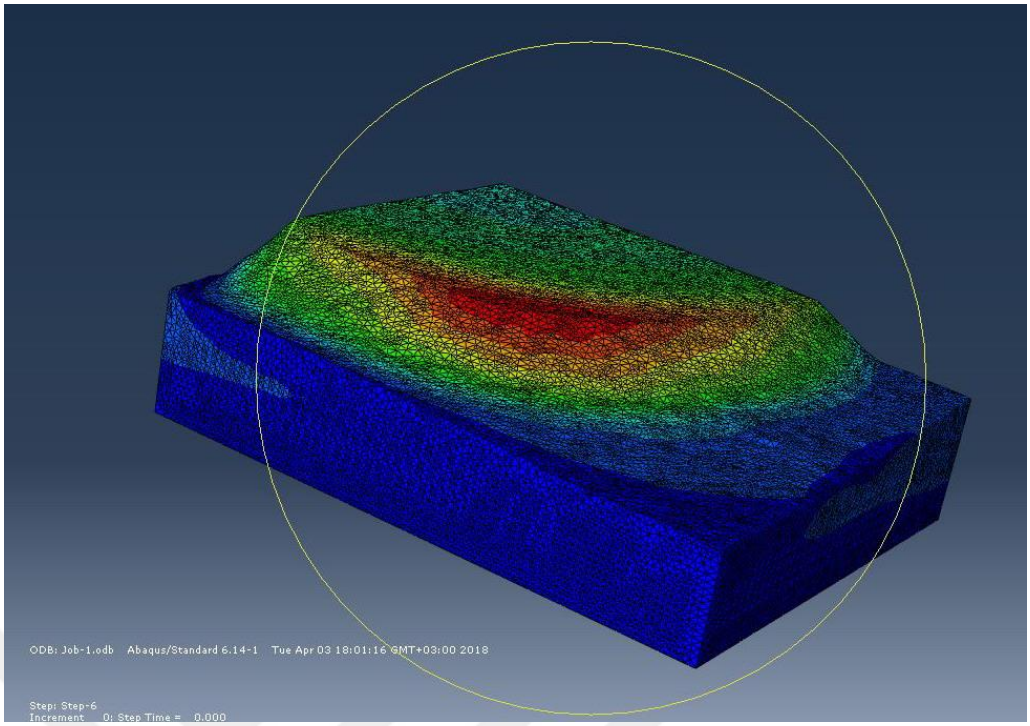
Malzeme	γ_n (kN/m^3)	C (kN/m^3)	ø (°)	E (Mpa)	v
Zemin parametreleri	17,6	26.2	18	20	0.3

Çalışma kapsamında, ilk kez İHA fotogrametrisinden faydalanılarak görüntü işleme metodu ile şev için 3B SE duraylılık analizleri yapılmıştır. Böylece söz konusu şeve ait üçüncü boyutta bulunan zemin konfigürasyonlarının gerçek durumda olduğu gibi modellenip bunların analizler üzerindeki etkilerinin hesaba katılması sağlanmıştır. Hesaplama işlemi için çalışma kapsamında değerlendirilen şeve ait güvenlik katsayısı, dayanım azaltma metodundan faydalanılarak bulunmuştur. Tasarımda kullanılacak güvenlik sayısı için minimum 1.5 değeri kabul edilmektedir. Güvenlik faktörünün bulunması ile ilgili uygulamalarda, söz konusu zemine ait ortalama kayma dayanımının kritik yüzey boyunca gelişen ortalama kayma gerilmesine bölünmesi şeklinde belirlenebilmektedir. Bu nedenle dayanım azaltma yönteminde güvenlik faktörü aşamalı olarak arttırılarak ilk durumdaki içsel sürtünme açısı (φ) ve kohezyon (c) değerleri bölünerek kritik durumdaki c' ve φ' parametrelerinin elde edilmesi sağlanır. Elde edilen kritik durumdaki zemin parametrelerine bağlı olarak güvenlik faktörü bulunmuştur. Elde edilen güvenlik faktörü yaklaşık olarak güvenlik sayısına eşit olmaktadır. (Abaqus gibi) başlangıç durumdaki c ve φ değerlerinin aşamalı olarak arttırılan güvenlik faktörüne bölünmesi ile elde edilen yeni değerlere bağlı malzeme özelliklerini ayrı ayrı esas alan bir kodlama yazıldı. SE analiz yazılımlarında (Abaqus gibi) aracılığı ile yapılmış olan analiz sonuçlarında iterasyonların yakınsanmadığı durum kritik durum olarak kabul edilmiştir. Kritik durum için elde edilen analiz sonuçları Şekil 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5. Şeve ait 3B SE modelinin analiz sonuçları

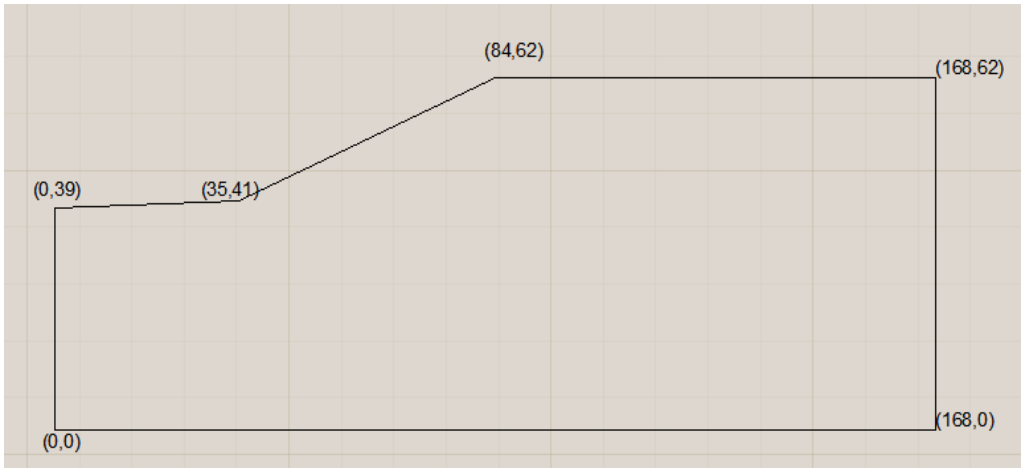
Şekil 4.5a'da şevli alanda oluşan eşdeğer plastik gerilme durumları ile deforme olmuş ağ örgüsüne bağlı muhtemel kayma yüzeyleri, Şekil 4.5b'de ise yerçekim kuvvetine bağlı olarak oluşan maksimum deformasyonlar görülmektedir. Kesme kuvvetine bağlı olarak meydana gelen deformasyanlar ise Şekil 4.5c' de görülmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi olası şev stabilite kayıp bölgelerinin beklenildiği gibi orta kısımlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Şevin dayanım azaltma metoduna bağlı olarak yapılan 3B SE analiz sonuçlarından elde edilen güvenlik sayısının ise 2.2 olduğu Şekil 4.5d' de görülmektedir. Muhtemel şev duraylılık kayıp alanlarının beklenildiği gibi şevli alanın orta alanlarında yoğunlaştığı Şekil 4.6' da açıkça görülmektedir.



Şekil 4.6. Olası şev stabilite kayıp bölgelerinin görünümü

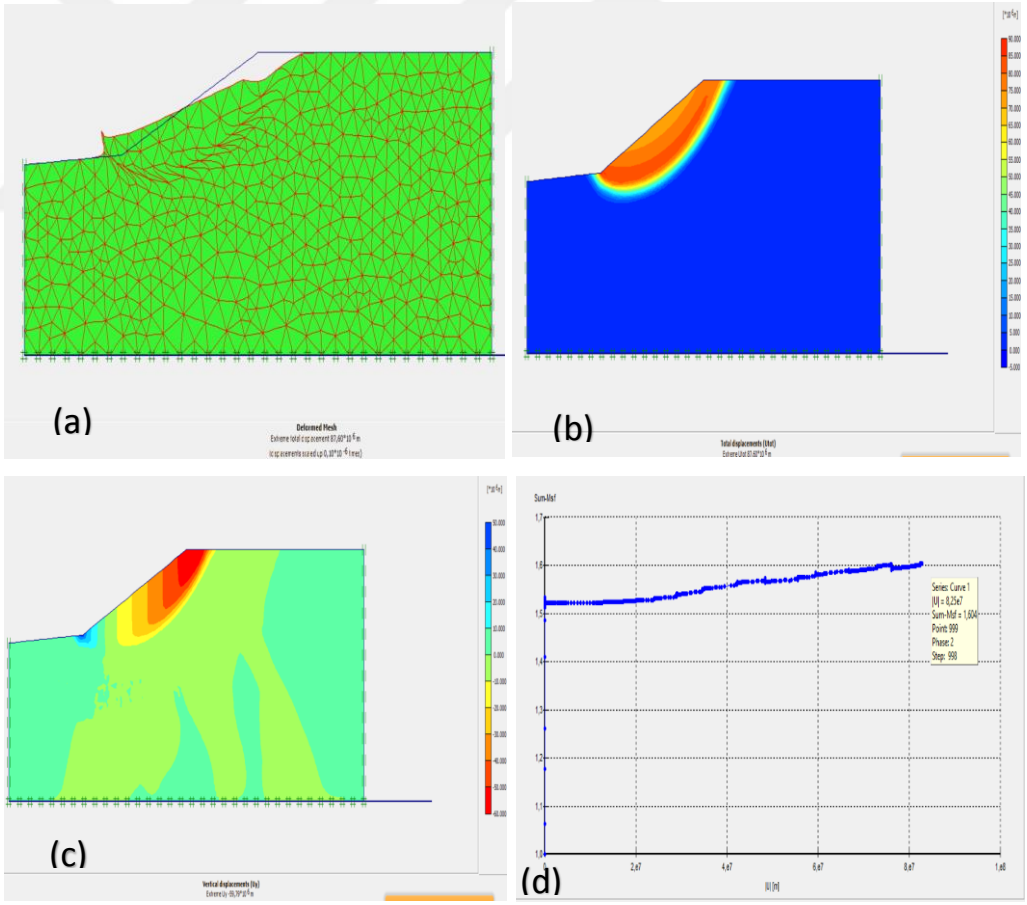
4.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Şevin 2B Analizi

Çalışma kapsamında ele alınan şev modeli gerçek durumdaki 3B şev modelinin yaklaşık olarak 2B hale indirgenmesiyle elde edilmiş olup oluşturulan şev modeli Şekil 4.7' de görülmektedir. Şevin 2B SE analizlerinin yapılabilmesi için SE analiz yazılımları (Plaxis gibi) kullanılmıştır. Malzeme özellikleri olarak Çizelge 4.1' de verilen malzeme özellikleri kullanılmış olup malzeme modeli olarak Mohr-Coulomb kullanılmıştır.



Şekil 4.7. Modellenen şevin 2B geometrisi

Çizelge 4.1'de verilen malzeme özelliklerine bağlı olarak yer çekim kuvveti altında şevin 2B SE analiz sonuçları Şekil 4.8'de görülmektedir.



Şekil 4.8. Şeve Ait 2B SE modelinin analiz sonuçları

SE analiz yazılımları yardımı ile yapılan analiz sonuçlarında; Şekil 4.8a ve Şekil 4.8b'de şevde meydana gelen toplam deformasyonlar, Şekil 4.8c'de ise düşey deplasmanlar görülmektedir. 2B SE analiz sonucu için güvenlik sayısı ise Şekil 4.8d'de görüldüğü üzere 1.604 olarak bulunmuştur.

5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışma kapsamında ilk defa İHA fotogrametrisi yardımı ile dijital yükselti modellemesi ile oluşturulan gerçek şev modelinin 2B ve 3B olarak SE analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda SE analiz yazılımlarında (ABAQUS gibi) gerçek şev modeli 3B SE analizine tabi tutulmuştur. Yapılan bu analiz işlemi sonucunda şevin güvenlik sayısı 2.2 olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda bu yöntemle elde edilen modellerin arazideki gerçek şev durumunu oldukça benzer şekilde yansıtması, iki boyutlu modelleme olanakları ile çözülemeyecek kadar kompleks problem diye nitelendirilen şev duraylılık analizlerinde bu tekniğin kullanılmasının yerinde olacağını göstermiştir. Ayrıca bu şekilde karmaşık konfigürasyon gösteren her türlü şevli alanın 3B bir şekilde modellenip sayısal analizlerinin yapılmasını olanaklı hale getirmiştir. Çalışma kapsamında tanıtılan yöntem sayesinde hassas bir şekilde 2B modelleme olanakları ile çözülemeyecek şev stabilite analizlerinde kullanılması, söz konusu şevlerin üçüncü boyuttaki değişimlerinin elde edilecek analiz sonuçlarına etkisinin göz ardı edilmesi gibi dezavantajları ortadan kaldırarak elde edilecek güvenlik sayılarının gerçek durumu daha iyi yansıtabilmesini olanaklı hale getirmiştir.

Söz konusu çalışma alanının SE analiz yazılımları (PLAXIS gibi) ile ise 2B SE analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu 3B SE analizi ile elde edilen güvenlik sayısı 2B SE analizi ile elde edilen değerden daha yüksek çıkmaktadır (% 27.09). Bu sonuç üzerinde;

- ✓ 3B modelin 2B modele indirgenirken yapılan kabuller,
- ✓ 2B SE analiz programındaki adım sayısının sınırlı olması,
- ✓ SE analiz yazılımında (Abaqus gibi) şevin 3B SE ile gerçek şev konfigürasyonlarının analiz edilmesi gibi durumların etki ettiği tahmin edilmektedir.

Aradaki % 27.09 fark daha önceden yapılmış çalışmalar ile kıyaslandığında; önceden yapılmış olan birçok araştırmada (Chen ve Chameau, 1985; Hungr, 1987;

Duncan, 1996a ; Griffiths ve Marquez, 2007; Chugh, 2003; Leong ve Rahardjo, 2012; Lin ve Cao, 2014), 2B düzlem deformasyon temeline dayalı olarak yapılan analizlere bağlı oluşan güvenlik sayılarının genel manada 3B olarak yapılan analizlerden elde edilenlere göre daha düşük olduğu belirtilmiştir. Bu durumda yapılan analiz sonuçlarından 3B SE ile elde edilen güvenlik sayısının 2B SE analizi ile elde edilen güvenlik sayısından büyük çıkması normal olmaktadır. Aradaki % 27.09'lik fark elbette önemsenecek düzeydedir. Ancak çalışma kapsamında değerlendirilen dönüşlü şev örneği gibi spesifik şevlerde 2B analizlerin yapılması pek doğru değildir. Çünkü 2B analizlerde gerilme deformasyon durumuna bağlı üçüncü boyuttaki şev konfigürasyonundaki değişimler ihmal edilmektedir. Ancak dönüşlü şev örneği gibi spesifik örneklerde bu tür ihmallerin yapılması doğru değildir. Bu nedenle gerçek topolojik değişimlere bağlı olarak yapılan 3B SE analiz sonucu ile elde edilen güvenlik sayısının daha gerçekçi olduğu değerlendirilmektedir. Bu gibi nedenlerde aradaki farkın çokta önemsenmemesi gerektiği asıl önemli olanın 3B SE analiz sonuçları ile elde edilen değer olduğu yönünde olmaktadır.

Analiz sonuçlarından elde edilen veriler değerlendirildiğinde şevde meydana gelen deformasyonların yoğunlaştığı bölgeler gerek 2B SE ve gerek 3B SE analizi içinde oldukça benzerlik göstermektedir. Bu yöntemle elde edilen modellerin arazideki gerçek şev durumunu oldukça benzer şekilde yansıtması, 2B modelleme olanakları ile çözülemeyecek kadar kompleks problem diye nitelendirilen şev duraylılık analizlerinde bu tekniğin kullanılmasının yerinde olacağını göstermiştir. Bu yöntemin getirdiği farklı bakış açısı ile bundan sonraki dönen köşeli gibi spesifik şev stabilite analizlerinin 3B olarak gerçek durumlarının analiz edilmesi olanak dahilinde olmuştur.

Bundan sonraki şev stabilite analizleri kapsamında şeve ait zemin parametrelerinin belirlenmesine yönelik sondaj vb. arazi çalışmalarına bağlı olarak elde edilecek zemin numunelerinin laboratuvar ortamında değerlendirilerek gerçek zemin parametrelerinin elde edilerek yapılacak analizlerde kullanılması şev duraylılık analizlerini daha gerçekçi kılacaktır.

KAYNAKLAR

ABRAMSON LW, LEE TS, SHARMA S, BOYCE GM. 2002. Slope Stability Concepts Slope Stabilisation and Stabilisation Methods: Second edition published by John Willey and Sons Inc. 329-461.

ABRAMSON, L.W., LEE, T.S., SHARMA, S., BOYCE, G.M., 1996. Slope Stability and Stabilization Methods. John Wiley and Sons, N.Y.

AKGUL, M., YURTSEVEN, H., DEMİR, M., AKAY, A., GÜLCİ, S., ve ÖZTÜRK, T. 2016. İnsansız Hava Araçları ile Yüksek Hassasiyette Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi ve Ormancılıkta Kullanım Olanakları.

ALBATAINEH, N., 2006. Slope Stability Analysis Using 2D and 3D Methods. The Graduate Faculty of The University of Akron. Master of Science. Msc Thesis. pp 143.

ALGIN, H. M., 2016. Optimised Design of Jet-Grouted Raft Using Response Surface Method, Computers and Geotechnics, 74:56–73.

ALGIN, H. M., 2017. Optimised Design of Jet-Grouted Rafts Subjected to Nonuniform Vertical Loading, KSCE, Korean Society of Civil Engineers, 1-15.

ANDERSON, M. G. and RİCHARDS, K. S. 1987. Slope Stability: Geotechnical Engineering and Geomorphology. John Wiley and Sons, N.Y.

BISHOP, A. W. 1955. The Use Of The Slip Circle In The Stability Analysis of Slopes. Geotechnique, London, 5(1): 7-17.

BLYENBURGH, P. V. (1999). UAV's-Current Situation and Considerations for the Way Forward. Development and Operation of UAVs for Military and Civil Applications Report, Belgium.

BROMHEAD, E.N., and MARTIN, P.L. 2004. Three-Dimensional Limit Equilibrium Analysis of the Taren Landslide. In Advances in Geotechnical Engineering (Skempton Conference). Thomas Telford, London. Vol. 2, pp. 789–802.

CAI, F., WAKAI, A., UGAI, K. and LI, Q. 1998. Effects of Horizontal Drains on Slope Stability under Rainfall by Three-Dimensional Finite Element Analysis, Computers and Geotechnics, 23(4): 255–275.

CHEN, R.H., and CHAMEAU, J.-L. 1985. Discussion: Three-Dimensional Limit Equilibrium Analysis of Slopes. Geotechnique, 35(2): 215– 216.

CHEN, W.F. and MIZUNO, E., 1990. Nonlinear Analysis in Soil Mechanics: Theory and Implementation,Elsevier, Amsterdam.

CHENG, Y. M., LANSIVAARA, T., and WEI, W. B. 2007. Two-Dimensional Slope Stability Analysis by Limit Equilibrium and Strength Reduction Methods. Computers and Geotechnics, 34:137–150.

CHENG, Y.M., and YIP, C. 2007. Three-Dimensional Asymmetrical Slope Stability Analysis: Extension of Bishop's, Janbu's and Morgenstern-Price's Techniques, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 133(12): 1544–1555.

CHIKWANHA, A., MOTEPE, S., and STOPFORTH, R. 2012. Survey and Requirements for Search and Rescue Ground and Air Vehicles for Mining Applications. In Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP), 2012 19th International Conference (pp. 105-109). IEEE.

CHOLLADA, K. and CHUBUPPAKARN, T. 2013. 18th National Convention on Civil Engineering. Chiang Mai, Thailand.

CHUGH, K.A. 2003. On the Boundary Conditions in Slope Stability Analysis, International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 27(11): 905–926.

CLOUGH, R.W. and WOODWARD, R.J. III 1967. Analysis of Embankment Stresses and Deformations. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 93(SM4): 529-550.

DONER, F., OZDEMİR, S. VE CEYLAN, M., 2014. İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Veri Toplama ve Haritalama Çalışmalarında Kullanımı., 5. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim 2014, İstanbul.

DUNCAN J.M. and S.G. WRİGHT, 2005. Soil Strength and Slope Stability. John Wiley and Sons. NY.

DUNCAN, J.M. 1996a. Soil Slope Stability Analysis. In Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report 247, Chapter 13. Edited by A.K. Turner et al. Transportation Research Board, Washington,

DUNCAN, J.M. 1996b. State of The Art: Limit Equilibrium and Finite Element Analysis of Slopes, Journal of Geotechnical Engineering, 122(7): 577–596.

ERGINER, B., 2007. Quadrotor VTOL Aracının Modellenmesi ve Kontrolü. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s. 82.

ERGINER, B., ve ALTUG, E., 2007. Modeling and PD Control of a Quadrotor VTOL Vehicle. Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 894-899.

FELLENIUS, W. 1936. Calculation of the Stability of Earth Dams. Transactions, 2nd International Congress on Large Darns, International Commission on Large Dams, Washington, DC, pp. 445-459.

FREDLUND, D. G., and KRAHN, J. 1977. Comparison of Slope Stability Methods of Analysis. Canadian Geotechnical Journal, 14(3): 429-439.

GRIFFITHS, D.V., and LANE, P.A. 1999. Slope Stability Analysis by Finite Elements. Geotechnique, 49(3): 387–403.

GRIFFITHS, D.V., and MARQUEZ, R.M. 2007. Three-Dimensional Slope Stability Analysis by Elasto-Plastic Finite Elements, Géotechnique, 57(6): 537–546.

HO, I.H. 2014. Parametric Studies of Slope Stability Analyses Using Three-Dimensional Finite Element Technique: Geometric Effect. Journal of the Geotechnical Engineering, 9:33-43.

HUANG, C.C., and TSAI, C.C. 2000. New Method for 3D and Asymmetrical Slope Stability Analysis. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 126(10): 917–927.

HUNGR, O. 1987. An Extension of Bishop's Simplified Method of Slope Stability Analysis to Three Dimensions. Géotechnique, 37(1): 113– 117.

JANBU, N. 1957. Earth Pressure and Bearing Capacity Calculations by Generalized Procedure of Slices. Proceedings of 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 2: 207- 212.

JANBU, N. 1973. Slope Stability Computations. Embankment Dam Engineering - Casagrande Volume, John Wiley and Sons, N.Y.

LIN, H., and CAO, P. 2014. A Dimensionless Parameter Determining Slip Surfaces in Homogeneous Slopes. KSCE Journal of Civil Engineering, 18:470–474.

LIN, H., CAO, P, and ZHONG W. 2015. Three-Dimensional Rock Slope Stability Analysis Considering The Surface Load Distribution. European Journal of Environmental and Civil Engineering.

MANYOKY, M., THEILER, P., STEUDLER, D. VE EISENBEISS, H., 2011. Unmanned Aerial Vehicle in Cadastral Applications, ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 3822, 57.

MAZA, I., CABALLERO, F., CAPITAN, J., MARTINEZ-DE-DIOS, J. R. and OLLERO, A., 2011. Experimental Results in Multi-UAV Coordination for Disaster Management and Civil Security Applications, Journal of Intelligent & Robotic Systems, 61(1-4): 563-585.

MORGENSTERN, N. R. and V. E. PRICE 1965. The Analysis of the Stability of General Slip Surface. Geotechnique, 15(4):289-290.

NEWCOME, L. R. 2004. Unmanned Aviation: A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles. Aiaa.

NIAN, T.K., HUANG, R.Q., WAN, S.S., and CHEN, G.Q. 2012. Three-Dimensional Strength-Reduction Finite Element Analysis of Slopes: Geometric Effects. Canadian Geotechnical Journal, 49(5): 574-588.

NIETHAMMER, U., ROTHMUND, S. AND JOSWIG, M., 2009. UAV-Based Remote Sensing of the Slow Moving Landslide Super-Sauze, In: Landslide Processes, Ed.: CERG Editions, Strasbourg, 69-74.

RAU, J. Y., JHAN, J. P., LO, C. F. VE LIN, Y. S., 2011. Landslide Mapping Using İmagery Acquired by A Fixed-Wing UAV, In Proceedings of the International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics (UAV-g), (Vol. 38, p. 6).

SARMA, S. K. 1979. Stability Analysis of Embankments and Slopes. Journal of the Geotechnical Engineering Division, 105:1511–1524.

SARMA, S. K. and M. V. BHAVE 1974. Critical Acceleration Versus Static Factor of Safety in Stability Analysis of Earth Dams and Embankments. Geotechnique 24(4): 661-665.

SPENCER, E. 1967. A Method of Analysis of The Stability of Embankments Assuming Parallel Interslice Forces. Geotechnique, 17(1):11-26.

STARK, T.D., and EID, H.T. 1998. Performance of Three-Dimensional Slope Stability Methods in Practice. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 124(11): 1049–1060.

STOLLE, D. and GUO, P. 2008. Limit Equilibrium Slope Stability Analysis Using Rigid Finite Elements. Canadian Geotechnical Journal, (45): 653-662.

TAŞKIRAN, T., YAVUZ, V.S., ve KESKİN M.S. 2015. Şev Stabilitesinin İki ve Üç Boyutlu Modeller ile İncelenmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi. Cilt:6, Sayı:1,1-8.

UGAI, K., and LESHCHINSKY, D. 1995. Three-Dimensional Limit Equilibrium and Finite-Element Analysis: A Comparison of Results. Soils and Foundations, 35(4):1–7.

URL-1 http://www.a-ztech.com.tr/abaqus.html Erişim Tarihi; 20.05.2018

URL-2 http://www.grupotomasyon.com.tr/sayfalar Erişim Tarihi; 20.05.2018

VAUGHAN, P.R. 2008. Discussion on Three-Dimensional Slope Stability Analysis by Elasto-Plastic Finite Elements, Geotechnique, 58(8): 683–685.

WHITMAN, R. V., and BAILEY, W. A. 1967. Use of Computers for Slope Stability Analysis, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 93(4):475-498.

WING, M. G., BURNETT, J., JOHNSON, S., AKAY, A. E. VE SESSIONS, J., 2014. A Low-Cost Unmanned Aerial System for Remote Sensing of Forested Landscapes. International Journal of Remote Sensing Applications, 4(3): 113-120.

WYLLIE, D.C. and MAH, CH.W. 2004. Rock Slope Engineering. Civil and mining, 4th ed. Spon Press.

XIE, M. W., ESAKI, T. and CAİ, M. F. 2006. GIS-Based Implementation of Three Dimensional Limit Equilibrium Approach of Slope Stability. J. Geotech. Geoenviron. Engng 132(5): 656–660.

ZAMAN M., BOOKER, J. R. and GIODA, G. 2000. Modeling in Geomechanics, John Wiley andn Sons, U.K.

ZHANG. Y., ZHENG, L., CHEN, G., LI, Y., and ZHUANG, X. 2013. Effects of Geometries on Three-Dimensional Slope Stability. Canadian Geotechnical Journal, 50: 233-249.

ZIENKIEWICZ, O.C. VE TAYLOR, R.L., 1989. The Finite Element Method, Vol. 1, 4th Edition, McGrawHill, New York.

ZIENKIEWICZ, O.C. 1977. The Finite-Element Method. 3rd ed., New York, McGraw-Hill Book Co., pp. 787.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER



Adı Soyadı : Mehmet Can ARSLAN

Uyruğu : T.C.

Doğum Yeri ve Tarihi : Çermik/01.12.1990

Telefon :

e-mail : mehmetcanarslanmca@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Mustafa Kemal Lisesi, Siverek, Şanlıurfa	2006-2010
Üniversite	:Çukurova Üniversitesi, Adana	2011-2015
Yüksek Lisans	:Harran Üniversitesi, Şanlıurfa	2016-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017-	DSİ GAP 15. Bölge Müdürlüğü	İnşaat Mühendisi

YABANCI DİLLER

İngilizce