

ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

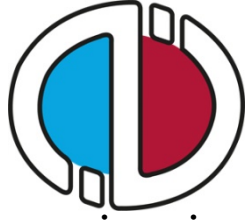
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

ŞEV STABİLİTESİNDE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ
UYGULAMASI VE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ

Ali POLAT
Yüksek Lisans

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Gülgün YILMAZ

BİLECİK, 2019
Ref. No.: 10292081



**ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

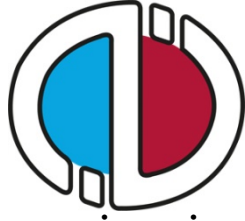
**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**ŞEV STABİLİTESİNDE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ
UYGULAMASI VE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ**

**Ali POLAT
Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Gülgün YILMAZ**

BİLECİK, 2019



ESKİŞEHİR
ANADOLU UNIVERSITY



BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK
ŞEYH EDEBALI UNIVERSITY

Graduate School of Sciences
Department of Civil Engineering

**APPLICATION OF FINITE ELEMENT METHODS IN
SLOPE STABILITY AND COMPARATIVE ANALYSIS**

Ali POLAT
Master's Thesis

Thesis Advisor
Prof. Dr. Gülgün YILMAZ

BİLECİK, 2019



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS
JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 20/08/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ali POLAT'ın "Şev Stabilitesinde Sonlu Elemanlar Yöntemi Uygulaması Ve Karşılaştırmalı Analiz" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI)

Doç.Dr. Gülşim YILMAZ

ÜYE

Dr. Öğr. Üyesi Kamil Bekir AFACAN

ÜYE

Doç. Dr. Nazile URAL

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun .../.../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı tez danışmanım Prof. Dr. Gülgün YILMAZ'a en içten dileklerle çok teşekkür ederim.

Bu çalıőmanın zenginleőmesi için değerli vaktini ayıran ve her türlü katkıyı sağlayan Dr. Öğr.ye.Kamil Bekir AFACAN'a, Prof.Dr.N.Sinan IŞIK'a, Öğr.Gör. Ersin GÜLER'e Öğr.Gör. E.Aytuğ ÖZSOY'a teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve beni destekleyen sevgili aileme teşekkür ederim. Her türlü yardımlarından dolayı değerli dostlarım İnaőat Mühendisi Yasin ZENCİR'e, İnaőat Mühendisi Gökhan ŐAHİN'e ve İnaőat Mühendisi İbrahim CAN'a teşekkür ederim.

BEYANNAME

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu Üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmada kullanılmadığını beyan ederim.

...../...../ 2019

Ali POLAT

ŞEV STABİLİTESİNDE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ UYGULAMASI VE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ

ÖZET

Deprem bölgelerinde bulunan ve afet riski taşıyan yerleşim alanlarında İnşaat Mühendisliği bakımından karşımıza çıkan en önemli problemlerden birisi “Şev Stabilitesi” dir. Şevlerin stabilitesini kaybederek, harekete geçmesi ve göçme durumlarında, çok sayıda can ve mal kaybı oluşmaktadır. Bu riskleri ortadan kaldırmak veya azaltmak amacıyla inşaat mühendisliği alanında uygulanabilen geliştirilmiş birçok yöntem vardır. Bu çalışmada yapımı planlanan yapı inşaatına ait ve üst kısmında bulunan karayolu sebebiyle de dinamik yüke maruz kalan, bir şev kesiti göz önüne alınmıştır. Statik yükler ve deprem yüklerinden dolayı, bölge afet riski taşımaktadır. İlk olarak bölgeye ait olan eğimli arazinin analizi için statik yükler altında, limit denge yöntemlerinin çözümleri kullanılmış ve güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. Daha sonra kara yolundan ötürü şevin maruz kalacağı araç yükleri ve literatürde çokça kullanılan depremler göz önüne alınarak dinamik analizler yapılmıştır. Analizler de sonlu elemanlar yöntemleri ile çözüm yapan Plaxis programı kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar, literatürde tanımlanmış ampirik formüller kullanılarak hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır. Şev stabilite çalışmalarında statik ve dinamik yöntemler kullanılarak etkili sonuçlar elde edilmektedir. Bu doğrultuda sonlu elemanlar yönteminin bilgisayar yazılımları ile uygulanması daha doğru sonuçlar verebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Şev Stabilitesi; Statik-Dinamik Yük; Yol İnşaatı; Deplasmanlar;

APPLICATION OF FINITE ELEMENT METHODS IN SLOPE STABILITY AND COMPARATIVE ANALYSIS

ABSTRACT

Slope Stability is one of the most important problems encountered in the areas of earthquake engineering and it can be considered as the riskiest situation for most structures. Loss of stability of the slopes and excessive movement cause fatalities and result in big damages. There are many ways to eliminate and/or reduce these risks. In this study, a highway to be constructed on an area with some ground slope was modelled under risky loads. The displacements caused by the static and dynamic loads in the area were estimated. The road affected by the cyclic loads caused by the vehicles and the earthquakes in the region were analyzed. Plaxis program was used for the analyses. The results were compared with the values calculated by the formulas found in literature. Measures were taken against large-scale displacements and disaster risk due to earthquake loads. Methods to reduce the displacement of the slope were applied.

Keywords: Slope Stability; Static-Dynamics Loads; Highway Construction; Displacements

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
TEŞEKKÜR.....
BEYANNAME.....
ÖZET	I
ABSTRACT	II
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	X
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	2
3. ŞEV ve ŞEV STABİLİTESİ	4
3.1. Şev Bilgisi	4
3.2. Şev Türleri.....	4
3.2.1. Doğal şevler	4
3.2.2. Suni şevler	5
3.3. Şevlerde Göçme Durumları	7
3.3.1. Akma	7
3.3.2. Yanal yayılma	8
3.3.3. Kayma	9
3.3.4. Devrilme	12
3.3.5. Düşme.....	13
3.3.6. Karmaşık hareketler	14
3.4. Şevlerde Stabilitayı Etkileyen Durumlar	15
3.4.1. Şevlerde su etkisi	16
3.5. Şevlerde Stabilitayı İyileştirmeleri.....	17
3.5.1. Yük azaltma	17
3.5.2. Payandalama	18
3.5.3. Drenaj	18
3.5.4. Bitkilendirme	20
3.5.5. Yapısal iyileştirme	20
4. ŞEV STABİLİTESİ ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	24

4.1. Limit Denge Analiz Yöntemleri.....	24
4.1.1. Fellenius yöntemi.....	24
4.1.2. Bishop yöntemi.....	25
4.1.3. Janbu yöntemi.....	25
4.1.4. Spencer yöntemi.....	26
4.1.5. Morgenstern-Price yöntemi.....	27
4.1.6. Lowe-Karafiaht yöntemi.....	27
4.2. Dinamik Analiz Yöntemleri.....	27
4.2.1. Psödostatik yöntem.....	28
4.2.2. Ampirik formüller.....	29
4.2.3. Sonlu elemanlar yöntemi.....	30
5. ANALİZ EDİLEN VAKANIN TANITIMI ve ÖZELLİKLERİ.....	32
5.1. Bölge ve Şevin Tanıtımı.....	32
5.2. Zemin Özellikleri.....	34
6. STATİK ANALİZ VERİLERİ.....	35
6.1. Bishop Yöntemi.....	35
6.2. Janbu Yöntemi.....	36
6.3. Spencer Yöntemi.....	36
6.4. Fellenius Yöntemi.....	37
6.5. Lowe-Karafiaht Yöntemi.....	38
6.6. Morgenstern-Price Yöntemi.....	39
6.7. Statik Analiz Verilerinin Karşılaştırılması.....	41
7. DİNAMİK ANALİZ VERİLERİ.....	42
7.1. Plaxis Programının Özellikleri.....	42
7.2. Kullanılan Depremler ve Özellikleri.....	42
7.2.1. Erzincan depremi.....	43
7.2.2. Kobe depremi.....	44
7.2.3. Kocaeli depremi.....	44
7.2.4. Newzeland depremi.....	45
7.2.5. Oroville depremi.....	45
7.2.6. Victoria depremi.....	46
7.3. Ampirik Formüllerle Deplasman Verileri.....	47

7.3.1. Erzincan depremi	47
7.3.2. Kobe depremi.....	47
7.3.3. Kocaeli depremi	48
7.3.4. Newzeland depremi.....	49
7.3.5. Oroville depremi	49
7.3.6. Victoria depremi	50
7.3.7. Ampirik formüllerden elde edilen deplasman verilerinin karşılaştırılması... 51	
7.4. Sonlu Elemanlar Analiz Verileri	52
7.4.1. Erzincan depremi	52
7.4.2. Kobe depremi.....	53
7.4.3. Kocaeli depremi	53
7.4.4. Newzeland depremi.....	54
7.4.5. Oroville depremi	55
7.4.6. Victoria depremi	56
7.4.7. Sonlu elemanlar yöntemi deplasman verilerinin karşılaştırılması..... 58	
7.4.8. Araç yükü uygulaması.....	58
8. SONUÇLAR.....	60
KAYNAKLAR.....	63
ÖZ GEÇMİŞ.....	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1. Şevleri tanımlamada kullanılan terminoloji (Coduto, 2006).....	4
Şekil 3.2. Çilekli göleti için yapılan dolgu şevi (Url-1).	5
Şekil 3.3. Karayolu için yapılan yarma şevi (Url-2).	6
Şekil 3.4. Depolama alanı için yapılan şev (Url-3).	6
Şekil 3.5. Farklı akma durumları (Ulusay, 2001).	8
Şekil 3.6. Akma, Venezuela, 1999 (Fotograf: L.M.Smith, W.E.Station, US.Army Crops of Engineers) (Güler, 2017).	8
Şekil 3.7. Yanal Yayılma (Coduto, 2006).	9
Şekil 3.8. Yanal Yayılma, ABD, 1989 (Fotograf: S.Ellen, U.S. G.Survey) (Güler, 2017).	9
Şekil 3.9. Kayma, Kanada, 2001 (Fotograf: R. Couture, Kanada G. Survey) (Güler, 2017).	10
Şekil 3.10. Dairesel kayma (Ulusay, 2001).	10
Şekil 3.11. a) İlerlemiş seviyede parçalı kaya kütlelerinde ve b) Ayrışmış kayaçlarda dairesele kayma (Ulusay, 2001).	11
Şekil 3.12. a) Düzlemsel kayma b) Kama tipi kayma c) Çok yüzeyli kaymalar (Ulusay, 2001).	11
Şekil 3.13. Doğada Görülebilen Devrilme şekilleri (Goodman ve Bray, 1976).....	12
Şekil 3.14. Devrilme, Kanada (Cruden ve Varnes, 1996).	13
Şekil 3.15. Düşme Kolorado, ABD, 2005 (Fotograf:Colorado G.Survey) (Güler, 2017).	13
Şekil 3.16. Kaya kütlelerinde kaya düşmesine neden olan süreçler (Ulusay, 2001).	14
Şekil 3.17. Bir kısım akma özellikleri de içeren karmaşık kayma (Bromhead, 1986). .	15
Şekil 3.18. Sondajla bulunan yeraltı su seviyelerinden, serbest su profilinin çıkartılması (Türkmen, 2009).	16
Şekil 3.19. Yük azaltma ile iyileştirme (Coduto, 2006).	17
Şekil 3.20. Kazı yapılarak yapılan payanda dolgusu (Coduto, 2006).	18
Şekil 3.21. Kazı yapılmadan yapılan payanda dolgusu (Coduto, 2006).	18
Şekil 3.22. Şevin seki bölümüne yapılan beton seki drenaj oluşu (Coduto, 2006).	19
Şekil 3.23. Yatay drenler ve çekim kuyuları ile yapılan drenaj (Coduto, 2006).	19

Şekil 3.24. Delikli perfore boru ile yapılan drenaj (Coduto, 2006).	19
Şekil 3.25. Bir karayolu kenarındaki şeve uygulanan bitkilendirme (Url-4).	20
Şekil 3.26. Konsol ve ağırlık istinat duvarları (Url-5-6).	21
Şekil 3.27. Dolgulu çerçeve duvarı (Tekin, 2011).	22
Şekil 3.28. Sandık duvarı görünümü (Bromhead, 1986).	22
Şekil 3.29. Şev iyileştirmesi amacıyla imal edilen ankraj duvar kesiti (Tekin, 2011)...	23
Şekil 3.30. Ankraj kesiti (Tekin, 2011).	23
Şekil 4.1. Fellenius yöntemindeki etki ettirilen kuvvetler (Önalp ve Arel, 2004).	24
Şekil 4.2. Şevde uzunluk derinlik (Önalp ve Arel, 2004).	26
Şekil 4.3. Spencer stabilite abakları (Spencer, 1967, alıntılayan McCarty, 1998).	26
Şekil 4.4. Morgenstern-Price (1965) yöntemindeki kuvvet fonksiyon türleri (Tekin, 2011).	27
Şekil 4.5. Psödostatik yöntemde kayma yüzeyine etki eden kuvvetler (Kramer, 1996).	28
Şekil 4.6. Sonlu elemanlara ayrılmış şev kesiti (Plaxis).	31
Şekil 5.1. Şevin ve inşaatın vaziyet planı.	32
Şekil 5.2. Şeve ait kazı kesit planı.	33
Şekil 5.3. Şev bölgesine ait kazı.	34
Şekil 6.1. Bishop yöntemi ile yapılan güvenlik katsayı analizi (Slide).	35
Şekil 6.2. Janbu yöntemi ile yapılan güvenlik katsayı analizi (Slide).	36
Şekil 6.3. Spencer yöntemi ile yapılan güvenlik katsayı analizi (Slide).	37
Şekil 6.4. Fellenius yöntemi ile yapılan güvenlik katsayı analizi (Slide).	38
Şekil 6.5. Lowe-Karafiah yöntemi ile yapılan güvenlik katsayı analizi (Slide).	39
Şekil 6.6. Morgenstern-Price yöntemi ile yapılan güvenlik katsayı analizi (Slide).	40
Şekil 6.7. Limit denge yönteminden elde edilen Güvenlik katsayıları.	41
Şekil 7.1. Plaxis programı ana veri girişi menüsü (Plaxis).	42
Şekil 7.2. DeepSoil programı ile Kobe depremi için yapılan deconvolution işlemi (DeepSoil).	43
Şekil 7.3. Erzincan depremine ait akselogram.	43
Şekil 7.4. Kobe depremine ait akselogram.	44
Şekil 7.5. Kocaeli depremine ait akselogram.	45
Şekil 7.6. Newzeland depremine ait akselogram.	45

Şekil 7.7. Oroville depremine ait akselogram.....	46
Şekil 7.8. Victoria depremine ait akselogram.....	46
Şekil 7.9. Erzincan depremine ait ampirik formüllere göre hesaplanan deplasman değerleri.	47
Şekil 7.10. Kobe depremine ait ampirik formüllere göre hesaplanan deplasman değerleri.	48
Şekil 7.11. Kocaeli depremine ait ampirik formüllere göre hesaplanan deplasman değerleri.	48
Şekil 7.12. Newzeland depremine ait ampirik formüllere göre hesaplanan deplasman değerleri.	49
Şekil 7.13. Oroville depremine ait ampirik formüllere göre hesaplanan deplasman değerleri.	50
Şekil 7.14. Victoria depremine ait ampirik formüllere göre hesaplanan deplasman değerleri.	50
Şekil 7.15. Tüm depremlere ait ampirik formüllere göre hesaplanan deplasman değerlerinin gösterimi.	51
Şekil 7.16. Erzincan depremi ivme kaydının Plaxis programı ile şev kesitine uygulanması sonucu oluşan deplasman miktarı (Plaxis).	52
Şekil 7.17. Kobe depremi ivme kaydının Plaxis programı ile şev kesitine uygulanması sonucu oluşan deplasman miktarı (Plaxis).	53
Şekil 7.18. Kocaeli depremi ivme kaydının Plaxis programı ile şev kesitine uygulanması sonucu oluşan deplasman miktarı (Plaxis).	54
Şekil 7.19. Newzeland depremi ivme kaydının Plaxis programı ile şev kesitine uygulanması sonucu oluşan deplasman miktarı (Plaxis).	55
Şekil 7.20. Oroville depremi ivme kaydının Plaxis programı ile şev kesitine uygulanması sonucu oluşan deplasman miktarı (Plaxis).	56
Şekil 7.21. Victoria depremi ivme kaydının Plaxis programı ile şev kesitine uygulanması sonucu oluşan deplasman miktarı (Plaxis).	57
Şekil 7.22. Sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen deplasmanlar (Plaxis).....	58
Şekil 7.23. Araç yükü uygulamasından dolayı oluşan deplasman (Plaxis).	59
Şekil 8.1. Uygulanan depremler sonucunda sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen deplasmanların karşılaştırılması.	60

- Şekil 8.2.** Uygulanan depremler sonucunda ampirik formüllerle elde edilen deplasmanların karşılaştırılması. 61
- Şekil 8.3.** Uygulanan depremler sonucunda sonlu elemanlar ve ampirik formüllerle elde edilen deplasmanların karşılaştırılması. 62

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Şev hareketlerinin sınıflandırılması (Varnes, 1978).....	7
Çizelge 3.2. Şevlerde gerilme ve direnç değişimi (Türkmen, 2009).....	15
Çizelge 5.1. Zemin değerleri.	34
Çizelge 7.1. Tüm depremlere ait ampirik formüllerden elde edilen deplasman değerleri	51

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklamalar
G_S	: Güvenlik katsayısı
M	: Dilimin toplam ağırlığı
α	: Dilimin tabanıyla yatay arasındaki açı
u	: Dilimin tabanındaki boşluk suyu basıncı
ϕ'	: Efektif kayma mukavemeti açısı
c	: Efektif kohezyon değeri,
b	: Dilimin genişliği.
θ	: Kayma yüzeyinin yatay ile açısı
a_c	: Yenilme ivmesi
a_{maks}	: Pik ivme
D_n	: Oluşan deplasman miktarı
γ	: Birim hacim ağırlık
E	: Elastisite modülü
H	: Şev yüksekliği
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
ru	: Boşluk suyu basıncı oranı
F_h	: Statik kuvvetleri temsil eden yatay dinamik kuvvet
F_v	: Statik kuvvetleri temsil eden düşey dinamik kuvvet
a_h	: Yatay Psödostatik ivme
a_v	: Düşey Psödostatik ivme
W	: Kayan zeminin ağırlığını,
k_v	: Düşey Psödostatik katsayıları
k_h	: Yatay Psödostatik katsayıları
l_{ab}	: Kayma yüzeyinin mesafesi

1. GİRİŞ

Şev genel anlamda “yatay veya doğal arazi yüzeyi ile belirli bir derecede açığı yapan zemin kütlesi” olarak tanımlanabilir (Cernica, 1995). Şev stabilitesi analizleri inşaat mühendisliğinin önemli araştırma konularından biridir. Bunun sebebi, depremler gibi doğal afetler ve çeşitli dinamik veya statik yükler nedeniyle şevlerin stabilitelelerini kaybederek göçmesi sonucu ciddi can ve mal kayıplarına yol açmasıdır. Şevlerin stabiliteleleri hem elastik teoriye dayanan limit denge yöntemleri ile hem de sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilebilmektedir. Limit denge analizlerinde kullanılan yöntemlerin birçok çeşidi vardır (Fellenius yöntemi (1927), Bishop yöntemi (1955), Janbu yöntemi (1956), Lowe-Karafiath yöntemi (1959), Morgenstern ve Price yöntemi (1965), Spencer yöntemi (1967)). Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerde, bilgisayar yardımıyla hazırlanmış programlarda kullanılmaktadır. Bu yazılımlardan Plaxis programı, oluşmuş depremler ve çeşitli dinamik yüklerin şev üzerine etki ettirilmesi ile de analiz yapmaktadır. Ayrıca Deepsoil programı ile çalışmada kullanılan depremlerin, Plaxis analizi öncesi düzeltme işlemleri uygulanmaktadır. Slide programı ile de şevin statik durumunun analizi yapılabilmektedir. Bu çalışmada inşası planlanan bir konut inşaatına ait ve üst kısmından karayolu geçmesi sebebiyle de dinamik yüke maruz kalan bir şev alanı göz önüne alınmıştır. Ele alınan şev alanı statik yükler için limit denge yöntemleriyle, dinamik yükler için ise sonlu elemanlar yöntemleri ile çözümlenmiş ve bulunan sonuçlar literatürdeki ampirik formüller kullanılarak hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Günümüzde yağışların ve iklim özelliklerinin değişmesi sebebiyle özellikle eğimli arazilerde kayma ve göçme önem arz etmektedir. Dolayısıyla bu tür arazilerin stabilitelerini sağlamak amacıyla geliştirilen yöntem ve hesaplamaların önemi de giderek artmaktadır.

Tekin (2011), çalışmasında sonlu elemanlar yöntemini ve limit denge yöntemini kullanarak şev stabilitesini kazıklı ve kazıksız durumlara göre incelemiştir. En önemli amaçlarında birisi yenilme yüzeyinin güvenlik katsayısının değişmesine endeksli olarak oluşumunu dayanım düşürme ve sonlu elemanlar yöntemleri ile incelemektir. Şev stabilitesini incelerken sonlu elemanlar yöntemini kullanırken Plaxis, Limit denge yöntemlerini kullanırken Slope/W programı ile parametrik analizler sonuçlarını hesaplamıştır. Dayanım düşürme yönteminde şevin zemin parametrelerini değiştirerek şevin emniyet katsayısı azalmıştır. Limit denge yöntemi ile elde ettiği emniyet katsayılarını, dayanım düşürme yönteminden elde ettiği emniyet katsayıları ile karşılaştırmıştır. Yine aynı şev üzerinde kazıklı iksa uygulayarak emniyet katsayısına, kritik yenilme yüzeyine ve emniyet katsayısına etkisini incelemiştir. Limit denge yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemi ile tespit ettiği emniyet katsayılarının birbirine yakın değerlerde oluşunu gözlemlenmiştir. İksa tedbiri uyguladığı yöntemde kullandığı şev stabilitesi yazılımlarının getirdiği zorluklara rağmen emniyet katsayısı konusunda fikir vermek amaçlı faydalı sonuçlar tespit etmiştir.

Güler (2017), çalışmasında deprem yükü etkisinde şevlerin stabilite durumlarını incelemiştir. Şevlerin stabilite performansını tespit etmek amacıyla karşılaştırmalı analizler yapmıştır. Analizlerinde Slide ve Plaxis programlarını kullanarak, statik analizler için Slide 6, dinamik analizler için Plaxis programları ile çalışmıştır. Statik analizlerde çalışmasına konu edindiği şevin statik durumda stabilitesini koruduğunu tespit etmiştir. Dinamik analizler için bir çok farklı deprem ivme kaydı kullanılmış bu ivme kayıtları ile, şeve ait kritik ivme değerlerini bulduktan sonra şevin stabilitesini literatür formülleri ile hesaplamıştır. Ayrıca literatür formüllerinden elde ettiği sonuçlar ile Plaxis programını kullanarak elde ettiği sonuçlar ile karşılaştırmıştır.

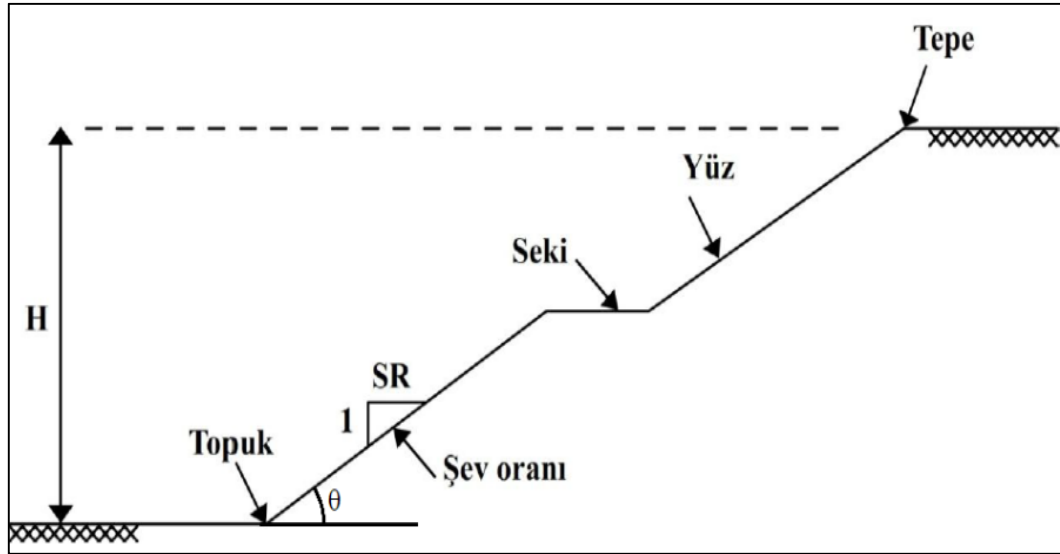
Karadağ (2019), çalışmasında şev stabilitesi hakkında bilgiler vermiştir. Şevler ile ilgili bazı meydana gelmiş olaylardan bahsetmiştir. Şevlerin stabilite sorunları, bazı şev hareketleri ve şev stabilitesi yöntemlerini açıklamıştır. Yalova ilinde gerçekleşen bir karayolunun kayması sonucu oluşan vakayı, Slide ve Plaxis programlarını kullanarak

statik ve dinamik analizler yaparak incelemiştir. Oluşan hasarın çözümünde yönelik kazıklı iksa uygulaması yaparak uygun çözümler tavsiye etmiştir.

3. ŞEV ve ŞEV STABİLİTESİ

3.1. Şev Bilgisi

Doğada kendi halinde bulunan veya farklı amaçlar için doğal zeminin eğimli bir şekle getirilmesi ile meydana gelen eğimli alanlara şev denir. “Şev yüzeyinin yatayla yaptığı açıya şev açısı, bu açının tanjantına da şev eğimi adı verilir” (Ulusay, 1996).



Şekil 3.1. Şevleri tanımlamada kullanılan terminoloji (Coduto, 2006).

Şevin stabilitesini kaybedip hareket etmesine şev göçmesi, heyelan, toprak kayması vb. denir (Ulusay, 1996). Şevin stabilitesini kaybetmesine kuvvetli yağışlar, dış etmenler, depremler veya diğer dinamik yükler gibi birçok farklı olay sebep olabilmektedir.

3.2. Şev Türleri

3.2.1. Doğal şevler

Yeryüzünde herhangi bir yapay etkiye maruz kalmamış doğal olarak oluşmuş, genel olarak stabilitesini normal şartlarda koruyabilen şevlere doğal şev denir. Doğal şevlerin stabilitesinin bozulmasının en yaygın sebepleri, “şev içindeki boşluk suyu basıncının artması, şevdeki gerilme alanında zamanla meydana gelen değişiklikler, akarsu veya deniz tarafından meydana getirilen erozyonlar veya sismik aktiviteler gibi dış etkenler” sayılabilir (Ulusay, 1996).

3.2.2. Suni Şevler

Doğal Şevlere, mühendislik amaçlı veya başka amaçlar doğrultusunda insanlar tarafından müdahale edilmesi ile istenen ihtiyaa uygun hale getirilen Şevlere suni Şev denir. Örneğin “dolgular, yarmalar, depolama alanları” gibi (Ulusay, 1996).

3.2.2.1. Dolgu ve bent Şevleri

Dolgu ve bent gibi ihtiyaçlar doğrultusunda taŐınan zeminin sıkıŐtırılması ile oluşturulan, “yol ve tren yolları, depolama alanları, bentler, toprak barajlar ve setleri” gibi alanlarda kullanılan Şevlere dolgu ve bent Şevi denilmektedir (etin, 2010).



Şekil 3.2. ilekli göleti için yapılan dolgu Şevi (Url-1).

3.2.2.2. Yarma Şevleri

İnşaat mühendisliği alanında yapıların temelleri, karayolu, hendek gibi iŐler için oluşturulan, alandaki zeminin, parametrelerine göre ve yapılacak iÇin gereksinimleri doğrultusunda stabil olarak yapılan Şevlere yarma Şevi denilmektedir (etin, 2010).



Şekil 3.3. Karayolu için yapılan yarma şevi (Url-2).

3.2.2.3. Depolama alan şevleri

Hem yarma hem dolgu şevi ile yapılan depolama alanları genel olarak maden ve endüstriyel amaçlar için oluştururlar. Depolama için yapılan şev stabilite analizleri, diğer şev türleri için yapılan stabilite analizlerine benzerdir (Çetin, 2010).



Şekil 3.4. Depolama alanı için yapılan şev (Url-3).

3.3. Şevlerde Göçme Durumları

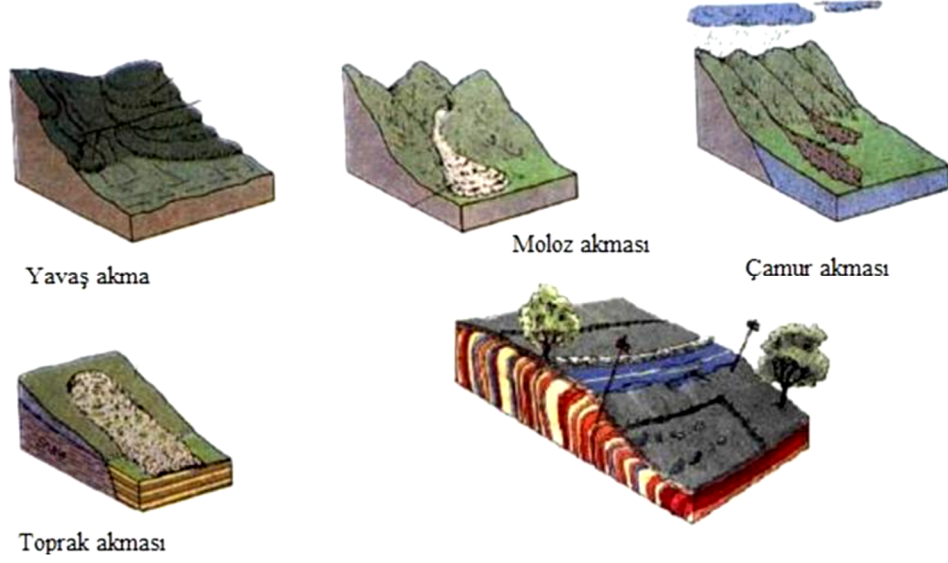
Şevler yapay veya doğal nedenlerden dolayı yer çekiminin de etkisi ile hareket edebilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda bu zemin hareketleri farklı nedenlere ve farklı türlere göre sınıflandırılmıştır. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan Varnes (1978) tarafından oluşturulan sınıflandırma Çizelge 3.1 de verilmiştir (Akbulut, 2012).

Çizelge 3.1. Şev hareketlerinin sınıflandırılması (Varnes, 1978).

HARAKET TÜRÜ		MALZEME ÇEŞİDİ		
		ZEMİN ÇEŞİDİ		KAYA
		İNCE TANELİ ZEMİN	İRİ TANELİ ZEMİN	
DEVRİLME		Zemin Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Kaya Devrilmesi
DÜŞME		Zemin düşmesi	Moloz düşmesi	Kaya düşmesi
KAYMA	DAİRESEL	Zeminde dairesel kayma	Molozda dairesel kayma	Kayada dairesel kayma
	ÖTELENME	Zeminde blok türü ötelenme Zemin kayması	Molozda blok türü ötelenme Moloz kayması	Kayada blok türü ötelenme Kaya kayması
AKMA		Zemin akması	Moloz akması	Kaya akması
YANAL YAYILMA		Zemin yayılması	Moloz yayılması	Kaya yayılması
KARMAŞIK KAYMALAR		Yukarıda belirtilen hareket çeşitlerinden birkaçının birlikte olduğu hareketler		

3.3.1. Akma

Konsolide olmamış zeminlerin kuru veya doygun şekilde hızlı veya yavaş halde yamaç boyunca yoğun bir sıvı gibi hareket etmesine “akma” denir. Kil boyutundan moloz boyutuna kadar olan malzemeler ve kuru kumlarda stabilitesizlik meydana gelebilir. Genel olarak moloz akması, çamur akması ve kum akması olarak adlandırılmaktadır (Ulusay, 2001).



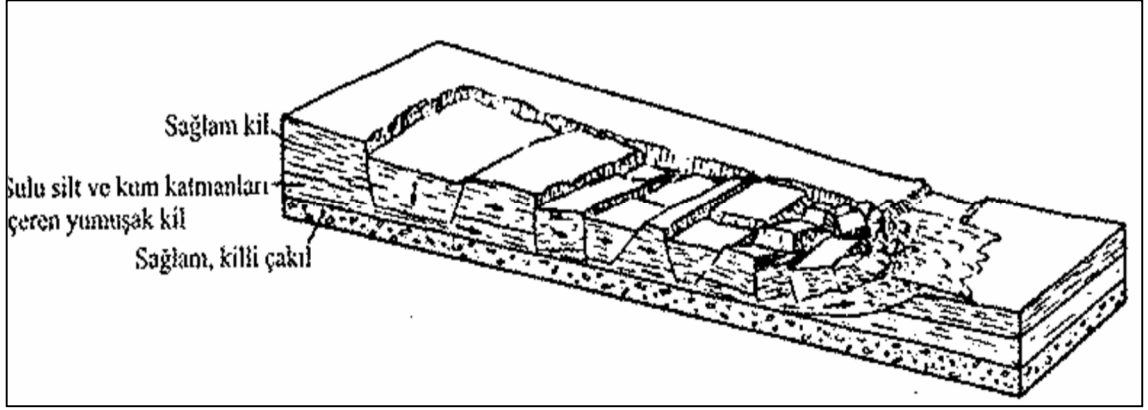
Şekil 3.5. Farklı akma durumları (Ulusay, 2001).



Şekil 3.6. Akma, Venezuela, 1999 (Fotograf: L.M.Smith, W.E.Station, US.Army Corps of Engineers) (Güler, 2017).

3.3.2. Yanal yayılma

Zayıf zemin tabakaları boyunca meydana gelen göçmeleri takiben üstteki daha mukavemetli tabakalarda meydana gelen ayrılmaların oluşması hareketine yanıl yayılma denir. Deprem sırasında suya doymun ve zayıf doymun kum tabakalarında bu tür göçme şekli oluşabilmektedir. Genel olarak orta eğimli zeminlerde görülür ve akarsu yakınlarına kadar ulaşabilmektedir (Coduto, 2006).



Şekil 3.7. Yanal Yayılma (Coduto, 2006).



Şekil 3.8. Yanal Yayılma, ABD, 1989 (Fotograf: S.Ellen, U.S. G.Survey) (Güler, 2017).

3.3.3. Kayma

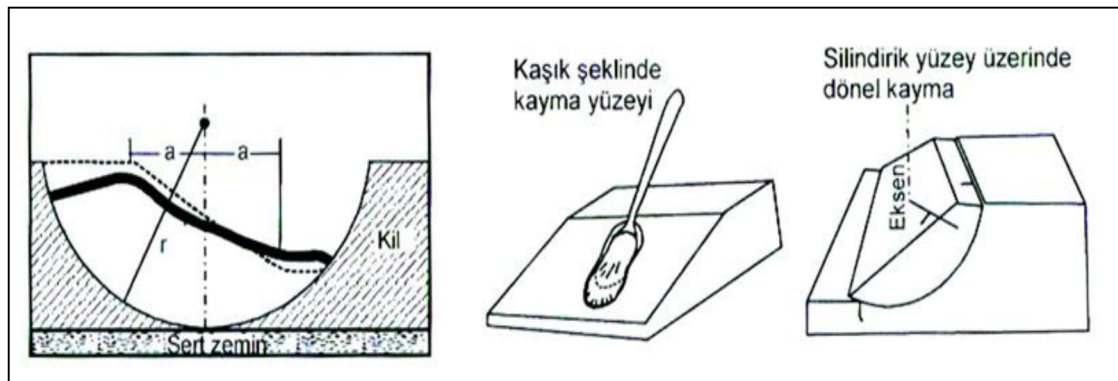
Şev zemininde, belirli bir yüzey boyunca makaslama yenilmesine bağlı olarak, kazı çukuru istikametinde ötelenmeli veya doğru dönel bir hareket ile oluşan stabilite bozulmasına kayma denir. Şevler de en çok görülen stabilitesizlik şeklidir. Kaymalar, ötelenmeli ve dönel olarak iki türde meydana gelmektedir (Ulusay, 2001).



Şekil 3.9. Kayma, Kanada, 2001 (Fotograf: R. Couture, Kanada G. Survey) (Güler, 2017).

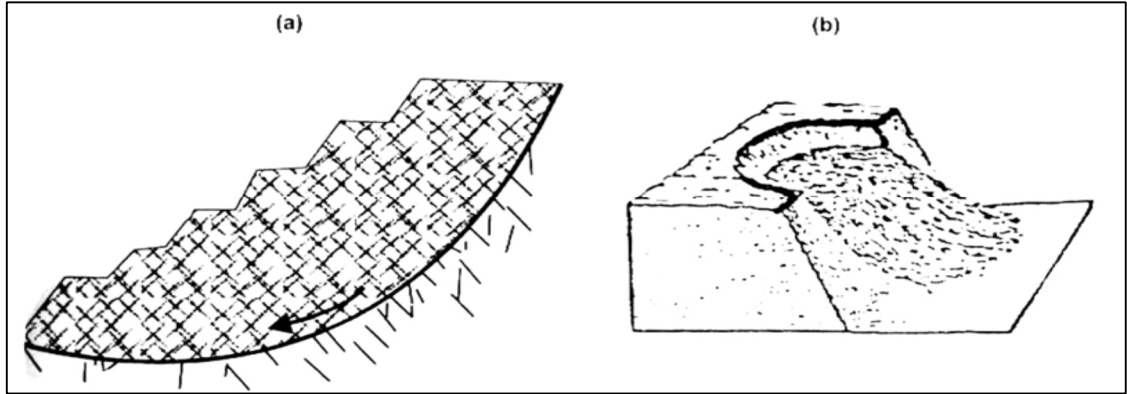
3.3.3.1. Dönel kayma

Dönel kaymalar, dairesel kaşık yüzeyine benzer bir yüzeyde oluşur ve şevin hareketi anında kayan zemin arkaya doğru yatmış gibi bir hal alır. Bu tür kaymalar orta veya yavaş hızlarda, belirli bir kayma yüzeyinde oluşmaktadır (Ulusay, 2001).



Şekil 3.10. Dairesel kayma (Ulusay, 2001).

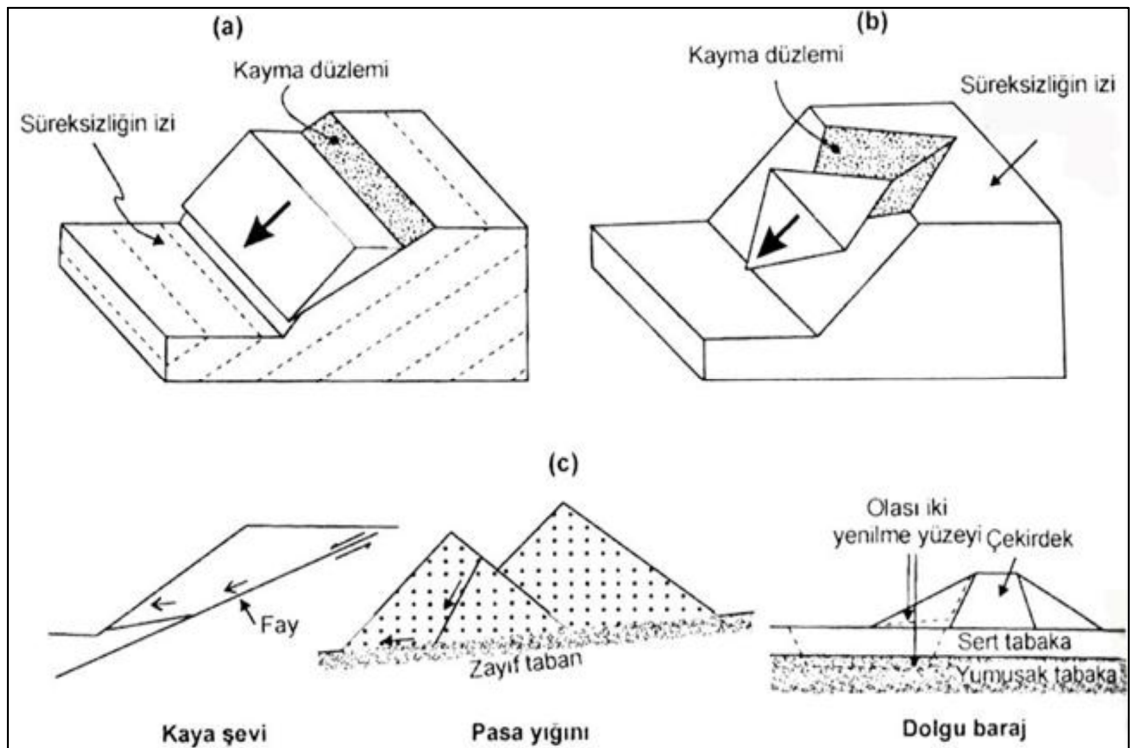
Dairesel kaymalar; genel olarak akarsu kanallarında, dolgularda, yarmalarda ve kum, silt, kil vb. gibi zeminlerde oluşur. Ayrıca ilerlemiş seviyede parçalı kaya kütlelerinde ve ilerlemiş seviyede ayrılmış kayalarda da gözlemlenmektedir (Ulusay, 2001).



Şekil 3.11. a) İlerlemiş seviyede parçalı kaya kütlelerinde ve b) Ayrışmış kayalarda dairesel kayma (Ulusay, 2001).

3.3.3.2. Ötelenmeli kayma

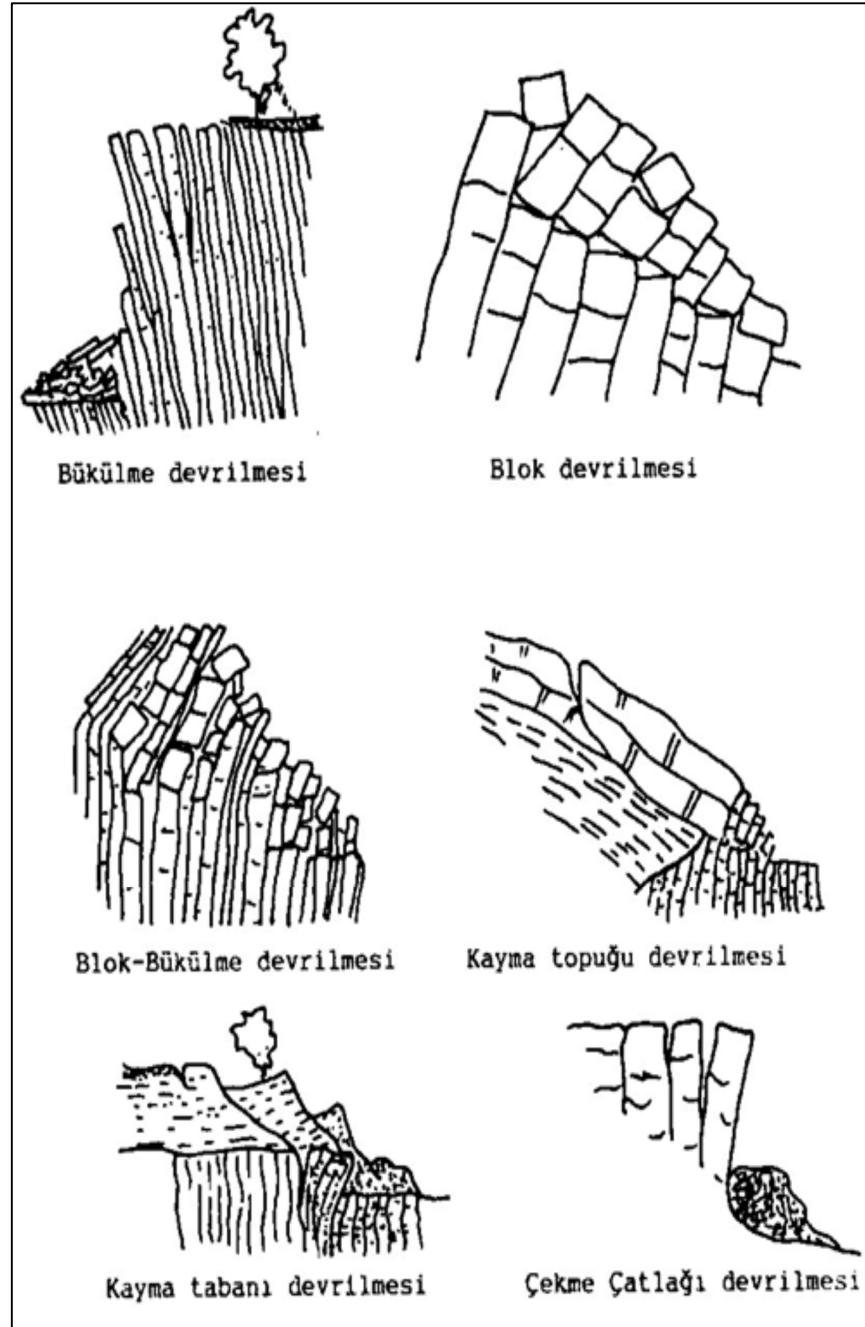
Az pürüzlü yüzeylerde makaslama yenilmesinden dolayı, zeminin kayma yüzeyi ile aynı açıyla ileri doğru hareket ettiği kaymalar, ötelenmeli kayma olarak aldandılar. Bu tür kaymalarda zemin dairesel kaymalara göre daha az deforme olur. Ötelenmeli kaymalar Düzlemsel kayma, Kama türü kayma ve iki veya çok yüzeyli kayma gibi birkaç farklı şekilde görülmektedir (Ulusay, 2001).



Şekil 3.12. a) Düzlemsel kayma b) Kama tipi kayma c) Çok yüzeyli kaymalar (Ulusay, 2001).

3.3.4. Devrilme

Sadece dik yamaçlarda görülen, sertleşmiş kil veya kaya türü zeminlerde çatlayarak bütün zeminden ayrılmış parçaların, bir eklem yerinden veya çatlaklarından kopması sonucu devrilerek düşmesi olayına devrilme denilir (Coduto, 2006). Devrilmeler birkaç farklı şekilde görülebilmektedir.



Şekil 3.13. Doğada Görülebilen Devrilme şekilleri (Goodman ve Bray, 1976).



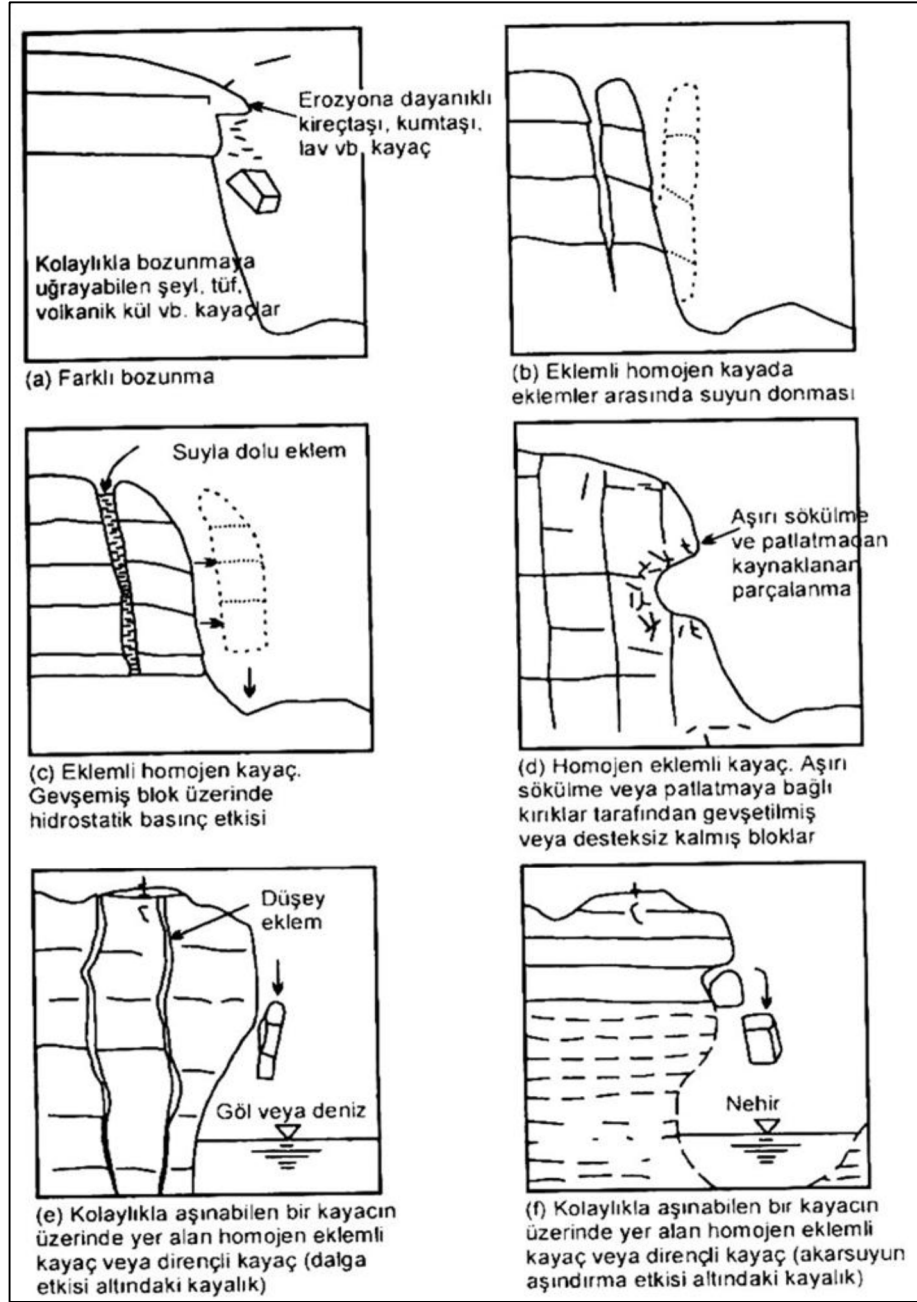
Şekil 3.14. Devrilme, Kanada (Cruden ve Varnes, 1996).

3.3.5. Düşme

Genel olarak yüksek eğimli yamaçlarda görülen, hızla düşüp yuvarlanan hatta savrulan zemin veya kaya parçalarının düşmesi sonucu meydana gelmektedir (Coduto, 2006). Düşme, düşen zemin veya kayanın cinsine göre birkaç farklı türde bulunur. Zemin (Toprak) düşmesi, kaya düşmesi, moloz düşmesi gibi.



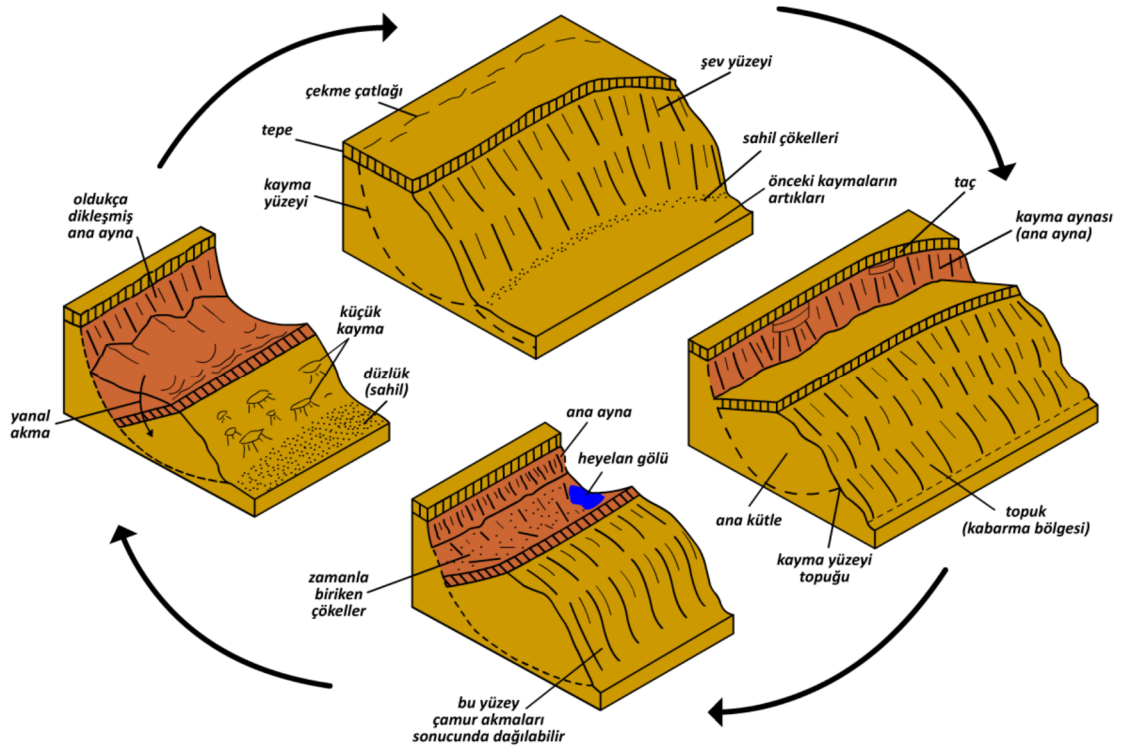
Şekil 3.15. Düşme Kolorado, ABD, 2005 (Fotograf:Colorado G.Survey) (Güler, 2017).



Şekil 3.16. Kaya kütlelerinde kaya düşmesine neden olan süreçler (Ulusay, 2001).

3.3.6. Karmaşık hareketler

Göçme durumlarının birkaçının beraber veya peş peşe gerçekleştiği göçme duruma karmaşık hareketler denilmektedir. Devrilme şeklinde bir göçme, kaya düşmesine, ardından kaya akmasına yol açabilmektedir. Örnek olarak killi siltli zeminin bulunduğu ortamlarda oluşabilecek heyelan ilerledikçe çamur akmasına sebep olabilmektedir (Tekin, 2011).



Şekil 3.17. Bir kısım akma özellikleri de içeren karmaşık kayma (Bromhead, 1986).

3.4. Şevlerde Stabilitiyi Etkileyen Durumlar

Şevlerde çeşitli etkilerden dolayı gerilmelerde artma, dengenin bozularak yıkıcı tarafa geçmesi ve zemindeki tutunma direncinin düşmesi gibi sebeplerden ötürü stabilite kayıpları yaşanabilir (Türkmen, 2009). Bu etkilerden bazıları Çizelge 3.2. 'de belirtilmektedir.

Çizelge 3.2. Şevlerde gerilme ve direnç değişimi (Türkmen, 2009).

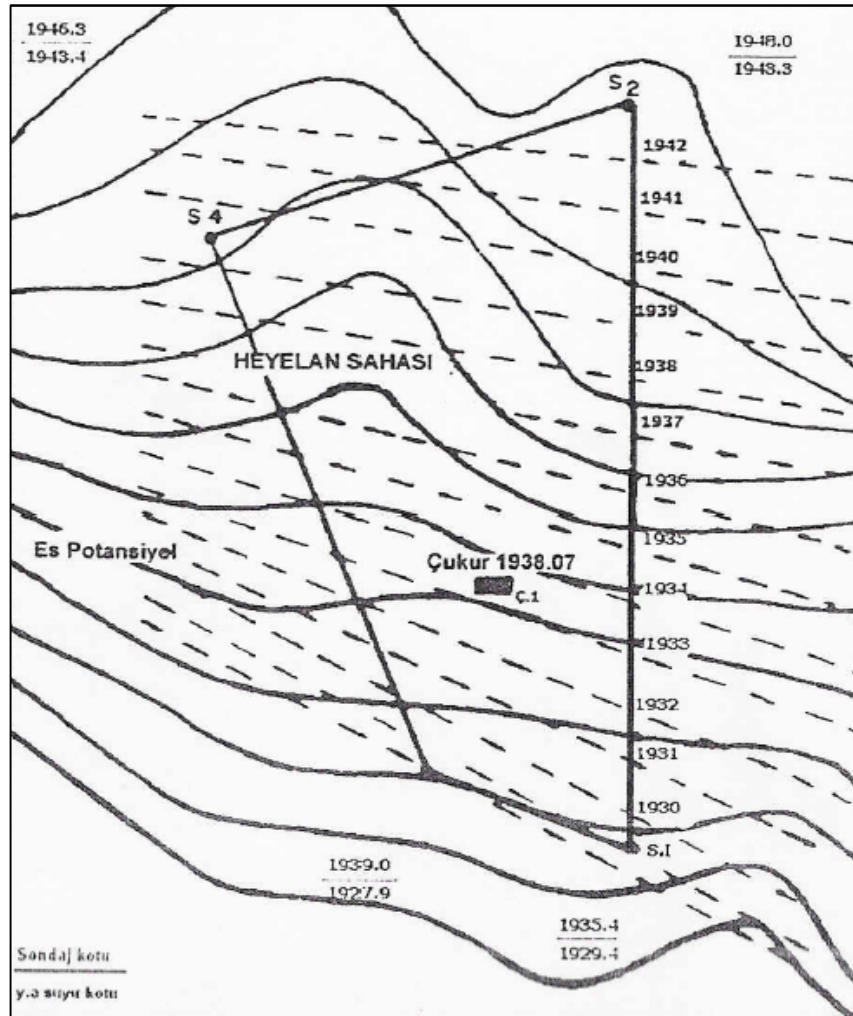
DİRENCİN DÜŞMESİNE ETKİ EDEN DURUMLAR	GERİLEM ARTMASINA ETKİ EDEN DURUMLAR
Süreksizlik yüzeylerinde su basıncı	Şev dışındaki su düzeyinde düşme
Yıpranma ve Aşınma	Çekme çatlaklarına su dolması
Ani ıslanma ve yapının deformasyonu	Giderek kırılma durumu
Çimentolayıcı malzemenin yıkanması	Deprem ve diğer titreşim ivmeleri
Zaman ve hareket sonucu dirençte maksimumdan kalıcıya düşme	Şev üstünde yük artışı
Çatlak ve boşluklarda bulunan buz mercceklerinin erimesi	Topuğa yakın bölgeden malzeme kaybı

3.4.1. Şevlerde su etkisi

Şevlerde dengeyi değiştirebilen en etili etkilerden biri sudur. Sudan dolayı oluşan hidrostatik iki şekilde yeraltı ve yeryüzü olarak incelebilmektedir (Türkmen, 2009).

3.4.1.1. Yeraltı suları

Zeminlerde yeraltı suyunun olup olmadığı sondajlar veya şevlere konulan piyezometreler yardımıyla tespit edilmektedir. Sondaj yapılarak elde edilen su kotlarının okunması ile çizilen yeraltı suyu seviyeleri Şekil 3.18'de verilmiştir. Piyezometre bulunmadığı durumlarda bu yöntem yeraltı suyu hakkında bilgi edinmek amacı ile kullanılmaktadır (Türkmen, 2009).



Şekil 3.18. Sondajla bulunan yeraltı su seviyelerinden, serbest su profilinin çıkartılması (Türkmen, 2009).

3.4.1.2. Yeryüzü suları

Yeryüzü suları şevlerin aşınmasını sağlayarak ve toplam gerilmeleri artırarak stabilitesini azaltır. Stabilité analizi için efektif ve toplam gerilemelerde yeryüzü suları, kohezyon ve içsel sürtünme açısının sıfır olduğunu kabul ederek, kayan kütle sınırlarına etki eden bir dış yük olarak ele alınmaktadır (Türkmen, 2009).

3.4.1.3. Çatlak suyu etkisi

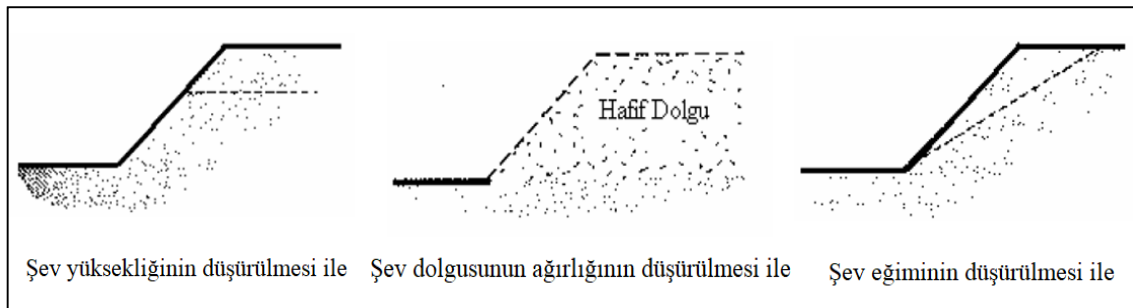
Çatlak suyu etkisi, çekme çatlaklarına su dolması nedeni ile şevde ilave hidrostatik kuvvetlerin oluşmasına sebep olmaktadır. Çatlak suyu kuvveti bulunarak kaydırıcı kuvvetlere ilave edilmektedir (Türkmen, 2009).

3.5. Şevlerde Stabilité İyileştirmeleri

Mevcut veya yapılması istenen şevlerin stabiliteelerini olması gereken hale getirilebilmesi için şevlere uygun iyileştirme yöntemleri uygulanmaktadır. İyileştirme gereken şevlerde kaymanın durdurulması veya önlenmesi için zeminin dayanımını artırmak amacıyla yapısal olmayan veya yapısal yöntemler ile iyileştirme yapılabilmektedir (Popescu ve Sasahara, 2009).

3.5.1. Yük azaltma

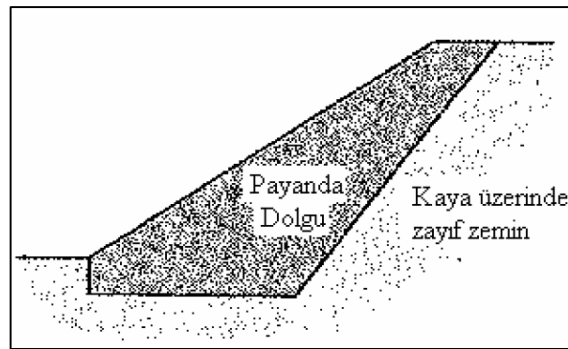
Şevlerde en kolay ve en düşük maliyetli iyileştirme yöntemlerinden bir tanesi şevin kaydırıcı yüklerini olabildiğince azalmaktır. Bu yönteme örnek, Şekil 3.19.'da gösterilmektedir.



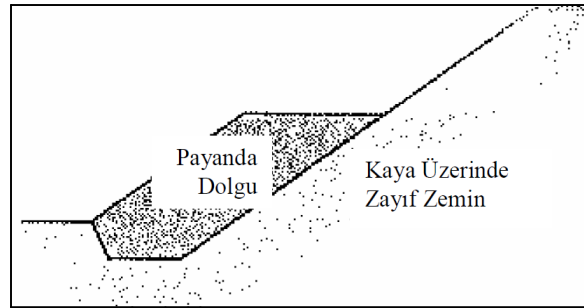
Şekil 3.19. Yük azaltma ile iyileştirme (Coduto, 2006).

3.5.2. Payandalama

Yarma şevlerinde genel olarak uzun süreli stabilite, kısa süreli stabiliteden daha düşük olmaktadır. Şekil 3.20’de verildiği üzere kısa süreli yapılması planlanan şevlerin dike yakın bir açı ile açılıp , topuk bölgesine kayma direnci daha iyi farklı bir zemin ile payanda amaçlı dolgu doldurulabilmektedir. Şekil 3.21’de de şevde herhangi kazı işlemi olmadan yapılabilen payanda şekli gösterilmektedir. Payanda dolgusunun kaba daneli bir yapıda olması şevin drenajına olumlu etki sağlamaktadır (Popescu ve Sasahara, 2009).



Şekil 3.20. Kazı yapılarak yapılan payanda dolgusu (Coduto, 2006).

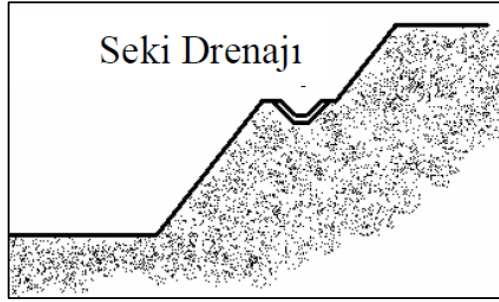


Şekil 3.21. Kazı yapılmadan yapılan payanda dolgusu (Coduto, 2006).

3.5.3. Drenaj

3.5.3.1. Yüzev drenajı

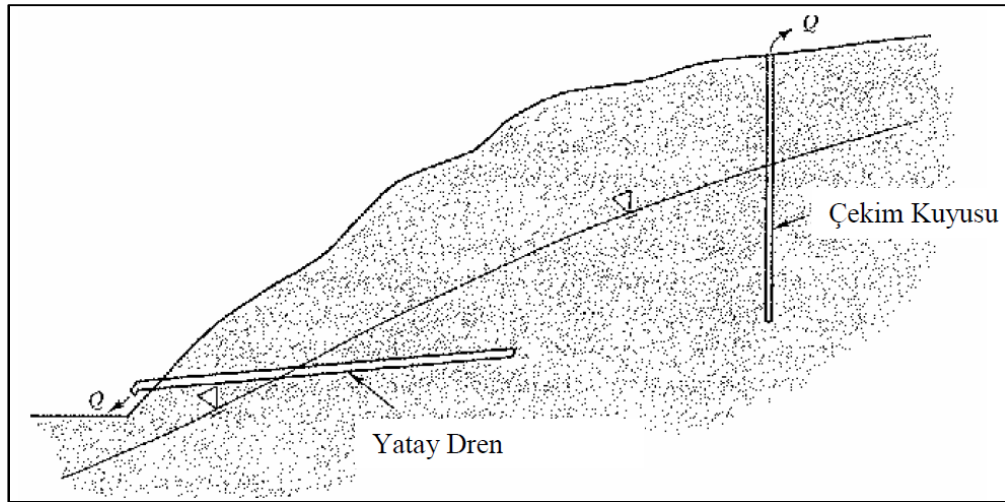
Şevlerde yer yüzüne yakın ve yeryüzündeki suların drenajının devamlı olarak drene edilmesi şevin stabilitesi için gereklidir (Pupescu ve Sasahara, 2009). Şevlerde drenajın birçok yolu vardır. Şekil 3.22’de şevin seki bölümüne yapılmış beton drenaj oluşu gösterilmektedir.



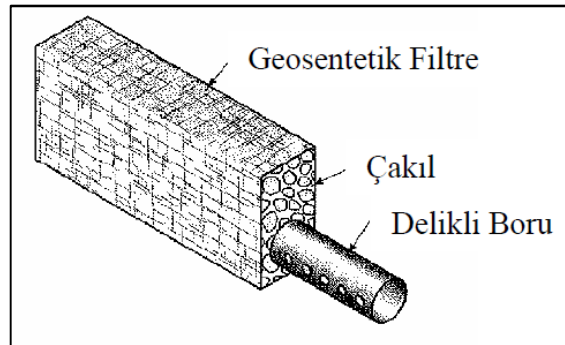
Şekil 3.22. Şevin seki bölümüne yapılan beton seki drenaj oluğu (Coduto, 2006).

3.5.3.2. Yeraltı drenajı

Şevlerde yağışlardan ve başka yollardan yer altına sızan suları stabilitenin bozulmaması için şevden uzaklaştırmak amacı ile yeraltına farklı uygulama yöntemleri ile drenaj yapılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bazı drenaj yöntemleri Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’de gösterilmektedir.



Şekil 3.23. Yatay drenler ve çekim kuyuları ile yapılan drenaj (Coduto, 2006).



Şekil 3.24. Delikli perfore boru ile yapılan drenaj (Coduto, 2006).

3.5.4. Bitkilendirme

Şevlerde iyileştirme amaçlı yapılan bitkilendirmenin stabiliteye zemin suyunun uzaklaştırılması, erozyonun engellenmesi, sığ kaymaların önüne geçilmesi gibi birçok olumlu etkileri bulunmaktadır. Yapılacak bitkilendirmede derin köklere sahip kullanılması ile bir nevi bitki köklerinin zemin çivisi gibi davranarak şevin stabilitesine ilaveten olumlu etkileri olabilmektedir (Karikari ve Agyei, 2000).



Şekil 3.25. Bir karayolu kenarındaki şeve uygulanan bitkilendirme (Ur1-4).

3.5.5. Yapısal iyileştirme

Şevlerde yapısal iyileştirme, stabilitenin daha zor sağlandığı bölgelerde yapılabilmektedir. Bu uygulamalara çeşitli istinat duvarları, zemin çivileri, ankrajlar ve kazık, keson gibi örnekler verilebilmektedir.

Yapılaşmanın yoğun olduğu bölgelerde kazılan şevin yakınındaki yapılardan gelen büyük yükler dikkate alındığında yapısal iyileştirmeler önem arz etmektedir. (Akçakal, 2009)

3.5.5.1. İstinat duvarları

Şev stabilitesinde en yaygın kullanılan yapısal elemanlardan olan istinat duvarları genel olarak kazı alanında şevin kendi kendini tutabileceği eğimin müsait olmadığı durumlarda kullanılmaktadır. Konsol ve ağırlık istinat duvarı olarak iki farklı türü bulunmaktadır. Konsol olarak inşa edilen istinat duvarları 3 ile 8 metre yüksekliğe

kadar yapılabilir. Ağırlık türü istinat duvarları ise donatısız ve harç ile taşlar kullanılarak sadece ağırlıkları ile stabilize sağladıkları için en yüksek 5 metre olarak yapılmaktadır (Abramson ve diğ., 1996). Bazı durumlarda istinat duvarları diğer yapısal elemanlar ile birlikte kullanabilmektedir.



Şekil 3.26. Konsol ve ağırlık istinat duvarları (Url-5-6).

3.5.5.2. Dolgulu çerçeve duvarları

İstinat duvarlarına göre daha kolay şekilde yapılabilir. Dolgulu çerçeve duvarları, esnek ve parçalı olmaları sebebi ile farklı oturmalara engel olabilmektedir. Brandl (1985)'e göre dolgulu çerçeve duvarları 3-4 metre genişlikte, 70 santimetreye kadar farklı oturma durumlarında göçmeden durabilmiştir. Bu duvarlarda dolgu malzemesinin drenajı kolay malzemeler ile yapılması halinde duvar yüzünden drenaj yapma imkanı olmaktadır. Ahşap veya betonarme prekast malzemeler ile yapılabilir (Bromhead, 1986).



Şekil 3.27. Dolgulu çerçeve duvarı (Tekin, 2011).

3.5.5.3. Sandık duvarlar

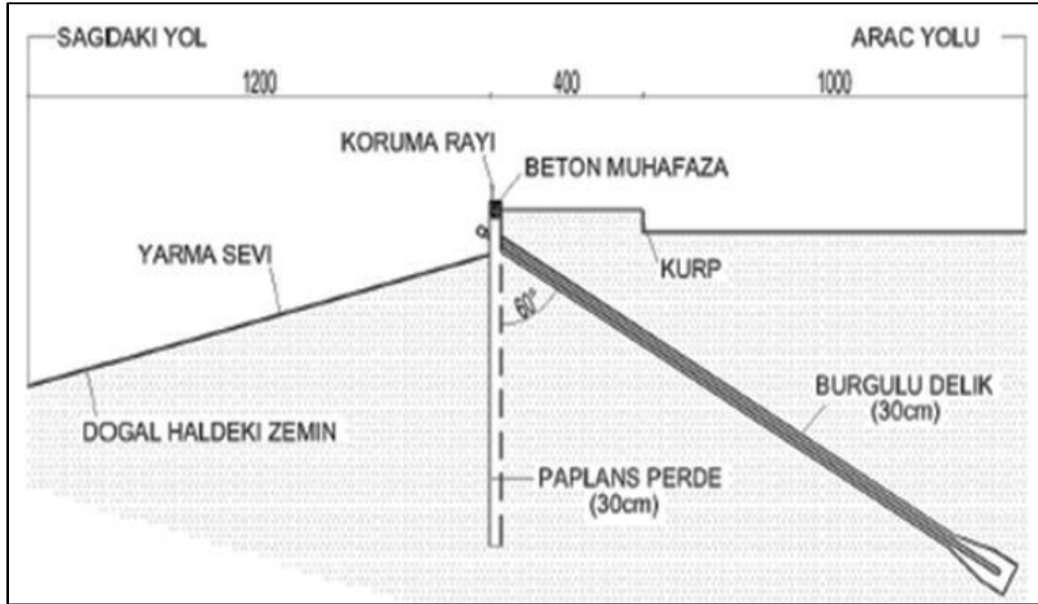
Sandık duvarlar genel olarak 2.0 ya da 4.0 metre uzunluk ve 1x1 metre kesit alanlı sandıklardan yapılmaktadır. İmalatı kolay ve pratik olmakla beraber zor arazi durumlarında da uygulanabilmektedir. Yapıları esnek olduğu için yeterli bir yüzey altı drenajına da mümkündür. Duvar-arka veya duvar-zemin dolgu drenaj koruması geotekstiller ile yapılabilir. Duvarın tasarım kütlesi sandıkların içindeki kayanın kütlesine bağlıdır. Genellikle sandıkların içindeki boşluk oranı 0.45'tir. Devrilme, kayma ve taban basıncı monolitik istinat duvarları ile benzerlik göstermektedir (Bromhead, 1986).



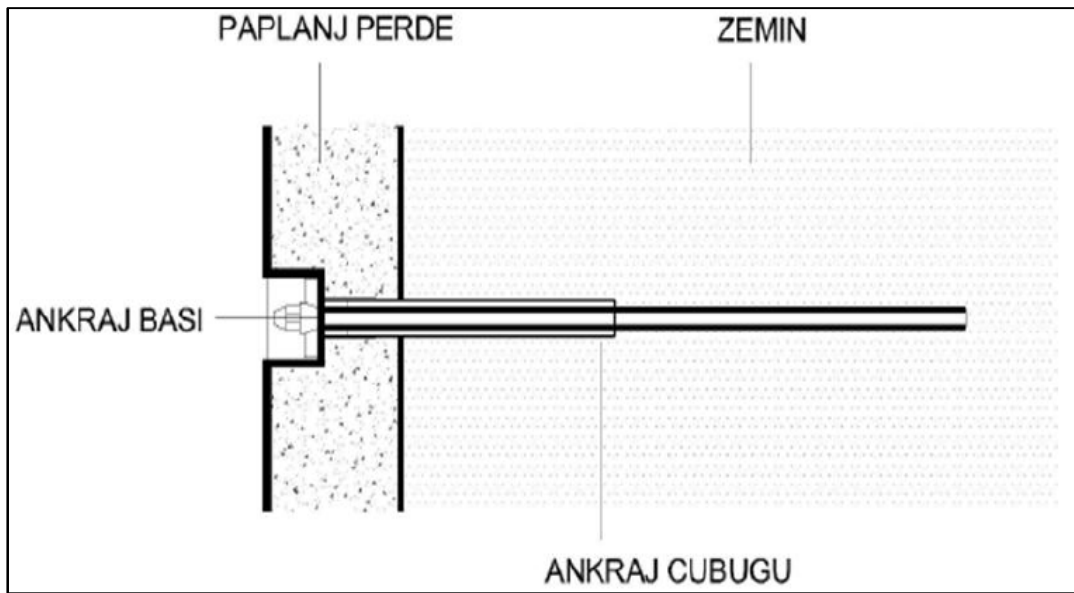
Şekil 3.28. Sandık duvarı görünümü (Bromhead, 1986).

3.5.5.4. Ankraj duvarları (perdeler)

Ağırlık istinat duvarlarının hem ekonomik hem de stabil olmadığı durumlarda ve tamamen göçme yüzeyinin derinde bulunduğu hallerde tercih edilmektedir. Kullanılan ön germeli ankrajlar oluşabilecek kayma hareketine rahatlıkla engel olabilmektedir. Şekil 3.29'deki gibi imal edilebilmektedir. (Abramson ve diğ., 1996).



Şekil 3.29. Şev iyileştirmesi amacıyla imal edilen ankraj duvar kesiti (Tekin, 2011).



Şekil 3.30. Ankraj kesiti (Tekin, 2011).

4. ŞEV STABİLİTESİ ANALİZ YÖNTEMLERİ

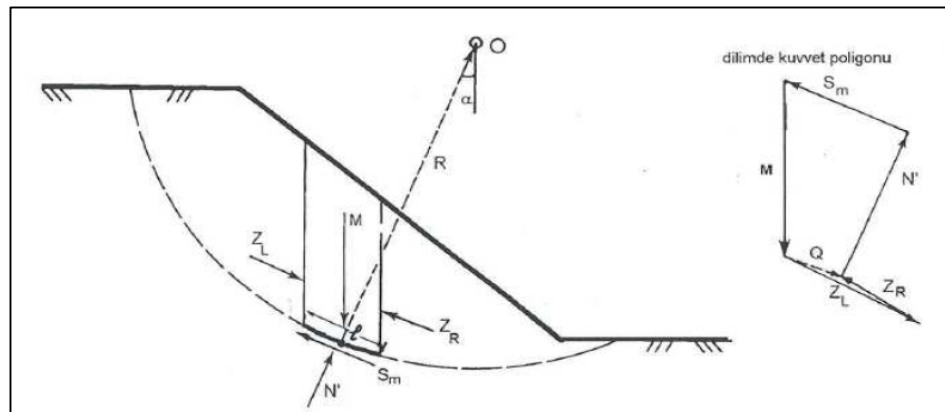
Şevlerin stabilitesi birçok farklı yöntem ile analiz yapılabilmektedir. Bu yöntemlerden bazıları şevin durağan halini analiz etmektedir. Bu analiz yöntemlerine limit denge analiz yöntemi denir. Şevlerin dinamik yüklere maruz kaldığı durumlarda kullanılan analiz yöntemlerine dinamik analiz yöntemleri denilmektedir.

4.1. Limit Denge Analiz Yöntemleri

Limit denge analiz yöntemleri ile şevin kayma ihtimali olan kayma yüzeyi üzerindeki zeminin dengesi hesaplanır (Kramer, 1996). Analizlerde genel olarak birkaç farklı limit denge analiz yöntemi kullanılarak şevin, güvenlik katsayısı tespit edilir. Güvenlik katsayısı hesaplanırken zemin geometrisi, boşluk suyu basıncı, dayanım değerleri ve diğer zemin özellikleri kullanılır (Duncan ve Wright, 2005). İlk olarak İsveç demir yolları için yapılan çalışmada geliştirilen İsveç kayma dairesi metodu (Jarnvagers, 1922) hazırlanmıştır (Tekin, 2011).

4.1.1. Fellenius yöntemi

Bu yöntemde kayma yüzeyi dilimlenerek, dilimlerden hepsine etki eden kuvvetler Şekil 4.1'deki gibi ele alınır. Farz edilen, dilimlere etki eden kuvvetlerin tabanla paralel kabul edilmesidir (Önalp ve Arel, 2004).



Şekil 4.1. Fellenius yöntemindeki etki ettirilen kuvvetler (Önalp ve Arel, 2004).

Bu metot da ortamdaki boşluk suyu basıncının yüksek olması ve şev eğiminin düşük olduğu hallerde, ideal kabul edilen kabullerden dolayı oluşan hataların arttığı görülmektedir (Önalp ve Arel, 2004).

Fellenius yöntemine göre oluşturulmuş formül;

$$G_s = \frac{\Sigma[c'l + (M \cos \alpha - u_w l) \tan \phi']}{\Sigma M \sin \alpha} \quad (4.1)$$

G_s : Güvenlik katsayısı

M: Dilimin toplam ağırlığı

u: Dilim tabanındaki toplam boşluk suyu basıncı olarak tanımlanır.

4.1.2. Bishop yöntemi

Bu yöntemde dairesel kayma yüzeyinde, kuvvet ve moment dengededir (Önalp ve Arel, 2004). Kayma düzeyindeki dilimin kütle vektörünün tam ortadan etki ettiği belirtilmektedir. Dilimlerin altında kalan kuvvetin etki ettiği yer hesaplamalara dahil edilmemektedir (Sarma, 1979).

$$G_s = \frac{\Sigma[c'b + ((M \cdot ub) + \Delta X) \cdot \tan \phi'] / m_a}{\Sigma M \sin \alpha} \quad (4.2)$$

$$m_a = \cos \alpha \left(1 + \tan \alpha \frac{\tan \phi'}{G_s}\right) \quad (4.3)$$

M : dilim toplam ağırlığı, α : dilimin tabanıyla yatay arasındaki açı, u : dilimin tabanındaki boşluk suyu basıncı, ϕ' : efektif kayma mukavemeti açısı, c' : kohezyonu, b : dilimin genişliği.

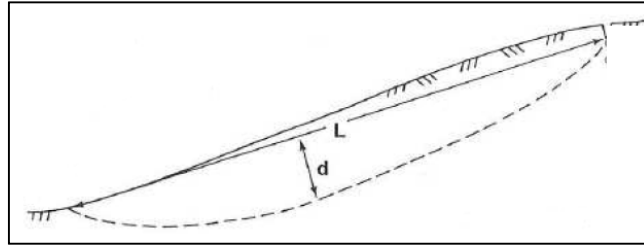
(ΔX) 'in hesabı kompleks hale getirmemesi için, (ΔX) bazı durumlarda göz ardı edilmiştir (Bromhead, 1986).

4.1.3. Janbu yöntemi

Janbu (1956), her durumda kayma yüzeyine uygulanan ve kuvvetlerin denge şartlarını sağlayabilen bir metot geliştirmiştir. Daha sonraki yıllarda bazı değişiklikler yapılarak “Sadeleştirilmiş Janbu Yöntemi” adıyla daha basit hale getirilmiştir (Önalp ve Arel, 2004). Janbu, X kuvvetlerini etkisiz kabul ederek kuvvet dengesini sağlayan güvenlik sayısını formülünde elde etmiştir.

$$F_0 = \frac{\Sigma\{[c'b + ((M \cdot ub) \cdot \tan \phi')] \cdot \sec \alpha \cdot k_\alpha\}}{M \tan \alpha} \quad (4,4)$$

Daha sonra güvenlik sayısı f_0 gibi bir sayı ile çarpılarak düzeltilmektedir.



Şekil 4.2. Şevde uzunluk derinlik (Önalp ve Arel, 2004).

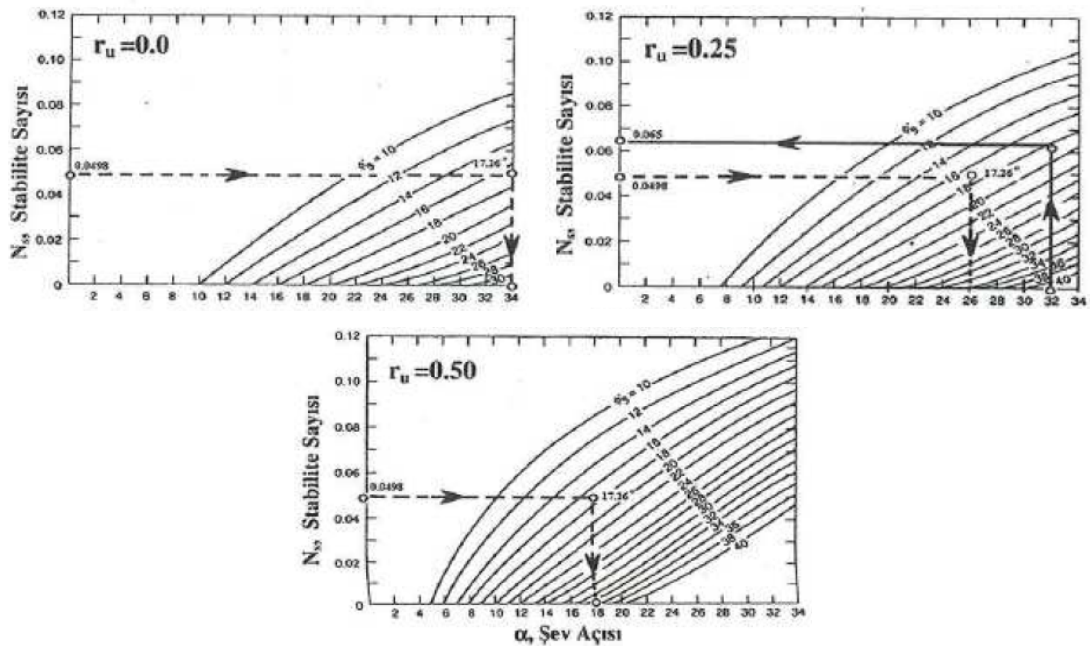
Burada d şevin derinliğini L ise şevin uzunluğunu ifade etmektedir.

$$f_0 = 1 + b \left[\frac{d}{L} - 1.4 \left(\frac{d}{L} \right) \right] \quad (4.5)$$

$$G_s = f_0 \cdot F_0 \quad (4.6)$$

4.1.4. Spencer yöntemi

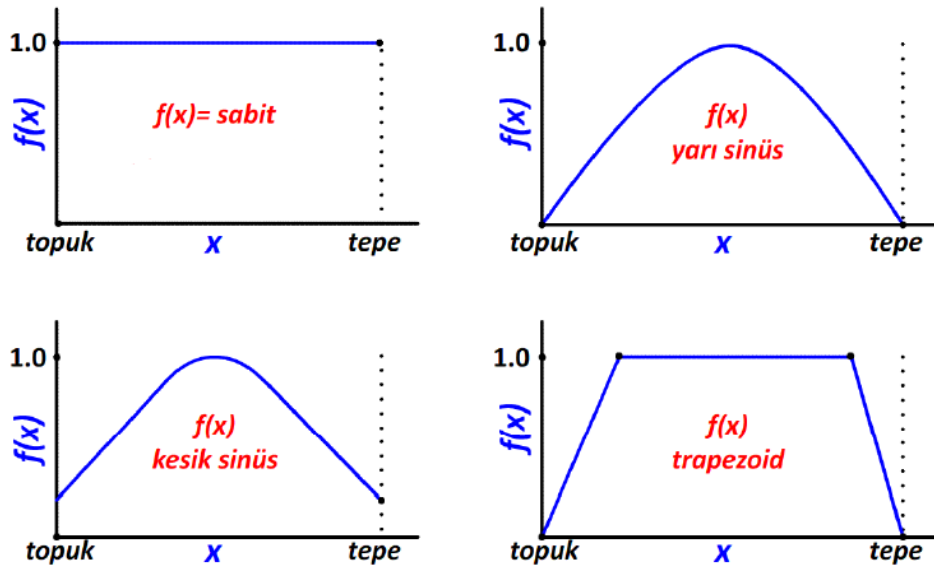
Bu yöntemde Spencer (1967) kuvvetlerin eşit olmadığı, momentlerin eşit olduğu bir yöntem hazırlamıştır. Yöntemde ilk olarak bir G_s katsayısı verilir, daha sonra $N_s = c / (G_s \text{varsayılan } \cdot \gamma \cdot H)$ hesaplanarak abaklar yardımı ile ϕ_d değerinin elde edilmesi için şevin, c , γ , H , b , ϕ , r_u değerleri bulunmaktadır. ϕ_d değerinin $G_s = \tan \phi / \tan \phi_d$ formülünde kullanılması ile G_s hesaplanmaktadır (McCarty, 1998).



Şekil 4.3. Spencer stabilite abakları (Spencer, 1967, alıntılanan McCarty, 1998).

4.1.5. Morgenstern-Price yöntemi

Morgenstern-Price (1965) 'in geliştirdiği yöntemde dilimlerin arasındaki kuvvetlerin birbirine oranlarını sabit olarak varsaymış ve bu doğrultuda oluşacak kayma ve normal kuvvetleri değişik fonksiyonlar şeklinde hazırlamıştır. Bu yöntemde Morgenstern-Price (1965) dilimlerin aralarındaki kuvvetlerin fonksiyonlara göre tanımlanmasını mümkün hale getirmiştir. Bunlardan bazıları trapezoid, yarı sinüs, sabit sinüs ve kesilmiş sinüs 'dür. (Tekin, 2011).



Şekil 4.4. Morgenstern-Price (1965) yöntemindeki kuvvet fonksiyon türleri (Tekin, 2011).

4.1.6. Lowe-Karafiht yöntemi

Bu yöntemde Lowe-Karafiht (1959) bazı varsayımlarda bulunularak, dilimlerin arasındaki kuvvetlerin eğimlerinin kayma yüzeyiyle zemin yüzeyi eğimlerinin ortalaması olduğunu kabul etmiştir. Bu eğimlerin bir dilimden başka bir dilime geçilince değişmesi, dilim sınırlarının yerlerine endekslidir. Bu yöntem ile hesaplanmış güvenlik katsayıları, tam denge yöntemleri kullanılarak hesaplanmış sonuçlar ile yakın değerlerdedir (Duncan ve Wright, 2005).

4.2. Dinamik Analiz Yöntemleri

Depremlerden ve çeşitli sebeplerden oluşan dinamik yükler şevlerin stabilitelerini bozarak göçmesine yol açmaktadır. İlerleyen zaman içerisinde

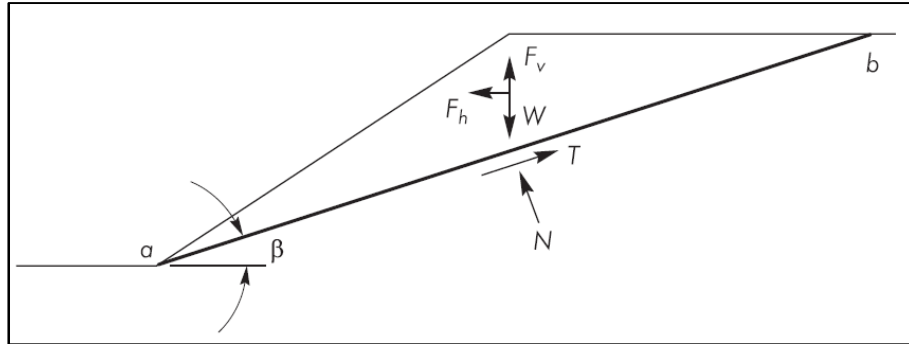
zeminlerdeki dinamik yüklerden oluşan deformasyonları anlamada ve tespit etmede ilerlemeler kaydedilmiştir (Duncan ve Wright, 2005). Bu ilerlemeler sonucunda hem Psödostatik yöntemleri hem de sonlu elemanlar yöntemlerini kullanan bilgisayar programları ortaya çıkmıştır.

4.2.1. Psödostatik yöntem

Günümüzden itibaren 100 yıllık geçmişi olan bu yaklaşımın, net olarak ilk defa uygulamasını Terzaghi (1950) yapmıştır. Psödostatik yöntem; deprem anında oluşabilecek dinamik yüklerin statik düşey veya/ve yatay kuvvetler ile ifade edildiği yöntemdir. Bu statik kuvvetler deprem anında oluşan dinamik kuvvetleri temsil etmektedir. F_h ve F_v şeklindeki ifade edilir ve kayan zeminin ağırlık merkezinden geçer. Psödostatik kuvvetlerin büyüklüğü şu şekildedir:

$$F_h = \frac{a_h W}{g} = k_h W \quad (4.7)$$

$$F_v = \frac{a_v W}{g} = k_v W \quad (4.8)$$



Şekil 4.5. Psödostatik yöntemde kayma yüzeyine etki eden kuvvetler (Kramer, 1996).

F_h ve F_v eşitliğindeki a_h ve a_v düşey ve yatay psödostatik ivmeleri, W kayan zeminin ağırlığını, k_v ve k_h ise düşey ve yatay psödostatik katsayıları ifade eder. Olması ihtimal depremlerin derecesi, psödostatik ivmeler ile alakalı değildir. Paralel olarak Kayan zemine etki eden kuvvetler bileşenlerine ayrıldığında güvenlik katsayısı G_s ;

$$G_s = \frac{\text{tutucu kuvvet}}{\text{kaydırıcı kuvvet}} = \frac{cl_{ab} + [(W - F_v)\cos\beta - F_h \sin\beta]\tan\phi}{(W - F_v)\sin\beta + F_h \cos\beta} \quad (4.9)$$

c ve ϕ , kayma mukavemetini kayma yüzeyinde tanımlayan Mohr Coulomb dayanım parametreleri ve l_{ab} ise kayma yüzeyinin mesafesidir. Günümüzde var olan bilgisayar yazılımlarında Limit denge şev stabilite analizleri ile Psödo statik yöntemi ile analiz yapılabilmektedir (Kramer, 1996).

4.2.2. Ampirik formüller

Tarihsel olarak günümüze kadar gelişim gösteren Newmark (1965) deplasman hesaplama yöntemleri, kritik ivmenin, maksimum ivmeye bölünmesiyle bir fonksiyon şeklinde hesaplanmıştır. Günümüz tarihine yakın olan çalışmalar ile daha net sonuçlar elde edilmiştir (Gündoğdu, 2008). Bu çalışmada kritik ivmenin maksimum ivmeye oranının a_c/a_{maks} formülleri seçilerek deplasman değerleri hesaplanmıştır.

Newmark (1965) metodu ile hesap yapılabilmesi için a_c , a_{maks} ve G_s değerlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Hesaplamalar sonucunda deplasman oluşması için kullanılan depremin pik ivme değeri a_{maks} , kritik ivme a_c değerinden büyük olmalıdır.

$$a_c = (G_s - 1)g\sin\theta \quad (4.10)$$

θ : Kayma yüzeyinin yatay ile açısı.

a_c : Kritik ivme (yenilme ivmesi) g cinsindedir.

G_s : Statik güvenlik katsayısıdır. (Newmark, 1965).

4.2.2.1. Bozbey ve Gündoğdu (2011)

Bozbey ve Gündoğdu (2011) tarafından şevlerdeki deplasmanları hesaplamak için bulunan formül, Türkiye'de yaşanmış birçok depremin ivme kaydı ve 2500 adet veri kullanılarak bilgisayar programı yardımı ile elde edilmiştir. Kullanılan ivme kayıtları 0,1g ile 0,8g arasındadır (Bozbey, 2011).

$$\log D_n = -4,38 \left(\frac{a_c}{a_{maks}} \right) + 1,937 \quad (4.11)$$

a_c : Yenilme ivmesi

a_{maks} : Pik ivme g cinsindedir.

D_n : Oluşan deplasman miktarı (cm)

4.2.2.2. Jibson (2007)

Jibson (2007) 'un hazırladığı yeni Newmark kayan blok tahmin metodu, Jibson ve diğerleri tarafından tavsiye edilen diğer tüm metotlar için temsilci metot olarak kabul edilmiştir. Jibson(2007),bu metodu hazırlarken otuz tane deprem kaydından 2270 yüksek ivme hareket değerlerinden yararlanmıştır (Balal, 2013).

$$\log D_n = 0,215 + \log\left[\left(1 - \frac{a_c}{a_{maks}}\right)^{2,341} \left(\frac{a_c}{a_{maks}}\right)^{-1,438}\right] \pm 0,510 \quad (4.12)$$

a_c : Yenilme ivmesi

a_{maks} : Pik ivme g cinsindedir.

D_n : Oluşan deplasman miktarı (cm)

4.2.2.3. Ambrassey ve Menu (1988)

Ambrassey ve Menu (1988), Newmark deplasmanlarını birçok analiz yaparak kritik ivmenin bir fonksiyonu olarak hesaplamışlardır. Ambrassey ve Menu (1988) çalışmasını hazırlarken on bir tane depremden elli tane ivme kaydı elde etmiştir. Deplasman analiz formülleri Newmark (1965)'e göre Psödo statik güvenlik katsayısı 1,0'den küçük olduğu zaman geçerlidir. Kullanılacak ivme değeri, yenilme ivmesinden büyük olmak zorundadır (Day, 2002).

$$\log D_n = 0,90 + \log\left[\left(1 - \frac{a_c}{a_{maks}}\right)^{2,53} \left(\frac{a_c}{a_{maks}}\right)^{-1,09}\right] \pm 0,30 \quad (4.13)$$

a_c : Yenilme ivmesi

a_{maks} : Pik ivme g cinsindedir.

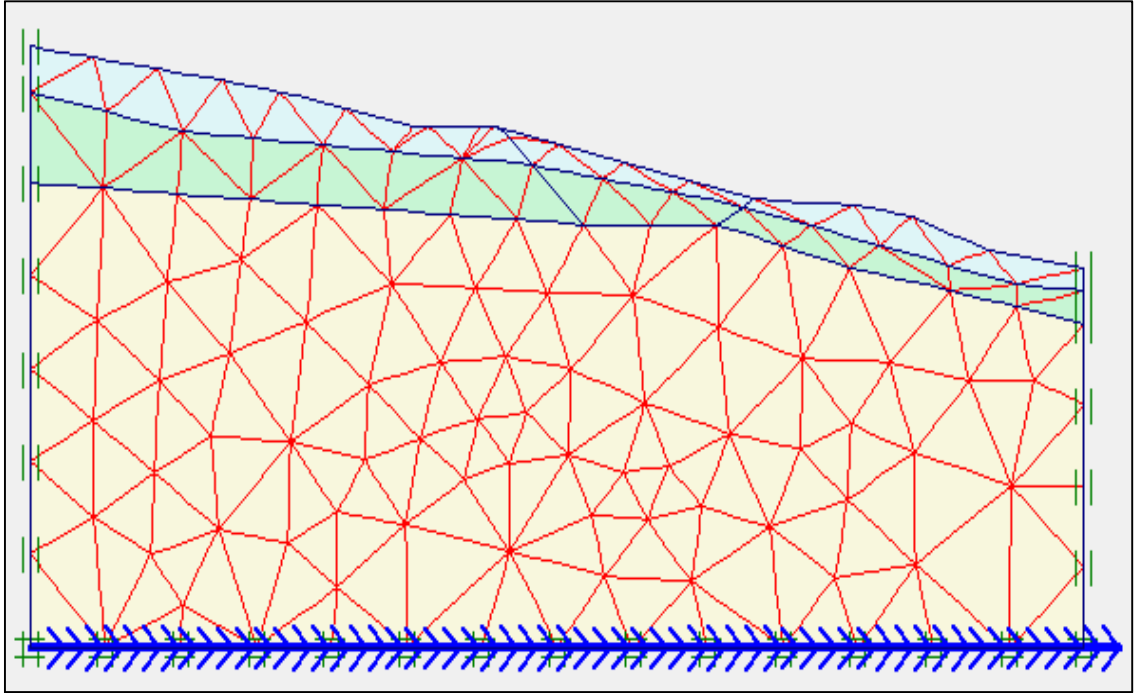
D_n : Oluşan deplasman miktarı (cm)

4.2.3. Sonlu elemanlar yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi nümerik analiz olarak Zeinkiewicz (1977)'nin matematiksel şekilde tarif ettiği sürekli problemlerin çözümüdür. Tarif edilen matematiksel ifadeler, zemin problemleri için denge eşitlikleri, boşluksuyu basıncı olan

durumlar, sınır durumlarının ve deformasyonların uyumu ile şekil değiştirme - gerilme arasındaki durumları tanımlar (Osmanoğlu, 2007).

Günümüzde sonlu elemanlar analizleri bilgisayar yazılımları ile yapılmaktadır. Bu yazılımlar çözümlü yapılacak olan zemini elemanlara ayırdıktan sonra, oluşan elemanların birbirleri ile arasındaki ilişkileri hesaplayarak çözümlü sunmaktadır.



Şekil 4.6. Sonlu elemanlara ayrılmış şev kesiti (Plaxis).

5.2. Zemin Özellikleri

Çalışma bölgesinde yapılan sondaj 1 adet 15,00 m derinliğindedir. Arazi gözlemleri ve deneyleri ile derlenen jeolojik literatür çalışmaları ışığında; bölgenin, Yalakdere formasyonuna hakim birimlerden oluştuğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.3. Şev bölgesine ait kazı.

Şev bölgesine ait zemin profili, ilk 1,00 metreye kadar nebati toprak, 1,00 metreden 7,00 metreye kadar çakıllı siltli kil 7,00 metreden kuyu sonuna kadar ise birbiriyle geçişli, çakıl kum seviyelerinden oluşmaktadır. İnceleme alanında açılan sondajda yapılan ölçümler sonucunda yeraltı-yüzey suyuna rastlanmamıştır. Zemin etüdünden yorumlanarak elde edilmiş şev bölgesine ait E , γ , c , ϕ zemin parametreleri Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1. Zemin değerleri.

ZEMİN KATMANLARI	ZEMİN DEĞERLERİ			
	E (Mpa)	γ (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
1. KATMAN	10	19	10	15°
2. KATMAN	30	19	37	6°
3. KATMAN	45	18,5	1	30°

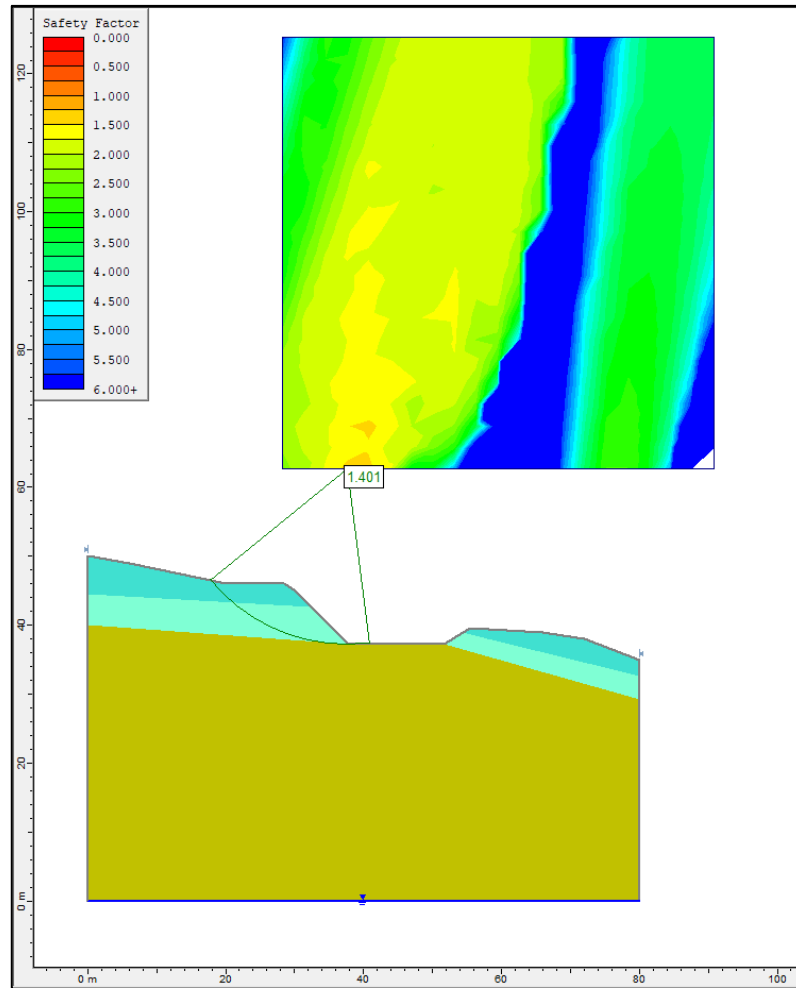
6. STATİK ANALİZ VERİLERİ

Şev stabilite çalışmalarında analizler, gözlemsel ve sayısal metotlar birlikte kullanılarak yapılır. Analiz yapılırken şevin mevcut durumu ve oluşabilecek potansiyel riskler göz önüne alınmalıdır. Statik analizler bilgisayar programlarıyla da yapılabilmektedir. Bu çalışmada bölgedeki şeve ait güvenlik katsayıları limit denge yöntemlerini kullanan bilgisayar programı (Slide) ile elde edilmiştir.

Slide programı kullanılarak Bishop, Fellenius, Janbu, Spencer, Lowe-Karafiht ve Morgenstern-Price yöntemleri ile yapılan analizleri sırasıyla verilmiştir.

6.1. Bishop Yöntemi

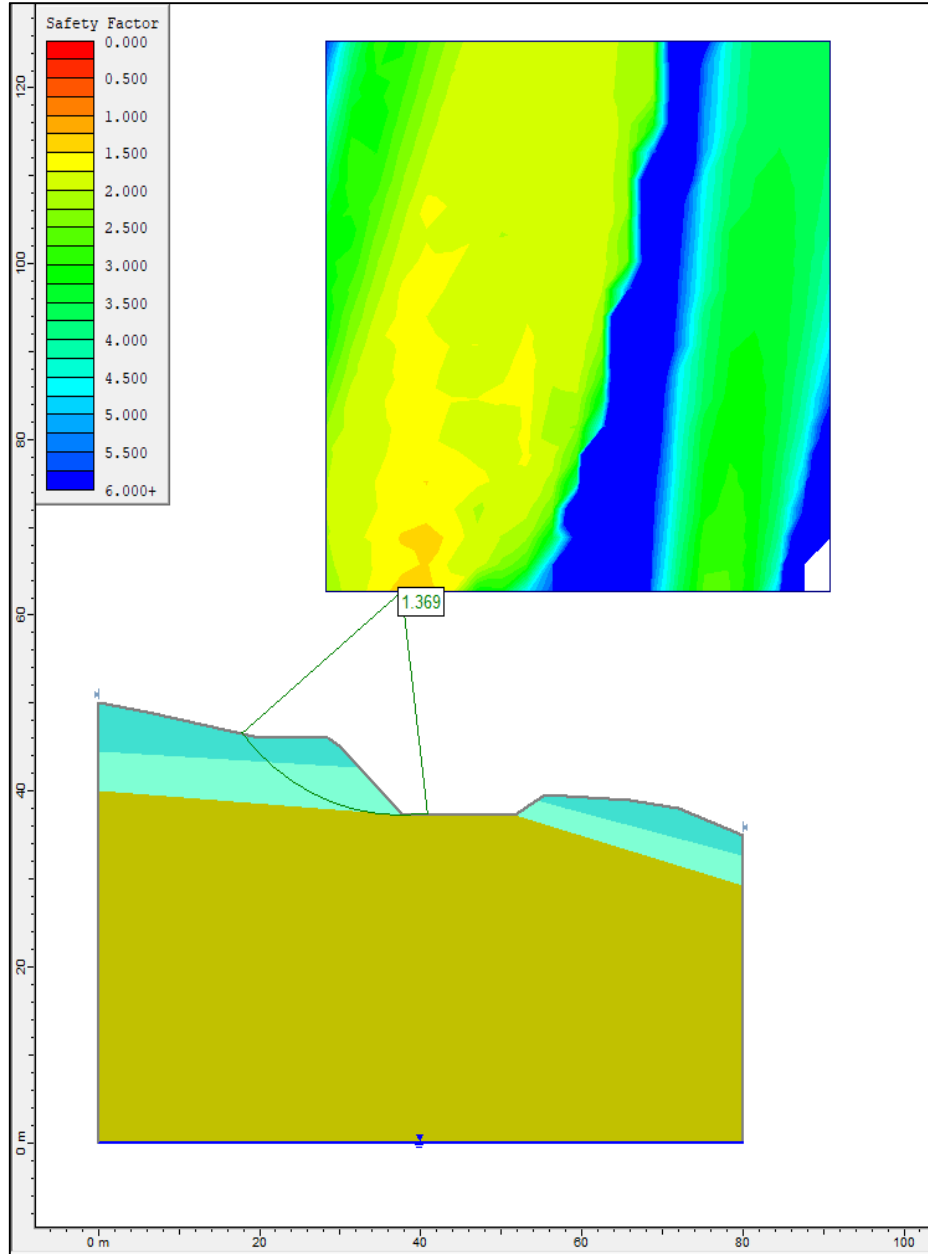
Bishop yöntemine göre yapılan statik analizde bulunan güvenlik katsayısı $GS=1,401$ 'dir. Elde edilen analiz sonucu Şekil 6.1'de verilmektedir.



Şekil 6.1. Bishop yöntemi ile yapılan güvenlik katsayısı analizi (Slide).

6.2. Janbu Yöntemi

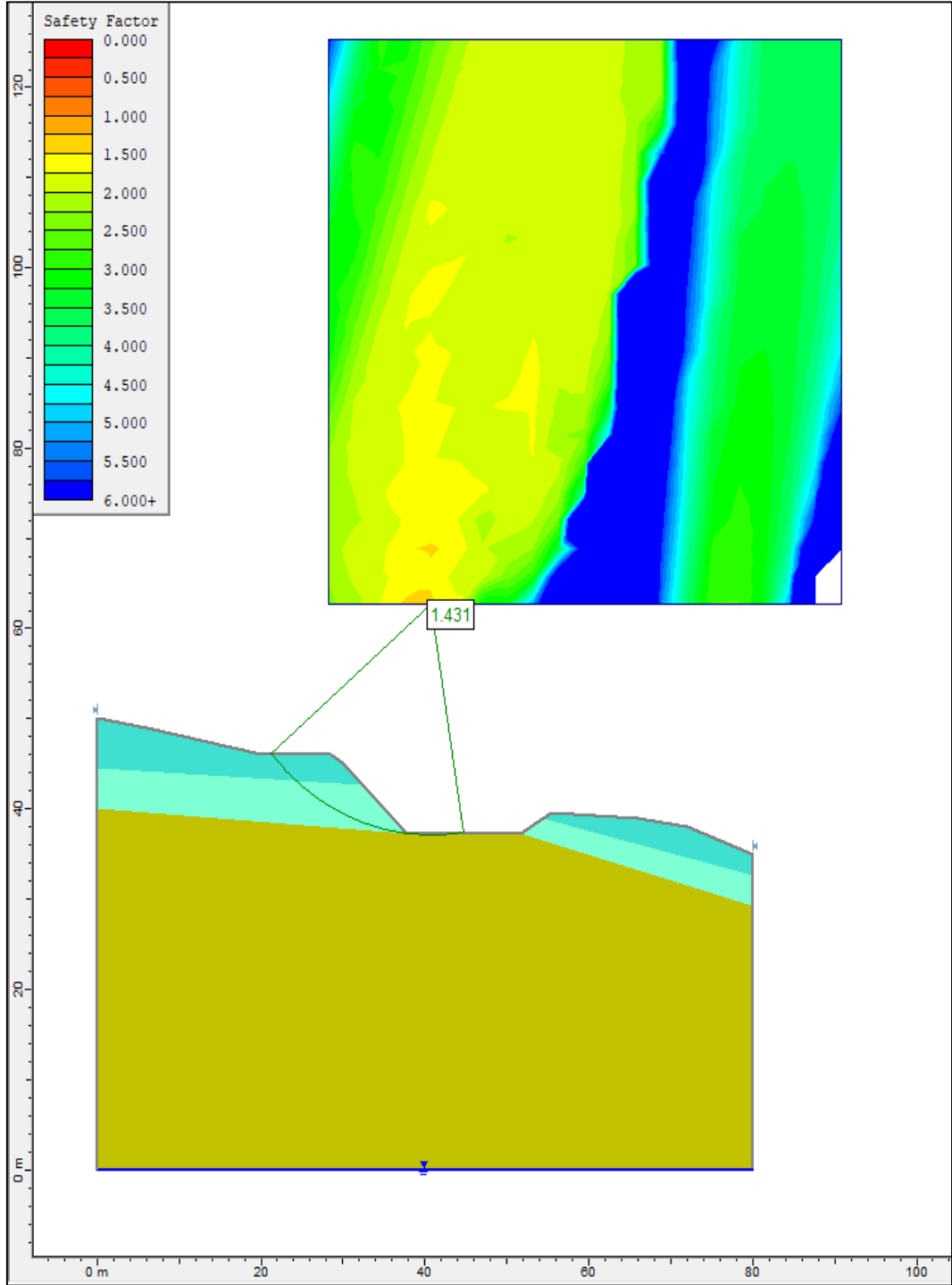
Janbu yöntemine göre yapılan statik analizde bulunan güvenlik katsayısı $GS=1,369$ 'dur. Elde edilen analiz sonucu Şekil 6.2'de verilmektedir.



Şekil 6.2. Janbu yöntemi ile yapılan güvenlik katsayısı analizi (Slide).

6.3. Spencer Yöntemi

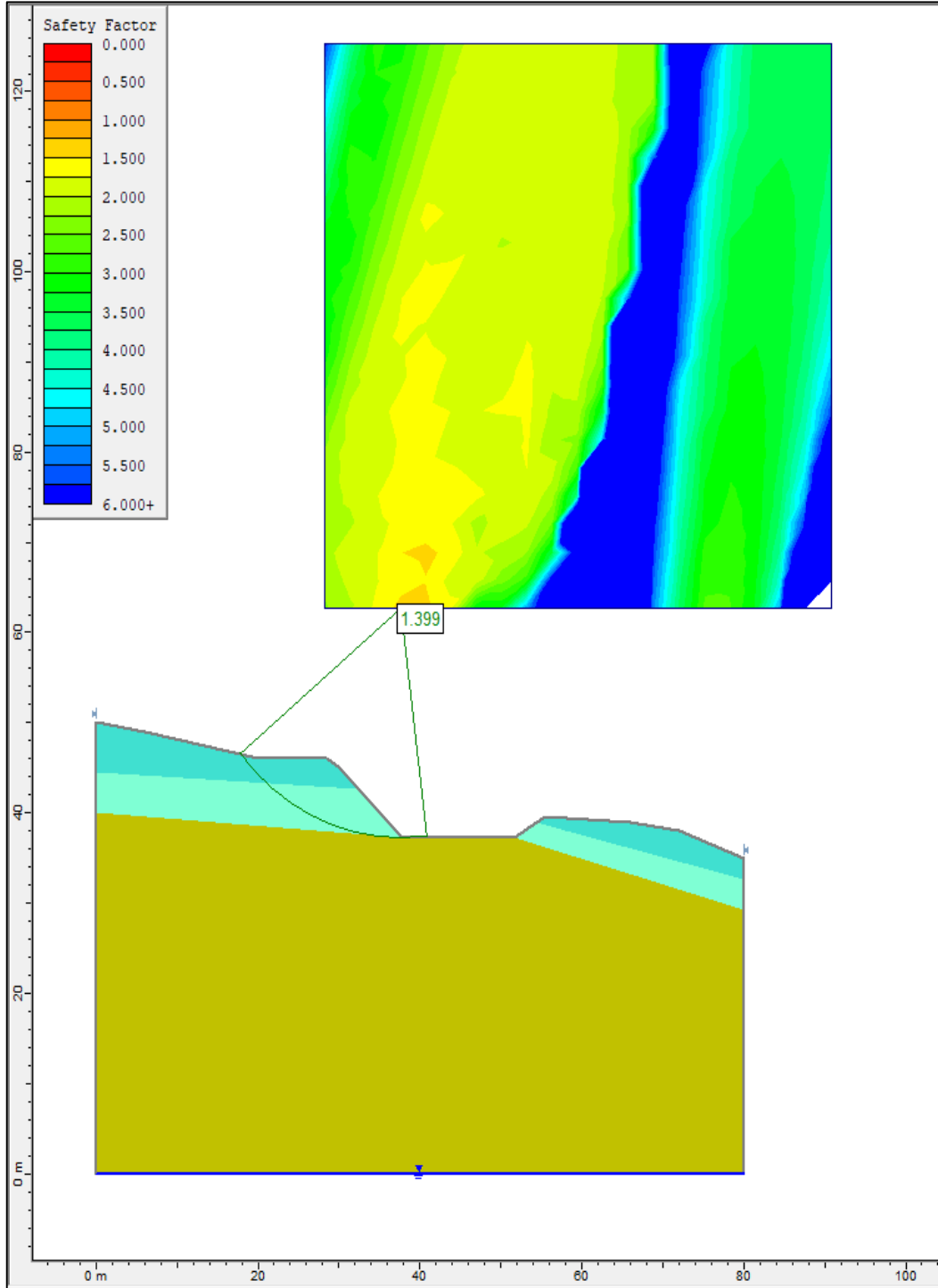
Spencer yöntemine göre yapılan statik analizde bulunan güvenlik katsayısı $GS=1,431$ 'dir. Elde edilen analiz sonucu Şekil 6.3'de verilmektedir.



Şekil 6.3. Spencer yöntemi ile yapılan güvenlik katsayı analizi (Slide).

6.4. Fellenius Yöntemi

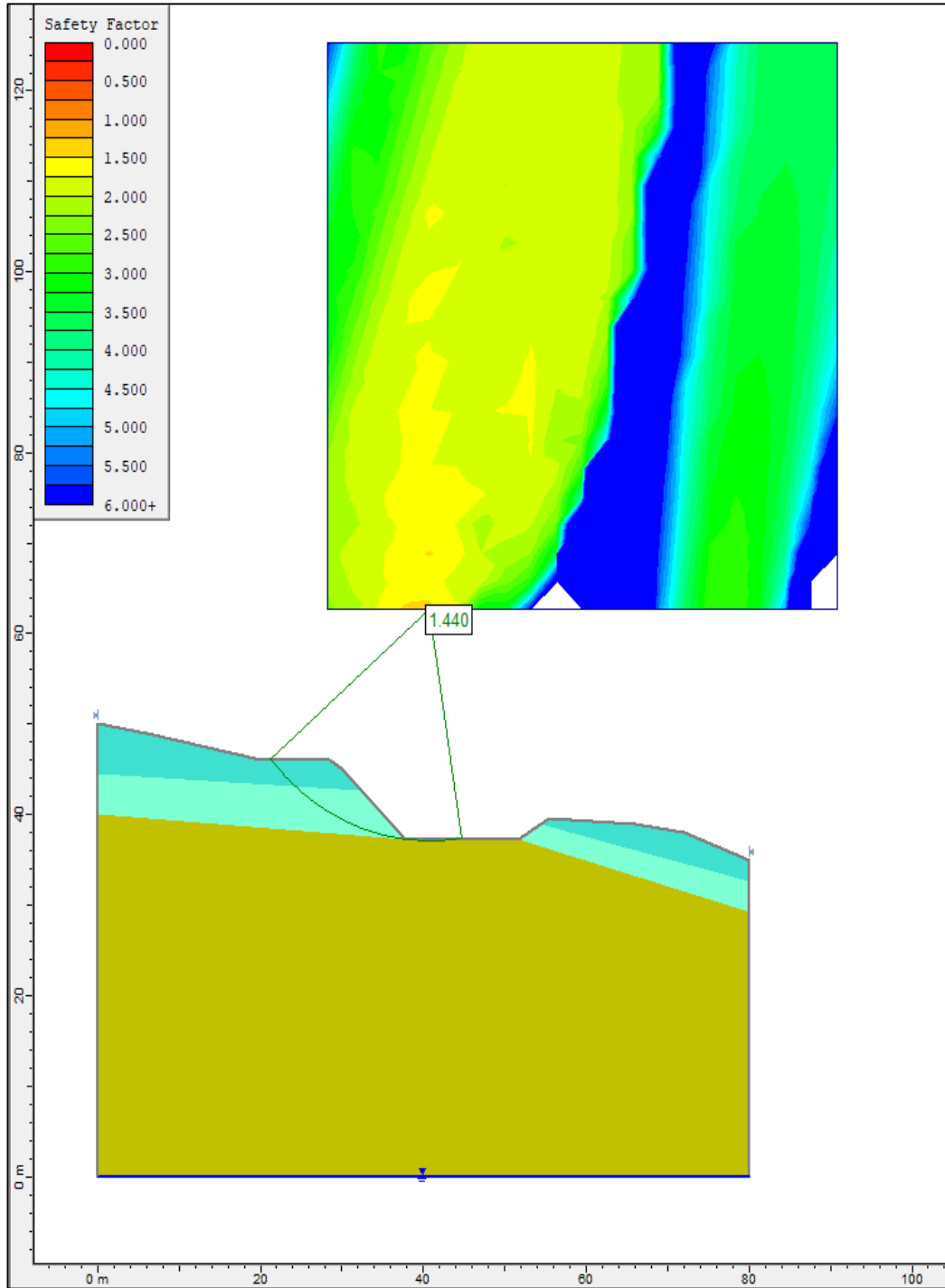
Fellenius yöntemine göre yapılan statik analizde bulunan güvenlik katsayısı $GS=1,399$ 'dur. Elde edilen analiz sonucu Şekil 6.4'de verilmektedir.



Şekil 6.4. Fellenius yöntemi ile yapılan güvenlik katsayı analizi (Slide).

6.5. Lowe-Karafiht Yöntemi

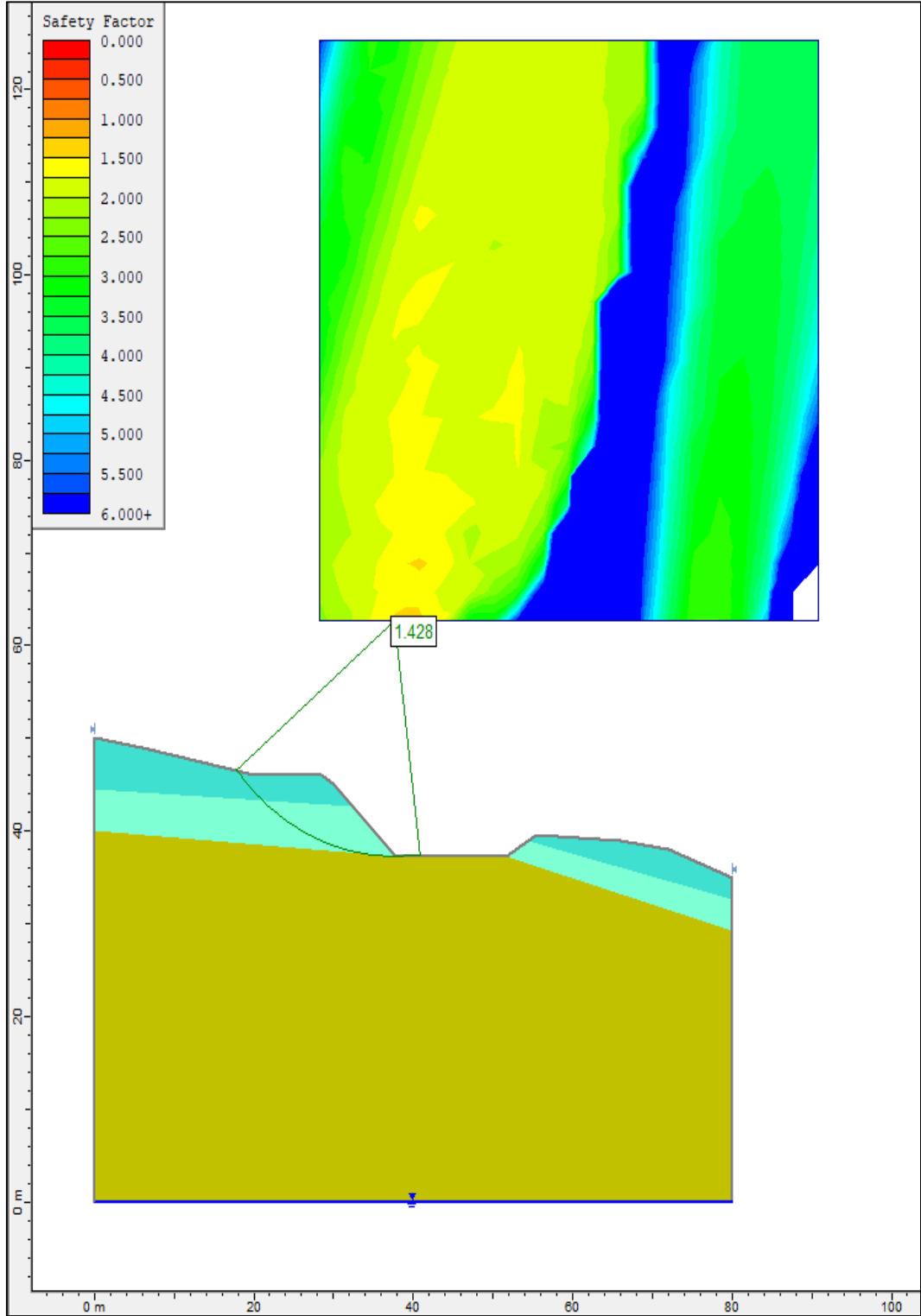
Lowe-Karafiht yöntemine göre yapılan statik analizde bulunan güvenlik katsayısı $GS=1,440$ 'dır. Elde edilen analiz sonucu Şekil 6.5'de verilmektedir.



Şekil 6.5. Lowe-Karafiht yöntemi ile yapılan güvenlik katsayı analizi (Slide).

6.6. Morgenstern-Price Yöntemi

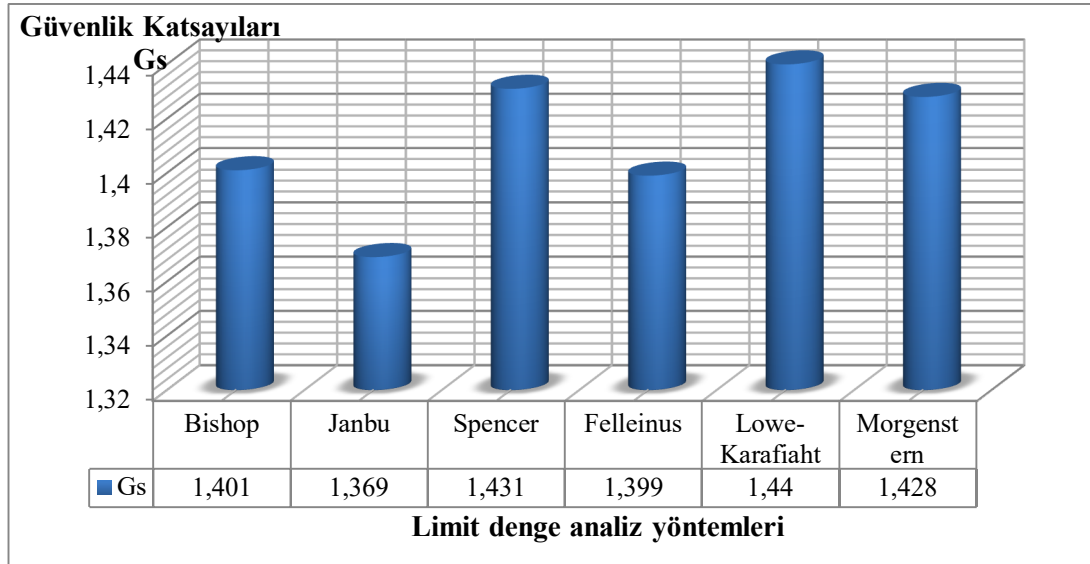
Morgenstern-Price yöntemine göre yapılan statik analizde bulunan güvenlik katsayısı $GS=1,428$ 'dir. Elde edilen analiz sonucu Şekil 6.6'da verilmektedir.



Şekil 6.6. Morgenstern-Price yöntemi ile yapılan güvenlik katsayı analizi (Slide).

6.7. Statik Analiz Verilerinin Karşılaştırılması

Limit denge yöntemlerinden elde edilen güvenlik katsayı değerlerinin karşılaştırıldığı grafik Şekil 6.7’de verilmektedir.



Şekil 6.7. Limit denge yönteminden elde edilen Güvenlik katsayıları.

Elde edilen statik analiz sonuçlarına göre kritik ivme değeri bu çalışmada kullanılan şev için hesaplanmıştır. Slide programı ile bulunan güvenlik katsayısı değerlerinin ortalaması alınmış ve ortalama G_S değeri 1,41 olarak bulunmuştur. Kritik ivme değeri ise ortalama G_S ve $\theta = 45^\circ$ açı ile hesaplanmaktadır.

$$a_c = (G_S - 1)g \sin \theta \quad (4.10)$$

θ : Kayma yüzeyinin yatay ile açısı.

a_c : Kritik ivme (yenilme ivmesi) g cinsindedir.

G_S : Statik güvenlik katsayısıdır. (Newmark, 1965).

Bu formüle göre; $a_c = (1,41 - 1)g \sin(45) = 0,29$ g

Kritik ivme değeri $a_c = 0,29$ g olarak elde edilmiştir.

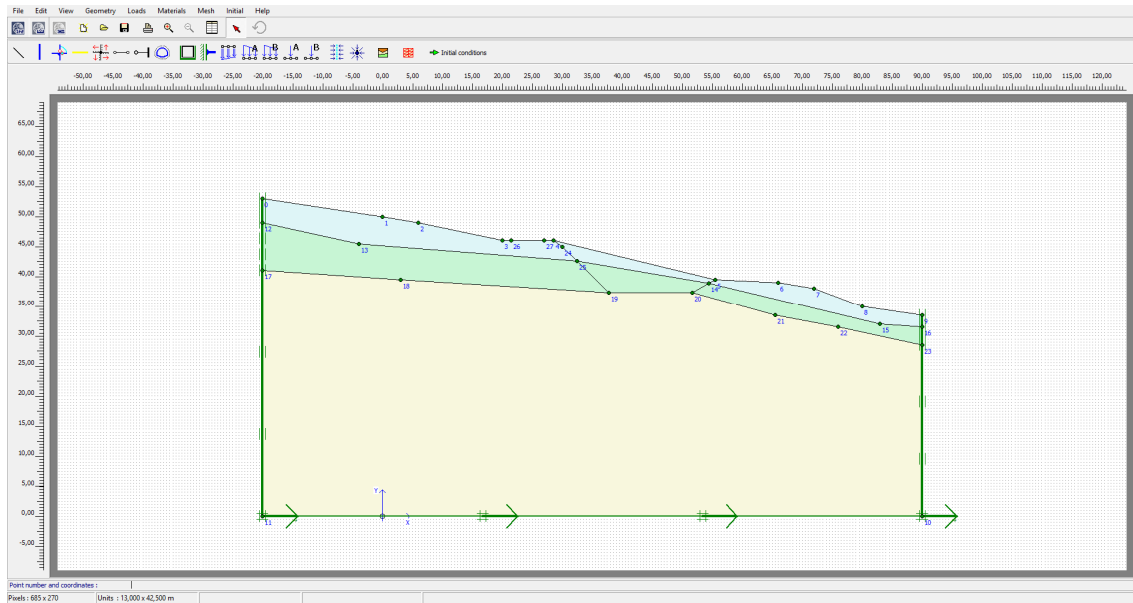
7. DİNAMİK ANALİZ VERİLERİ

7.1. Plaxis Programının Özellikleri

Plaxis programı sonlu elemanlar yöntemi ile konsolidasyon, plastik, ϕ/c ve dinamik analizler yapabilen bir bilgisayar yazılımıdır.

1987 yılından bu yana İnşaat mühendisliği ve diğer ilgili alanlarda kullanılmaktadır (Tekin, 2011).

Plaxis'te şev çalışılması durumunda ilk olarak şev kesiti çizilmektedir. Şevin kesiti ve katmanları oluştuktan sonra istenilmesi halinde yapısal materyaller girilmektedir. Hazırlanan şev kesitinde çizilen ve girilen bütün elemanların özellikleri belirlenmesinin ardından bir sonraki bölümdeki düzenlemeler yapılarak analiz bölümüne geçilmektedir.

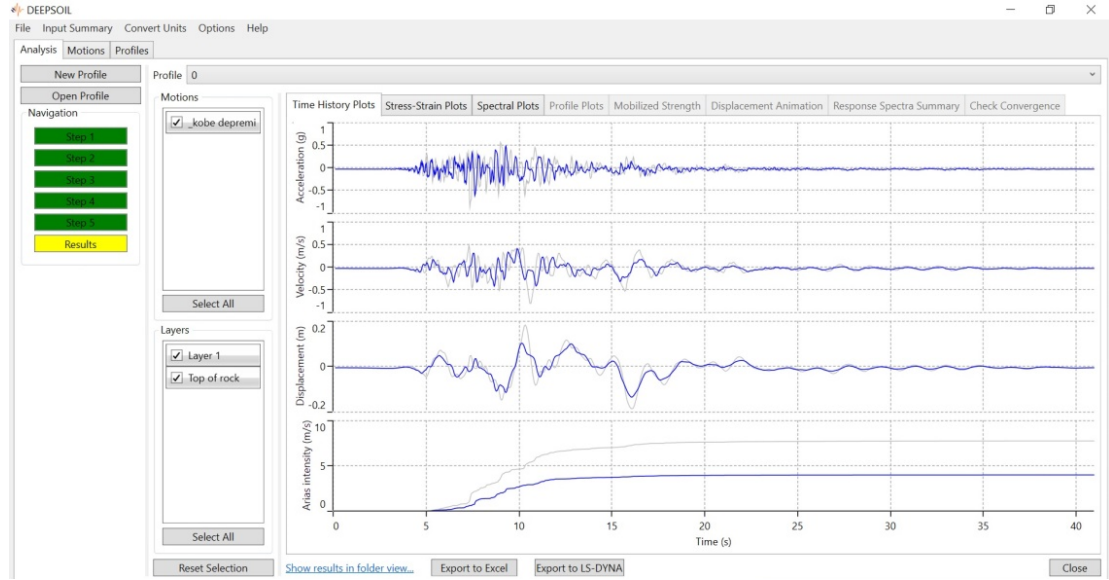


Şekil 7.1. Plaxis programı ana veri girişi menüsü (Plaxis).

7.2. Kullanılan Depremler ve Özellikleri

Bu çalışmada literatürde bulunan deprem kayıtları kullanılarak şevde oluşan deplasman miktarları hesaplanmıştır. Şev üzerine deprem kayıtları uygulanmadan önce DeepSoil programında deconvolution işlemi yapılarak, yeryüzünde kaydedilmiş olan ivme kaydının olduğu derinlikteki ivme değerleri elde edilmiştir. Bu işlemin

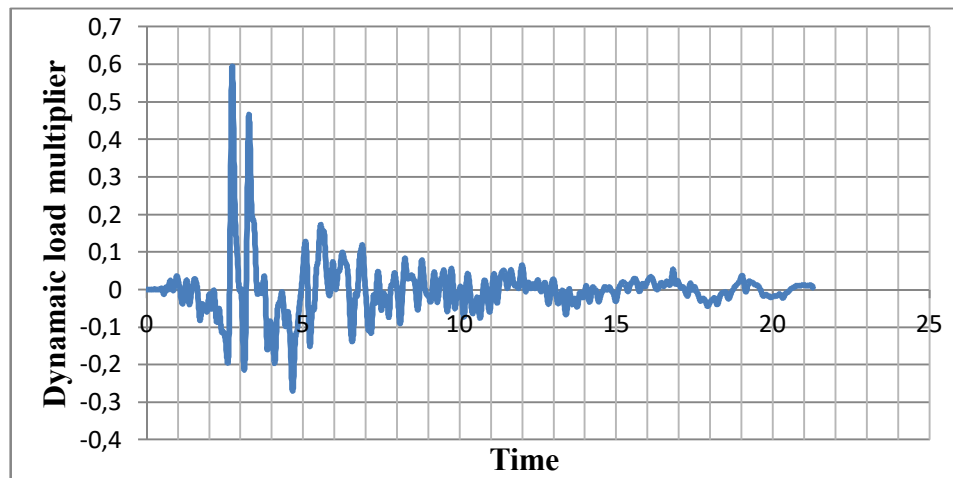
uygulanmış olduğu Erzincan, Kobe, Kocaeli, Newzeland, Oroville ve Victoria depremleri ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz yapılmaktadır.



Şekil 7.2. DeepSoil programı ile Kobe depremi için yapılan deconvolution işlemi (DeepSoil).

7.2.1. Erzincan depremi

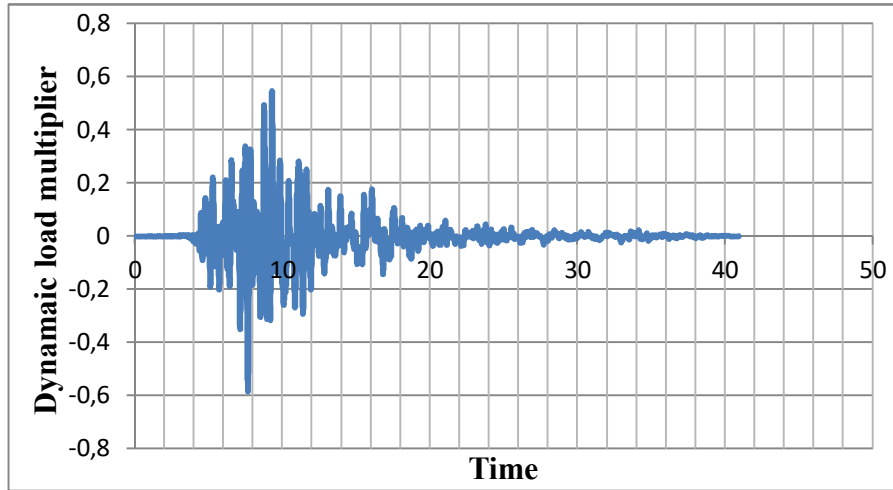
Erzincan depremi 1992 yılında Erzincan'ın güneydoğusunda oluşmuştur. Kuzey Anadolu fay hattı üzerinde meydana gelmiştir. Yaşanan deprem sonucunda birçok manevi ve maddi kayıplar meydana gelmiştir. Bu depreme ait deconvolution işlemi yapılmış pik ivme değeri $a_{maks} = 0,60$ g olan akselogram Şekil 7.3'de verilmektedir.



Şekil 7.3. Erzincan depremine ait akselogram.

7.2.2. Kobe depremi

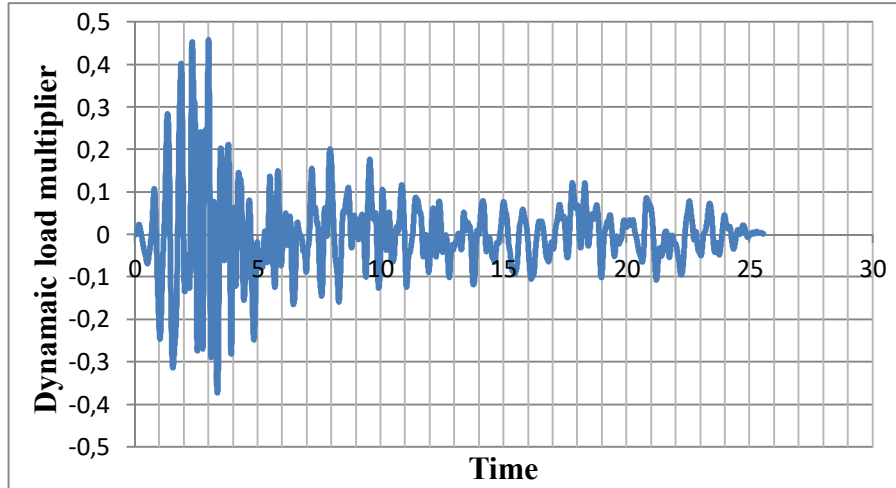
Kobe depremi 1995 yılı ocak ayında meydana gelmiştir. En büyük ikinci Japonyada meydana gelen depremdir. Deprem sonucu birçok yangın yıkım ve manevi kayıplar olmuştur (Kanat, 1999). Bu depreme ait deconvolution işlemi yapılmış pik ivme değeri $a_{maks} = 0,58$ g olan akselogram Şekil 7.4’de verilmektedir.



Şekil 7.4. Kobe depremine ait akselogram.

7.2.3. Kocaeli depremi

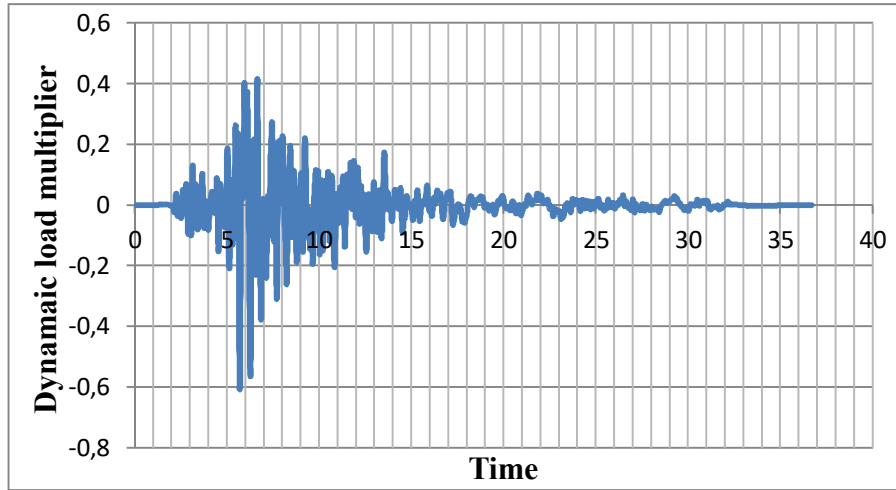
Kocaeli depremi 1999’un ağustos ayında kuzey Anadolu fay hattında meydana gelmiştir. Depremi oluşturduğu bölge hem yoğun nüfusun yaşadığı, hemde birçok sanayi alanı olması sebebiye yaşanan manevi ve maddi kayıplar yüksektir (Özmen, 2000). Bu depreme ait deconvolution işlemi yapılmış pik ivme değeri $a_{maks} = 0,46$ g olan akselogram Şekil 7.5’de verilmektedir.



Şekil 7.5. Kocaeli depremine ait akselogram.

7.2.4. Newzeland depremi

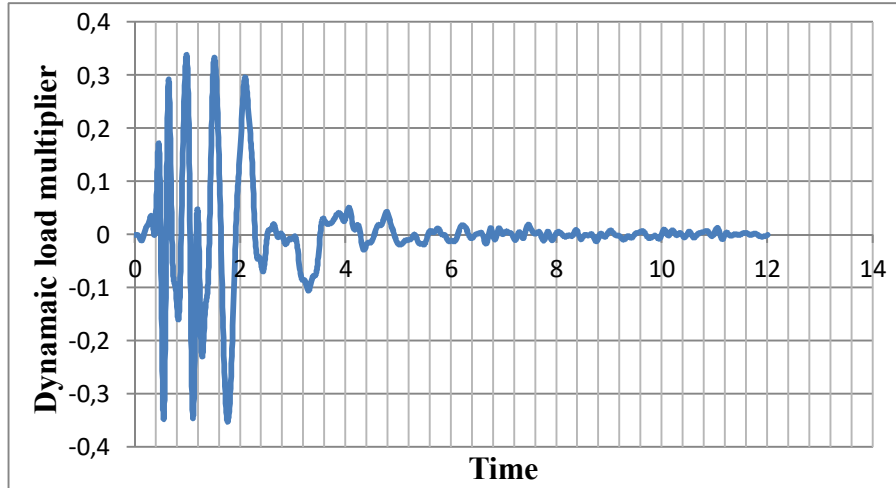
Newzeland depremi 2011 meydana gelmiş ve yaşandığı ülkede birçok manevi, maddi kayıplara sebep olmuştur. Bu depreme ait deconvolution işlemi yapılmış pik ivme değeri $a_{maks} = 0,61$ g olan akselogram Şekil 7.6'da verilmektedir.



Şekil 7.6. Newzeland depremine ait akselogram.

7.2.5. Oroville depremi

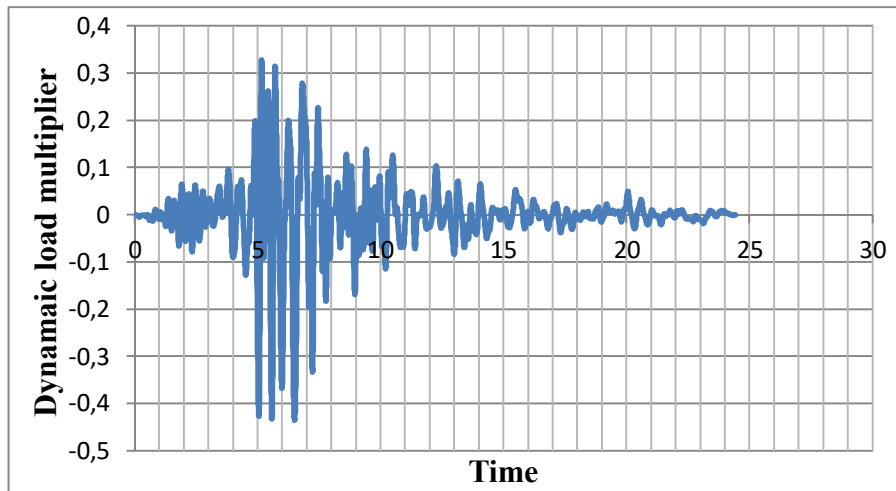
1975 yılında Oroville' de meydana gelmiştir. Bu depreme ait deconvolution işlemi yapılmış pik ivme değeri $a_{maks} = 0,35$ g olan akselogram Şekil 7.7'de verilmektedir.



Şekil 7.7. Oroville depremine ait akselogram.

7.2.6. Victoria depremi

Victoria depremi geniş çaplı hasara sebep olmamıştır. Bu depreme ait deconvolution işlemi yapılmış pik ivme değeri $a_{maks} = 0,43$ g olan akselogram Şekil 7.8'de verilmektedir.



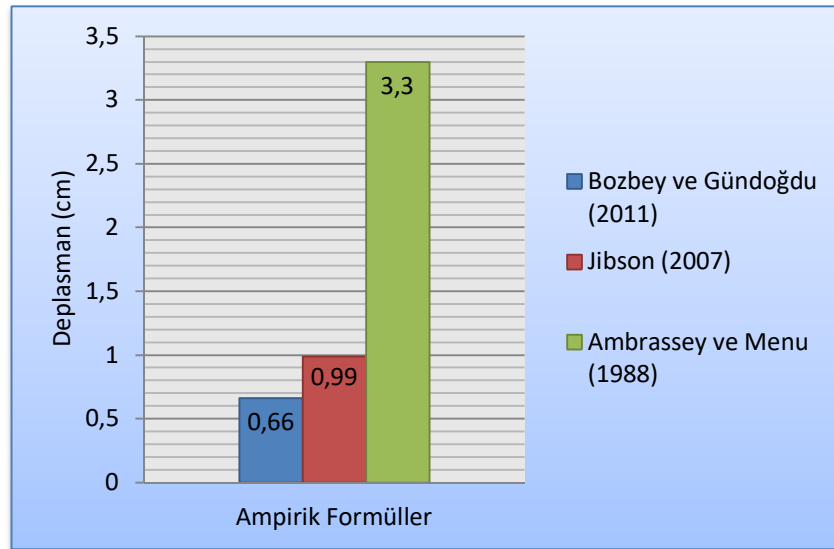
Şekil 7.8. Victoria depremine ait akselogram.

7.3. Ampirik Formüllerle Deplasman Verileri

Şev stabilitesinde dinamik analizlerde deplasman hesabı için kullanılan Ampirik formüller ile hesaplanan deplasman değerleri bu bölümde verilmiştir. Deplasmanlar hesaplanırken 6 adet farklı depreme ait kritik ivme değeri a_c ve pik ivme değeri a_{maks} değerleri kullanılmıştır.

7.3.1. Erzincan depremi

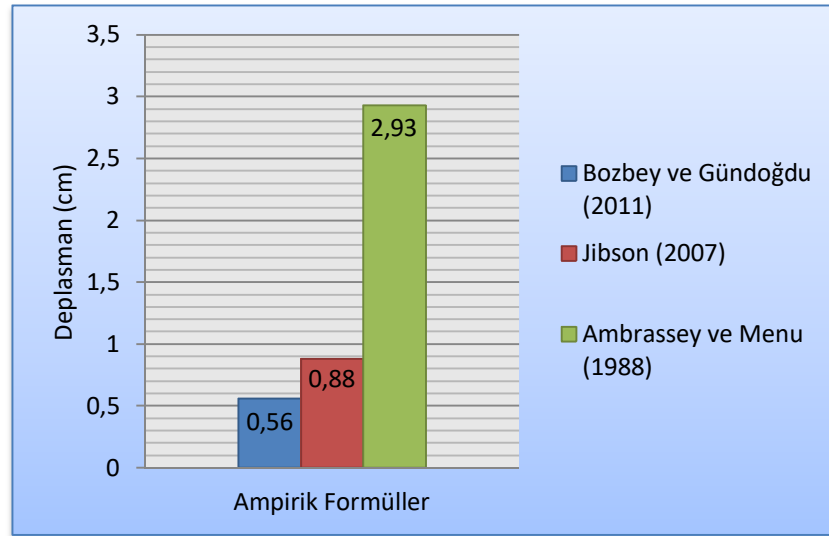
Pik ivme değeri 0,60 g olan Erzincan depremine ait deplasman değerleri Şekil 7.9'da verilmiştir. Ampirik formüller kullanılarak hesaplanan deplasman değerleri; Bozbey ve Gündoğdu (2011) formülüne göre 0,66 cm, Jibson (2007) formülüne göre 0,99 cm, Ambrassey ve Menu (1988) formülüne göre 3,30 cm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.9. Erzincan depremine ait ampirik formüllere göre hesaplanan deplasman değerleri.

7.3.2. Kobe depremi

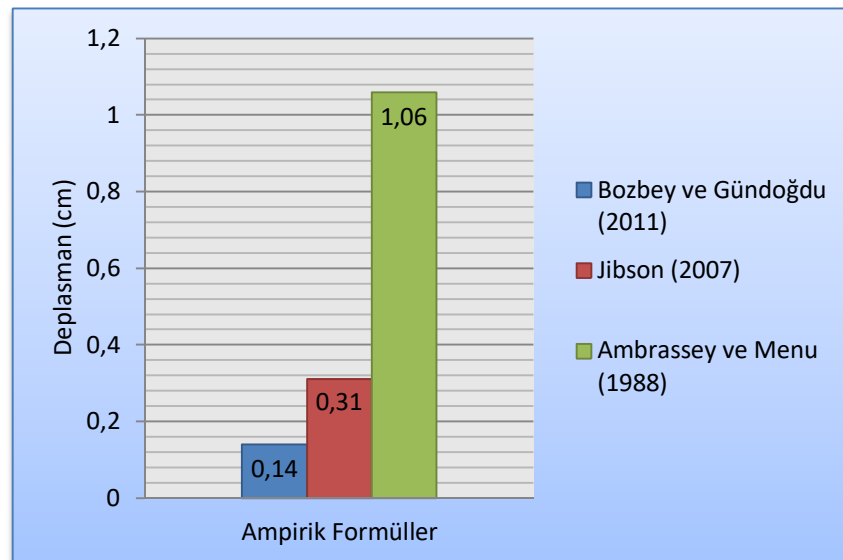
Pik ivme değeri 0,58 g olan Kobe depremine ait deplasman değerleri Şekil 7.10'da verilmiştir. Ampirik formüller kullanılarak hesaplanan deplasman değerleri; Bozbey ve Gündoğdu (2011) formülüne göre 0,56 cm, Jibson (2007) formülüne göre 0,88 cm, Ambrassey ve Menu (1988) formülüne göre 2,93 cm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.10. Kobe depremine ait ampirik formüllere göre hesaplanan deplasman değerleri.

7.3.3. Kocaeli depremi

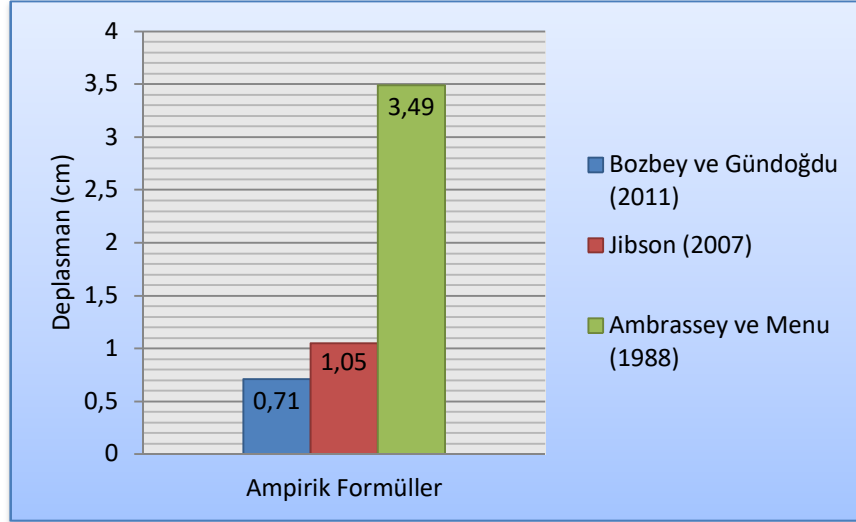
Pik ivme değeri 0,46 g olan Kocaeli depremine ait deplasman değerleri Şekil 7.11’de verilmiştir. Ampirik formüller kullanılarak hesaplanan deplasman değerleri; Bozbey ve Gündoğdu (2011) formülüne göre 0,14 cm, Jibson (2007) formülüne göre 0,31 cm, Ambrassey ve Menu (1988) formülüne göre 1,06 cm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.11. Kocaeli depremine ait ampirik formüllere göre hesaplanan deplasman değerleri.

7.3.4. Newzeland depremi

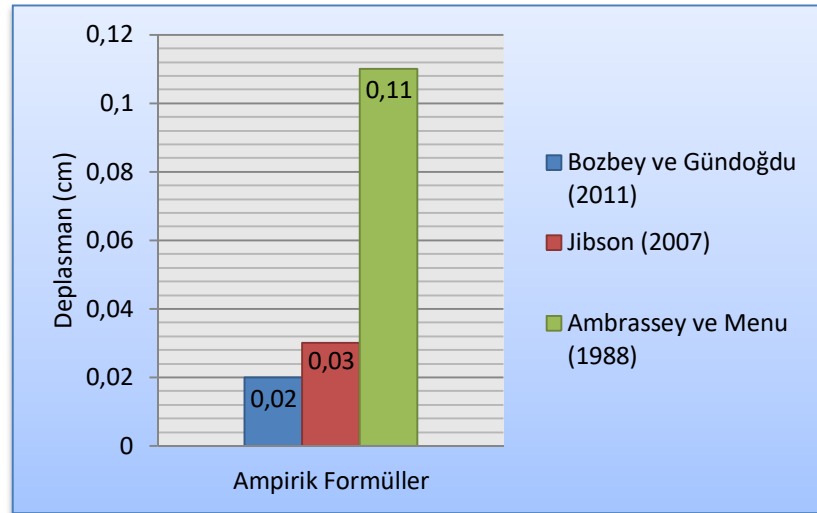
Pik ivme değeri 0,61 g olan Newzeland depremine ait deplasman değerleri Şekil 7.12’de verilmiştir. Ampirik formüller kullanılarak hesaplanan deplasman değerleri; Bozbey ve Gündoğdu (2011) formülüne göre 0,71 cm, Jibson (2007) formülüne göre 1,05 cm, Ambrassey ve Menu (1988) formülüne göre 3,49 cm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.12. Newzeland depremine ait ampirik formüllere göre hesaplanan deplasman değerleri.

7.3.5. Oroville depremi

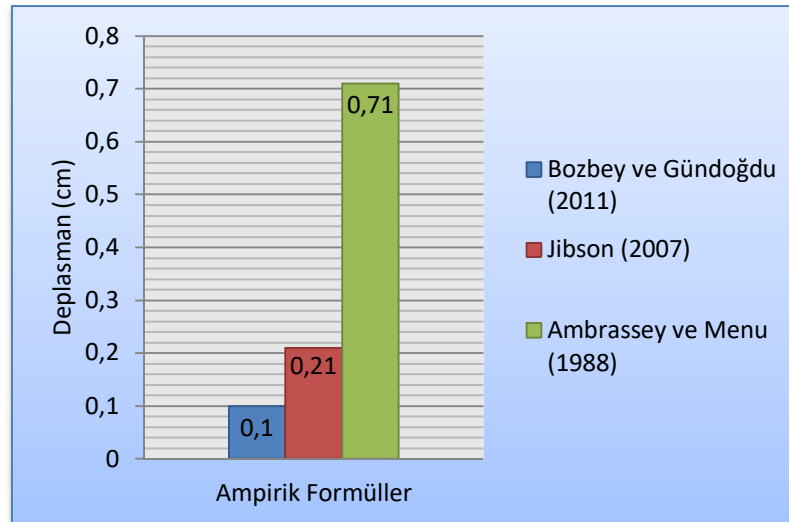
Pik ivme değeri 0,35 g olan Oroville depremine ait deplasman değerleri Şekil 7.13’de verilmiştir. Ampirik formüller kullanılarak hesaplanan deplasman değerleri; Bozbey ve Gündoğdu (2011) formülüne göre 0,02 cm, Jibson (2007) formülüne göre 0,03 cm, Ambrassey ve Menu (1988) formülüne göre 0,11 cm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.13. Oroville depremine ait ampirik formüllere göre hesaplanan deplasman değerleri.

7.3.6. Victoria depremi

Pik ivme değeri 0,43 g olan Victoria depremine ait deplasman değerleri Şekil 7.14'de verilmiştir. Ampirik formüller kullanılarak hesaplanan deplasman değerleri; Bozbey ve Gündoğdu (2011) formülüne göre 0,10 cm, Jibson (2007) formülüne göre 0,21 cm, Ambrassey ve Menu (1988) formülüne göre 0,71 cm olarak hesaplanmıştır.



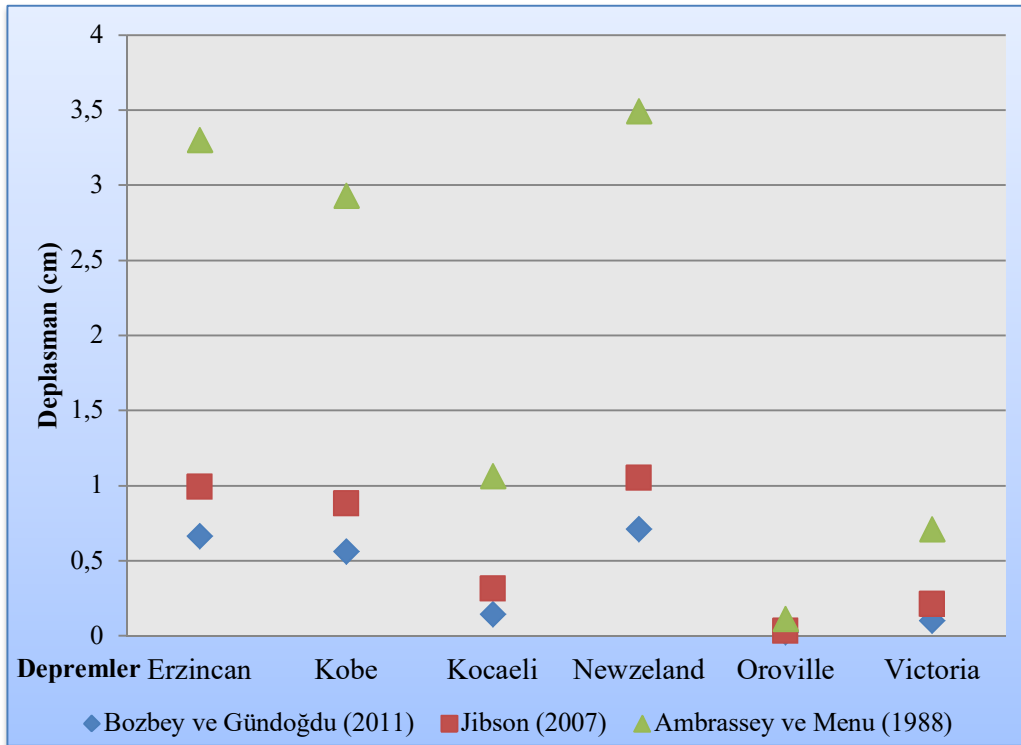
Şekil 7.14. Victoria depremine ait ampirik formüllere göre hesaplanan deplasman değerleri.

7.3.7. Ampirik formüllerden elde edilen deplasman verilerinin karşılaştırılması

Ampirik Formüller ile hesaplanan deplasman değerleri Şekil 7.15’de verilmiştir. Bozbey ve Gündoğdu (2011) formülüne göre 0,37 cm, Jibson (2007) formülüne göre 0,58 cm, Ambrassey ve Menu (1988) formülüne göre 1,93 cm ortalama deplasman hesaplanmıştır.

Çizelge 7.1. Tüm depremlere ait ampirik formüllerden elde edilen deplasman değerleri.

Depremler						
Ampirik Formüller	Erzincan a_{maks} 0,60g	Kobe a_{maks} 0,58g	Kocaeli a_{maks} 0,46g	Newzeland a_{maks} 0,61g	Oroville a_{maks} 0,35g	Victoria a_{maks} 0,43g
Bozbey ve Gündoğdu (2011)	0,66 cm	0,56 cm	0,14 cm	0,71 cm	0,02 cm	0,10 cm
Jibson (2007)	0,99 cm	0,88 cm	0,31 cm	1,05 cm	0,03 cm	0,21 cm
Ambrassey ve Menu (1988)	3,30 cm	2,93 cm	1,06 cm	3,49 cm	0,11 cm	0,71 cm



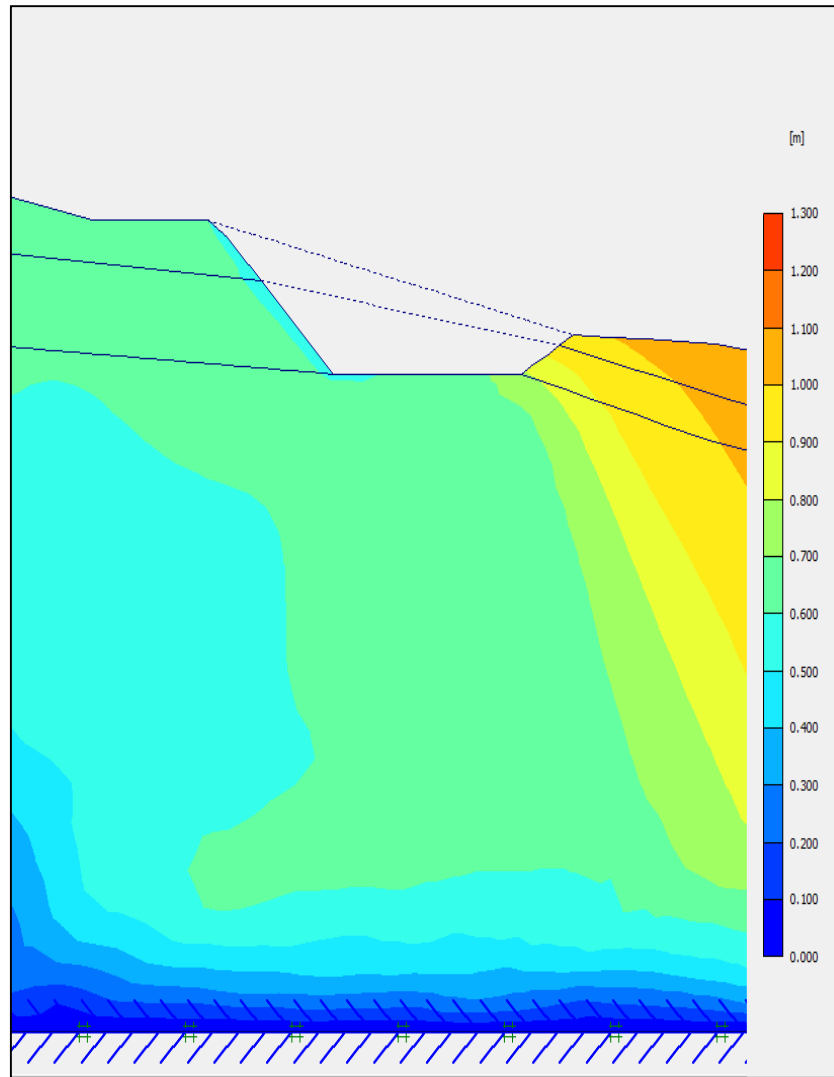
Şekil 7.15. Tüm depremlere ait ampirik formüllere göre hesaplanan deplasman değerlerinin gösterimi.

7.4. Sonlu Elemanlar Analiz Verileri

Şevde meydana gelen deplasmanlar, Plaxis programı ile modellenip sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilerek, hesaplanmaktadır. Önceki bölümlerde akselogramları verilen farklı yerlerde meydana gelmiş 6 adet depremin şev alanına ayrı ayrı uygulanması sonucu oluşan deplasmanlar gösterilmiştir.

7.4.1. Erzincan depremi

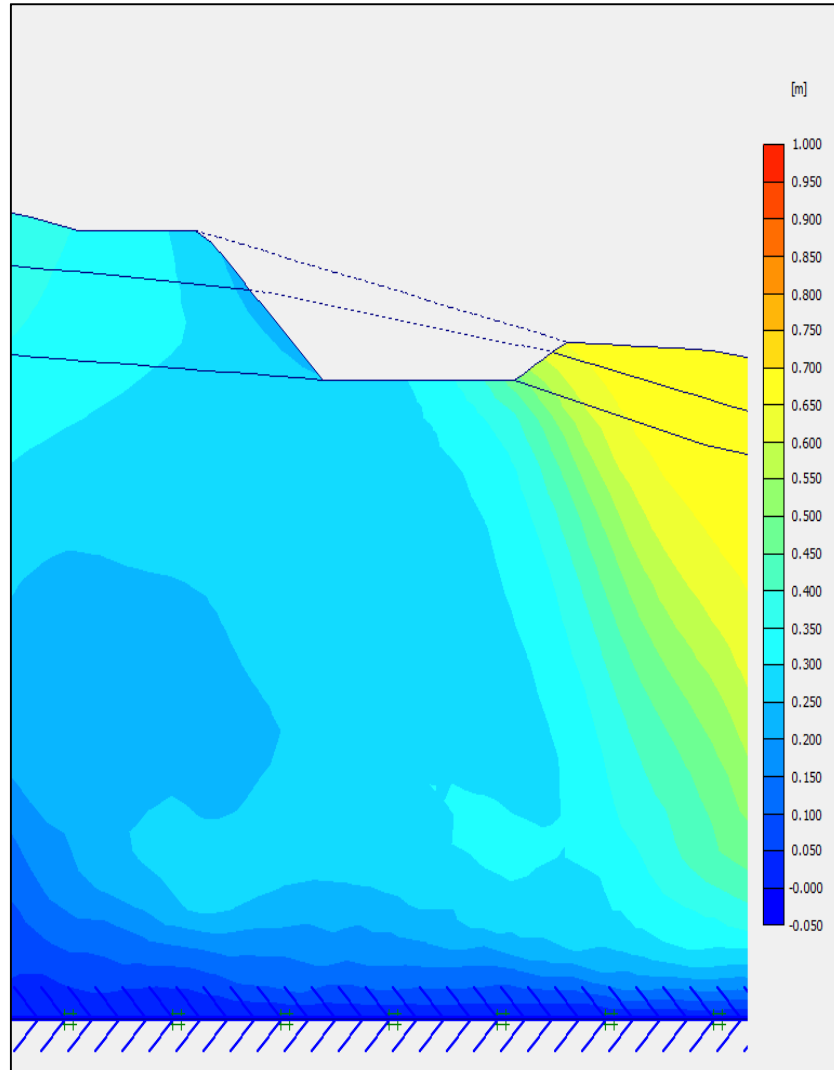
Pik ivme değeri 0,60g olan Erzincan depremi ivme kaydının Plaxis programı ile şev kesitine uygulanması sonucu oluşan deplasman miktarı 60 cm'dir. Analiz sonunda meydana gelen deplasman Şekil 7.16'da verilmiştir.



Şekil 7.16. Erzincan depremi ivme kaydının Plaxis programı ile şev kesitine uygulanması sonucu oluşan deplasman miktarı (Plaxis).

7.4.2. Kobe depremi

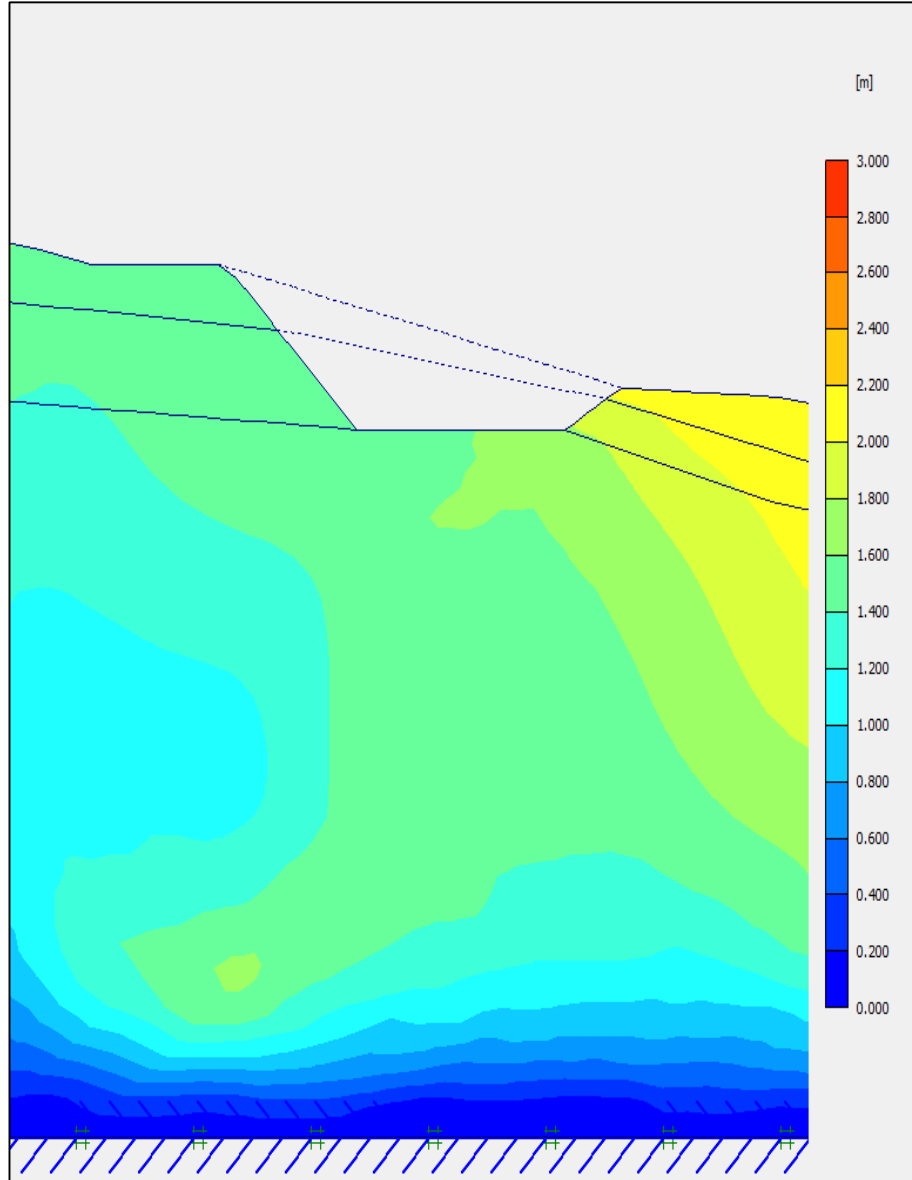
Pik ivme değeri 0,58 g olan Kobe depremi ivme kaydının Plaxis programı ile şev kesitine uygulanması sonucu oluşan deplasman miktarı 28 cm'dir. Analiz sonunda meydana gelen deplasman Şekil 7.17'de verilmiştir.



Şekil 7.17. Kobe depremi ivme kaydının Plaxis programı ile şev kesitine uygulanması sonucu oluşan deplasman miktarı (Plaxis).

7.4.3. Kocaeli depremi

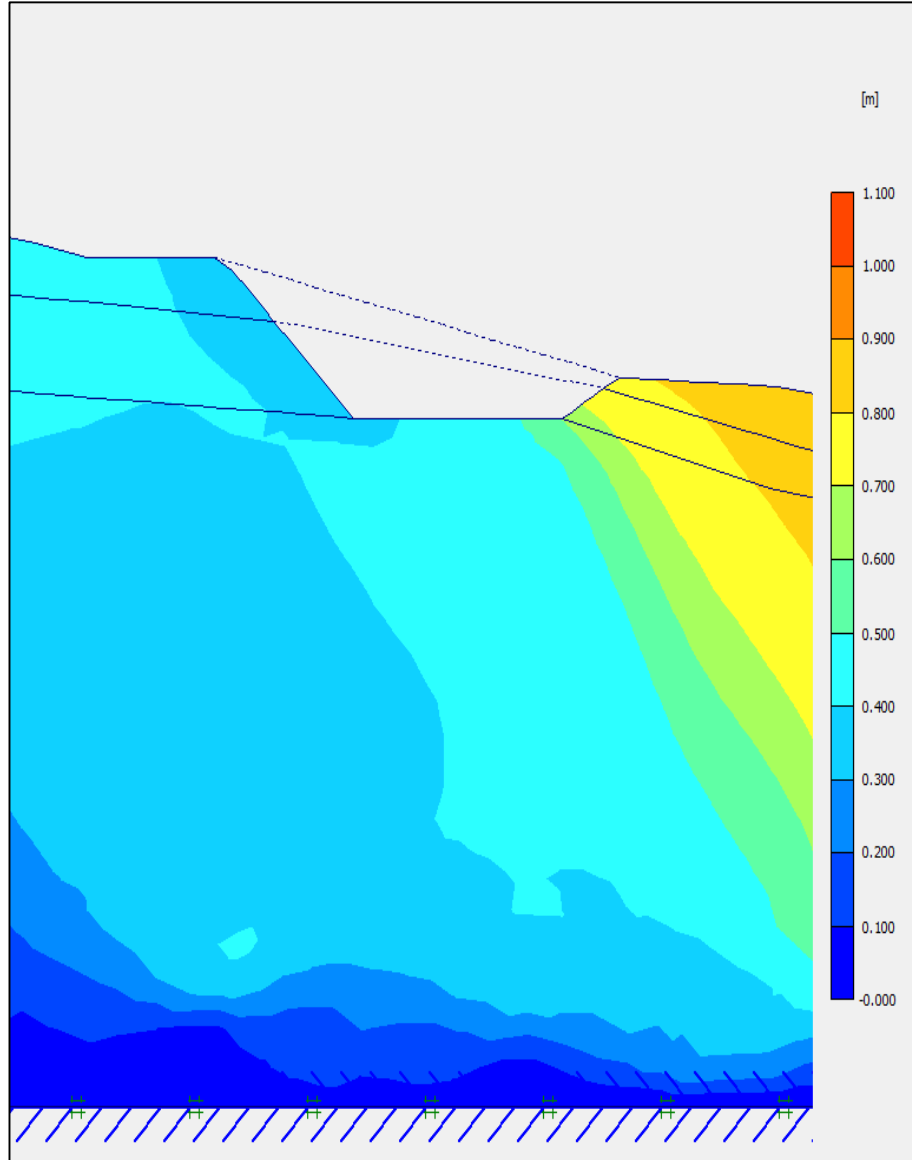
Pik ivme değeri 0,46 g olan Kocaeli depremi ivme kaydının Plaxis programı ile şev kesitine uygulanması sonucu oluşan deplasman miktarı 152 cm'dir. Analiz sonunda meydana gelen deplasman Şekil 7.18'de verilmiştir.



Şekil 7.18. Kocaeli depremi ivme kaydının Plaxis programı ile şev kesitine uygulanması sonucu oluşan deplasman miktarı (Plaxis).

7.4.4. Newzeland depremi

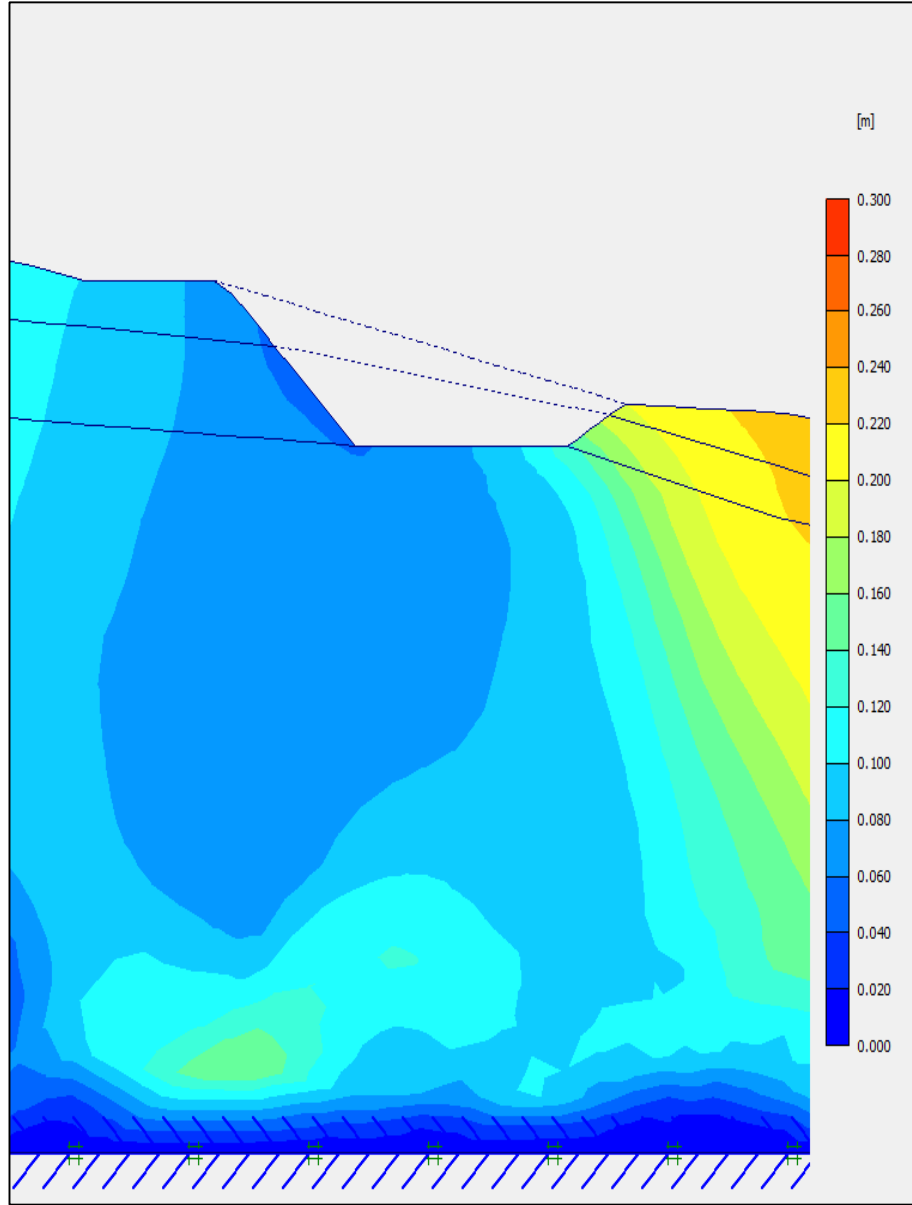
Pik ivme değeri 0,61 g olan Newzeland depremi ivme kaydının Plaxis programı ile şev kesitine uygulanması sonucu oluşan deplasman miktarı 35 cm'dir. Analiz sonunda meydana gelen deplasman Şekil 7.19'da verilmiştir.



Şekil 7.19. Newzeland depremi ivme kaydının Plaxis programı ile şev kesitine uygulanması sonucu oluşan deplasman miktarı (Plaxis).

7.4.5. Oroville depremi

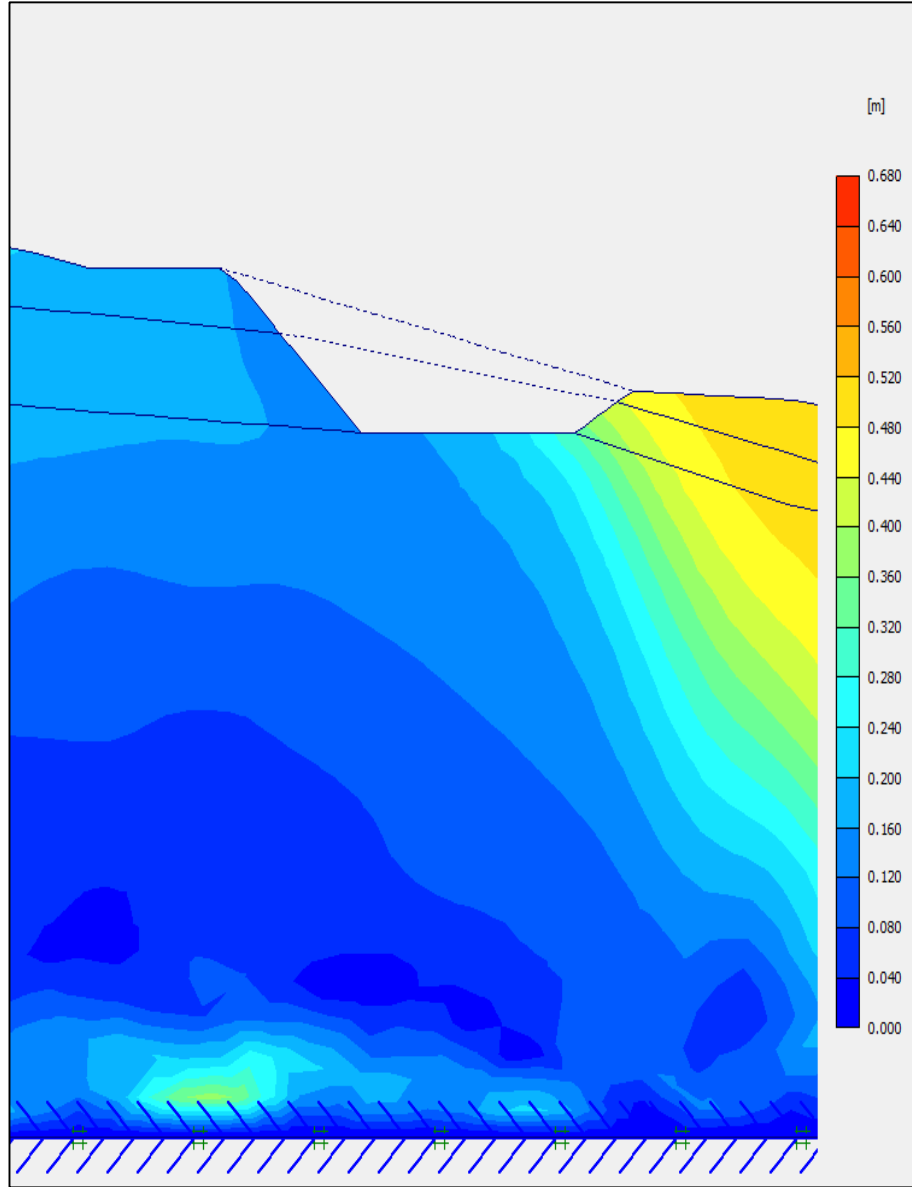
Pik ivme değeri 0,35 g olan Oroville depremi ivme kaydının Plaxis programı ile şev kesitine uygulanması sonucu oluşan deplasman miktarı 7 cm'dir. Analiz sonunda meydana gelen deplasman Şekil 7.20'de verilmiştir.



Şekil 7.20. Oroville depremi ivme kaydının Plaxis programı ile şev kesitine uygulanması sonucu oluşan deplasman miktarı (Plaxis).

7.4.6. Victoria depremi

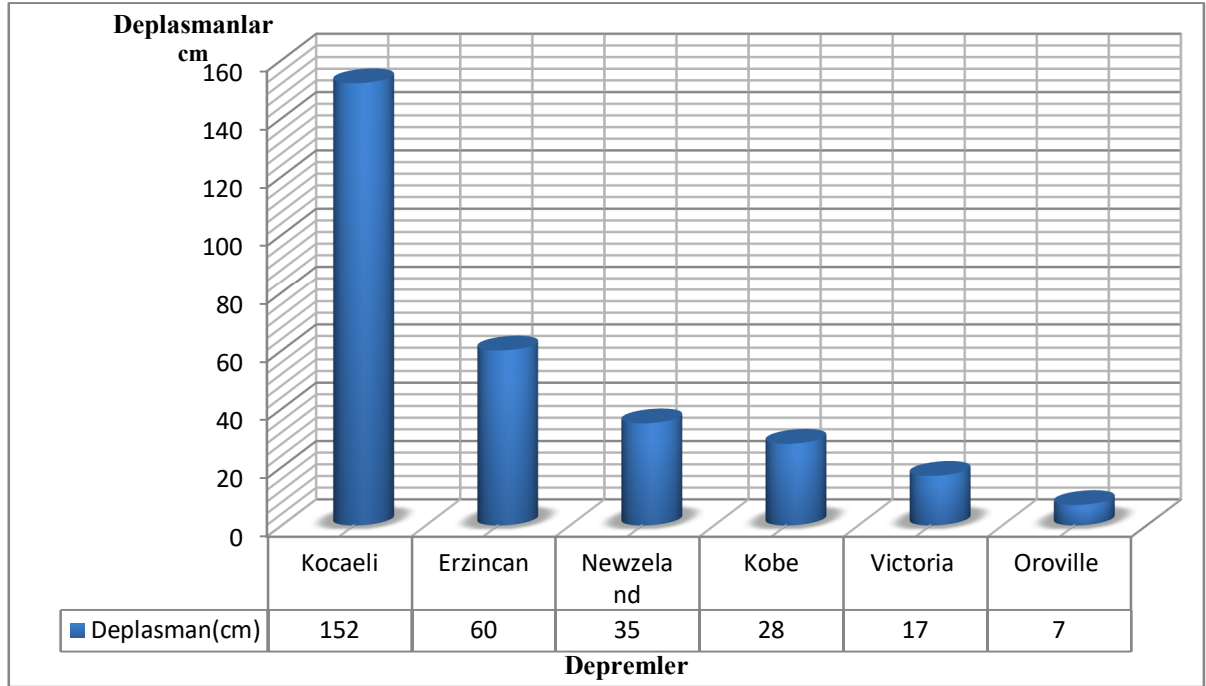
Pik ivme değeri 0,43 g olan Victoria depremi ivme kaydının Plaxis programı ile şev kesitine uygulanması sonucu oluşan deplasman miktarı 17 cm'dir. Analiz sonunda meydana gelen deplasman Şekil 7.21'de verilmiştir.



Şekil 7.21. Victoria depremi ivme kaydının Plaxis programı ile şev kesitine uygulanması sonucu oluşan deplasman miktarı (Plaxis).

7.4.7. Sonlu elemanlar yöntemi deplasman verilerinin karşılaştırılması

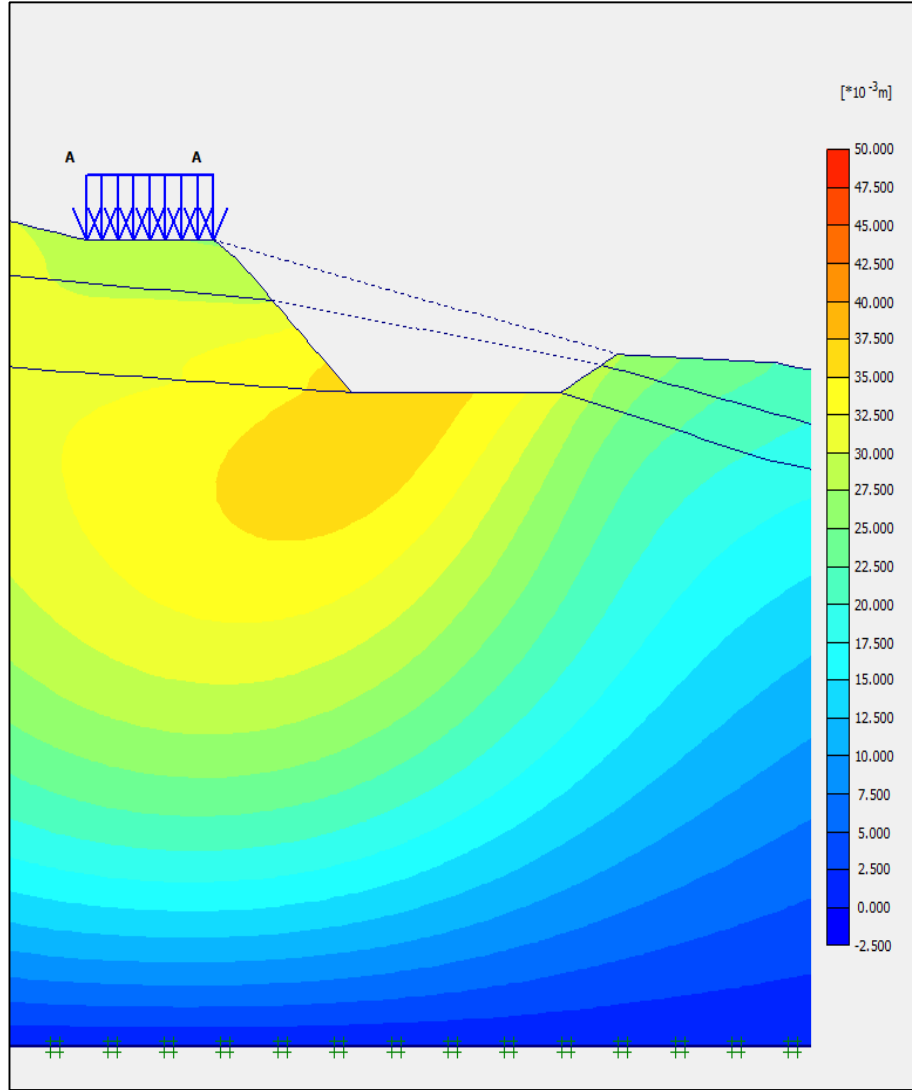
Vakaya ait şev kesitine farklı yerlerde meydana gelmiş 6 adet depremin sonlu elemanlar yöntemi ile uygulanması sonucu oluşan deplasmanların karşılaştırılması Şekil 7.22.'de verilmektedir.



Şekil 7.22. Sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen deplasmanlar (Plaxis).

7.4.8. Araç yükü uygulaması

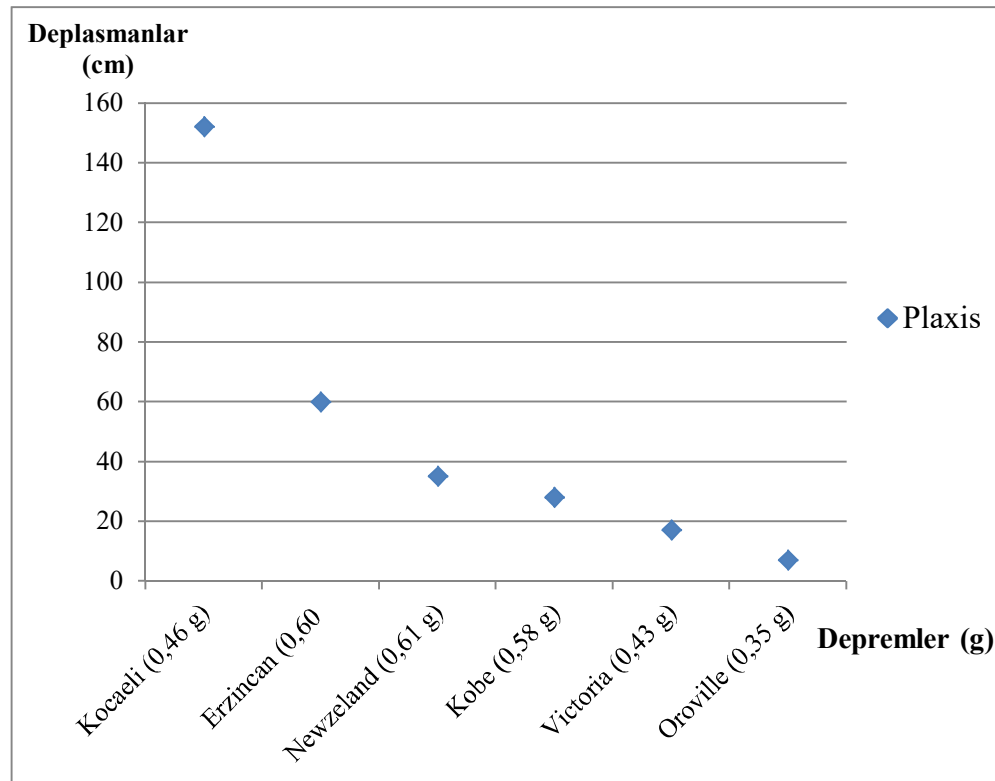
Şev bölgesinin üst kısmından geçen karayolunda meydana gelen yükler ile birlikte oluşan deplasmanlar, yolda olması ihtimal en kötü koşullar göz önüne alınarak Plaxis programıyla hesaplanmıştır. Araç yükü 15kN/m^2 olarak alınmıştır. Analiz sonucu 2.8 cm çökme deplasmanı meydana gelmiştir. Oluşan deplasman Şekil 7.23'de verilmektedir.



Şekil 7.23. Araç yükü uygulamasından dolayı oluşan deplasman (Plaxis).

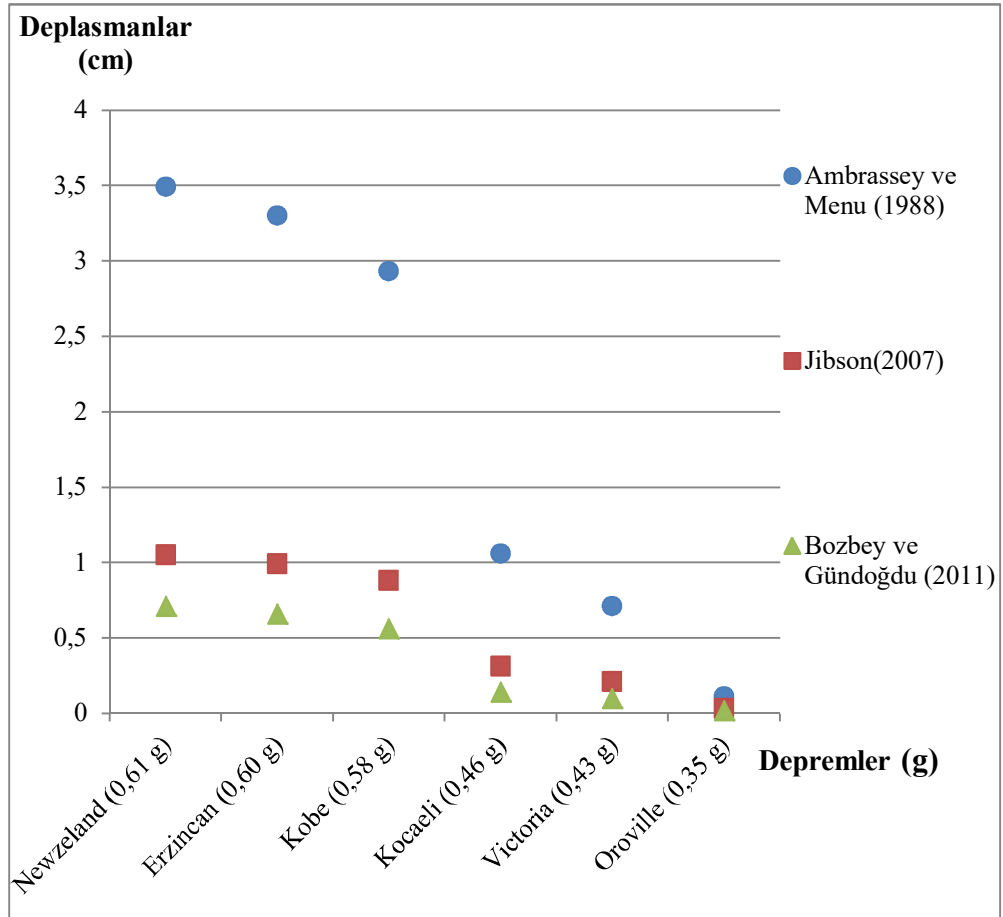
8. SONUÇLAR

Deprem bölgelerinde ve afet riski taşıyan yerleşim alanlarında bulunan şevlerin stabilitesi büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda yapılan çalışmalar ile daha iyi ve daha doğru sonuç veren yöntemler geliştirilmiştir. Günümüzde araştırmaların bir kısmı bilgisayar yazılımları ile yapılmaktadır. Bu çalışmada statik ve dinamik yüklerin uygulandığı şeve ait analiz sonuçları incelenmiştir. Statik analizler ile şevin güvenlik katsayıları hesaplanarak karşılaştırılmış ve farklı yöntemlerin birbirine yakın olmakla birlikte farklı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. En yüksek güvenlik katsayısı Lowe-Karafiht yöntemi ile 1.440 olarak, en düşük güvenlik katsayısı Janbu yöntemi ile 1,369 olarak elde edilmiştir. Dinamik analizlerde Dünya'nın değişik yerlerinde meydana gelmiş depremlerin Plaxis programı ile şeve uygulanmasıyla oluşan deplasmanlar kendi aralarında karşılaştırılmış ve en çok deplasmanın Kocaeli depreminde, en az deplasmanın Oroville depreminde diğer depremler sonucunda da farklı oranlarda deplasmanların meydana geldiği gözlenmiştir. Bu değerler Şekil 8.1'de verilmiştir.



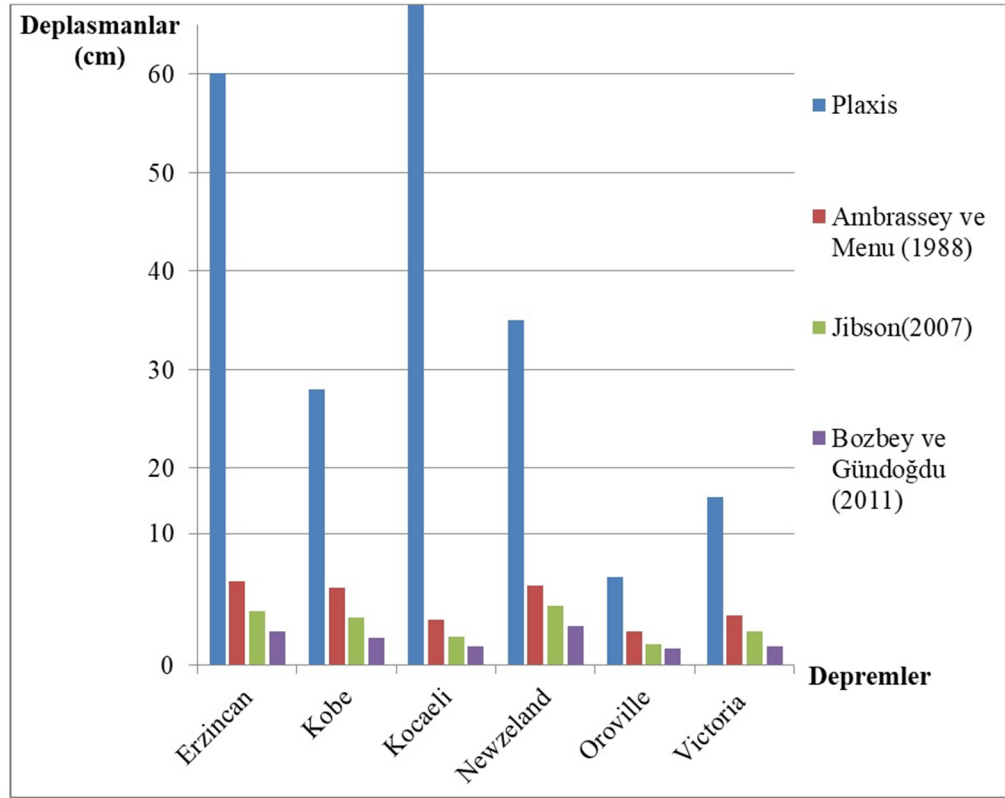
Şekil 8.1. Uygulanan depremler sonucunda sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen deplasmanların karşılaştırılması.

Bir sonraki aşama olarak, ampirik formüllerle deplasmanlar hesap edilerek kendi aralarında her deprem için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada en yüksek deplasman değerleri Ambrassey ve Menu (1988) yöntemi ile hesaplanmıştır. Diğer yöntemler, Jibson (2007) ve Bozbey ve Gündoğdu (2011) ile daha düşük deplasman değerleri, Şekil 8.2’de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 8.2. Uygulanan depremler sonucunda ampirik formüllerle elde edilen deplasmanların karşılaştırılması.

Plaxis programı kullanılarak bulunan deplasmanlar ampirik formüllerle elde edilen deplasman değerleri ile karşılaştırılmış ve Plaxis programı ile elde edilen deplasmanların daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu karşılaştırmaya ait grafik Şekil 8.3’de verilmiştir.



Şekil 8.3. Uygulanan depremler sonucunda sonlu elemanlar ve ampirik formüllerle elde edilen deplasmanların karşılaştırılması.

Son olarak şev in üst kısmından geçen yolda oluşabilecek yüklerden olayı oluşan deplasmanlar hesaplanmıştır. 15 kN/m^2 'lık araç yükü uygulanarak şev de meydana gelen deplasman miktarı 2.8 cm olarak bulunmuştur. Bu deplasman değerlerinin, Plaxis programı ile deprem ivme kayıtlarının uygulanması sonucu bulunan deplasmanlardan daha düşük olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak yapılan bu çalışmada herhangi bir şev üzerine inşa edilecek yapının stabilite analizi için statik ve dinamik yöntemler kullanmak daha mantıklı ve doğru çözümlere ulaşmayı sağlamaktadır. Ayrıca günümüzde çoklukla kullanılan sonlu elemanlar yöntemi bilgisayar uygulamaları zemin ve temel mühendisliği açısından önem kazanmakta ve giderek daha faydalı olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abramson, L.W. (1996). "Slope Stability and Stabilizations methods", *Wiley*, New York.
- Akbulut, İ. (2012). *Şev Duraylılığı*, Pozitif Matbaacılık Ltd.Şti., Ankara, 978-605-5310-53-0 Sy:10-53
- Akçakal Ö. (2009). "Şev stabilitesi analizinde geri hesap yöntemi ve bir vaka analizi", *Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Brandl, H. (1985). *Slope Stabilisation and Support Crib Walls and Prestressed Anchors Proc. Int. Geotech, Seminar*, Singapore 1, 179-198
- Ambraseys and Menu. (1988). "Earthquake-induced ground displacements", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 16, Sy: 985-1006.
- Balal O. (2013). *Probabilistic Seismic Hazard Assessment For Earthquake Induced Landslides*. Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Bishop, A. W. (1955). *The Use Of Slip Circle In The Stability Analysis*.
- Bozbey, İ., Gündoğdu Ö. (2011). A methodology to select seismic coefficients based on upper bound "Newmark" displacements using earthquake records from Turkey, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol 31 Issue 3, Sy:440-451
- Bromhead, E. N. (1986). "The Stability Of Slopes" *Surrey University Press*, London.
- Cernica, J.N. (1995). *Geotechnical Engineering: Soil Mechanics*, John Wiley and Sons Inc., Canada.
- Coduto, D. P. (2006). *Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamaları*, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Cruden, D.M, Varnes, D.J. (1996). 9. *Landslide types and processes*, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., p. 36–75.
- Çetin, T. (2010). *Şev Stabilite Analizleri İçin Bilgisayar Programının Geliştirilmesi Ve Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırılması*, Yüksek lisans, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Day R.W. (2002). *Geoteknik Deprem Mühendisliği El Kitabı* (Çeviri: M.Mollamahmutoğlu, K.Kayabalı, 2004) R.R.Donnelley&Company, ABD.
- Duncan J.M., Wrigth SG. (2005). *Zemin Şevlerinin Duraylılığı*, (Çev:Kamil KAYABALI).
- Fellenius, W. (1927). *Erdstatische Berechnungen mit Reibung und Kohasion*, Ernst, Berlin.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Güler, E. (2017). *Şevlerin Dinamik Yükler Altındaki Performansının Belirlenmesi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Goodman, R.E., Bray, J.W. (1976). “*Toppling of Rock Slopes. Proc. Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations And Slopes*”, ASCE .2, pp. 201-234, Boulder, Colorado.
- Gündoğdu, Ö. (2008). *Deprem Sırasında Şevlerde Oluşan Yatay Deplasmanların Newmark Yöntemi İle Belirlenmesi*, Yüksek lisans, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Jibson, R.W. (2007). *Regression models for estimating coseismic landslide displacement, Engineering Geology*, 91, 209–218.
- Kanat, A. (1999). *Japonya'da Kobe Depremi Sonrasında Gaz Tesisatlarının Yeniden Devreye Alınmasında Gaz Dedektörlerinin Kullanımının Önemi ve Cosmos Gaz Dedektörleri*, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı Bildiriler Kitabı, MMO Yayın, ISBN 975-395-357-7
- Karadağ, M.B. (2019). *Çiftlikköy İlçesi Gençlik Caddesindeki Heyelanın Vaka Analizi*, Yüksek lisans, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- Karikari, Y.O. and Agyei, Y.G. (2000) Stability of slopes over colluvium: investigation, analysis and stabilisation. In proceedings, *Conference on Geotechnical Engineering GeoEng2000*, Melbourne, Australia, 19- 24 November.
- Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Eartquake Engineering*, Prentice Hall, New Jersey, 975-8640-63-1
- Kramer S.L. (2003). *Geoteknik Deprem Mühendisliği*, (Çev:Kamil KAYABALI),Gazi Kitabevi, 975-8640-63-1
- Lowe, J., and Karafiath, L. (1959). Stability of earth dams upon drawdown, *Proceedings of the First PanAmerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Mexico City, Vol. 2, pp. 537-552.
- Morgenstern N.R., Price, V.E. (1965). The Analysis of the stability of general slip surfaces, *Geotechnique*, 15,79-93.
- Osmanoğlu, D. (2007). *Tünellerde Zemin İyileştirilmesi Ve Stabilitenin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Plaxis Programında Analiz Edilmesi*, Yüksek lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Önalp, A. ve Arel, E. (2004). “*Geoteknik Bilgisi II Yamaç ve Şevlerin Mühendisliği*”, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Popescu, M.E. and Sasahara, K. (2009). *Landslides – Disaster Risk Reduction*, Springer Berlin Heidelberg.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Sarma, S.K. (1979). "Stability analysis of embankments and slopes", *Journal Geot. Eng. ASCE*, 105:11:1511.
- Spencer, E. (1967). "A Method of Analysis of The Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-Slice Forces," *Geotechnique*, s. 17, ss. 11–26.
- Tekin, A. (2011). "Sonlu Elemanlar ve Limit Denge Yöntemleri İle Şev Stabilitesi Analizi", İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Terzaghi, K. (1950). Mechanisms of landslides, Engineering Geology (Berkey) Volume, *Geological Society of America*.
- Türkmen, S. (2009). *Deprem Durumunda Şev Stabilité Analizi*, Yüksek lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ulusay, R. (1996). *Stability of Soil Slopes in Engineering Practice* (Course Notes)
- Ulusay, R. (2001). "Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler", *Türkiye Mimarlar Mühendisler Odası Başkanlığı Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları* 38s.
- Url-1. <https://www.ucozinsaat.com.tr/proje/sakarya-pamukova-cilekli-goletiyapim-isi>, (Erişim Tarihi: 01.07.2019).
- Url-2. <https://twitter.com/hergunlinsaat/status/1062286867981307904>, (Erişim Tarihi: 03.07.2019)
- Url-3. <https://www.tencategeo.eu/tr/Pazarlar/Yerel-Yoenetim Altyap>, (Erişim Tarihi: 02.07.2019).
- Url-4. <http://peyzax.com>, (Erişim Tarihi: 05.07.2019).
- Url-5. <https://www.insaathaber.org>, (Erişim Tarihi: 08.07.2019).
- Url-6. <https://insapedia.com>, (Erişim Tarihi: 09.07.2019).
- Varnes, D.J. (1978). *Slope movement types and processes in landslides*, Analysis and Control Transportation Research Board Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington D.C., 12-33.
- Zienkiewicz, O.C. (1977). The finite element method, 3rd expanded & revised ed. of "The finite element method in engineering science", Mc Graw-Hill.

ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ali POLAT
Doğum Yeri ve Tarihi : Erzurum / 01.09.1991



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bayburt Üniversitesi İnşaat Mühendisliği

İletişim

Adres : Merkez / YALOVA
E-Posta Adresi : polat-77@hotmail.com

Akademik Çalışmaları

- Polat, A., Yılmaz, G., Işık, N.S., Özsoy, E.A., (2019). Şev Stabilitesinde Sonlu Elemanlar Yönteminin (Statik Ve Dinamik Riskler Altında) Uygulaması-Vaka Analizi. *Uluslararası Afet ve Dirençlilik Kongresi 26-28 Haziran, 2019.*

Tarih: 20/08/2019