



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



GEVŞEK ZEMİNLERDEN OLUŞMUŞ HEYELAN RİSKİ BULUNAN ŞEVLERİN TASARIMI VE PROJELENDİRİLMESİ ÜZERİNE BİR VAKA ANALİZİ

Yüksek Lisans Tezi

Burak SÜRÜCÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

İzmir
2022

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**GEVŞEK ZEMİNLERDEN OLUŞMUŞ HEYELAN
RİSKİ BULUNAN ŞEVLERİN TASARIMI VE
PROJELENDİRİLMESİ ÜZERİNE BİR VAKA
ANALİZİ**

Burak SÜRÜCÜ

Danışman : Prof. Dr. Selim ALTUN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

İzmir
2022

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi / Doktora Tezi olarak sunduğum “Gevşek Zeminlerden Oluşmuş Heyelan Riski Bulunan Şevlerin Tasarımı Ve Projelendirilmesi Üzerine Bir Vaka Analizi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

.... / / 20..

İmzası

Burak SÜRÜCÜ

ÖZET**GEVŞEK ZEMİNLERDEN OLUŞMUŞ HEYELAN RİSKİ
BULUNAN ŞEVLERİN TASARIMI VE PROJELENDİRİLMESİ
ÜZERİNE BİR VAKA ANALİZİ**

SÜRÜCÜ, Burak

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Selim ALTUN

Şubat 2022, 165 sayfa

Bu tezde gevşek zeminlerden oluşmuş heyelan riski bulunan şevlerin tasarımı ve projelendirilmesi üzerine çalışılmıştır. Konuya uygun seçilen vaka analizinde güvenlik ve ekonomi faktörleri göz önüne alınarak şev probleminin optimum çözüm yöntemleri araştırılmıştır. Çalışmada ele alınan vaka analizindeki şev zemininin “Isparta Ofiyolit Karmaşığı” içerikli malzemeden meydana gelmesi, önceden birçok kütle hareketine maruz kalmış olması, yüksek bir şev olması, yakın bölgesinde fay kırığı olması ve şevin topuk bölgesinde yapılacak temel kazıları şevin stabilitesini zorlayıcı etmenler arasındadır. Literatür çalışmaları ve araziyle ilgili geçmişte hazırlanan zemin raporları dahilinde şevin tasarımı ve projelendirilmesi sağlanmıştır.

Şevin projelendirilmesinde yük kaldırılması ve palyelendirme, yüzeysel drenaj, fore kazık, istinat duvar ve bitkilendirme çalışmaları yapılmıştır. Bu iyileştirme çalışmalarının şev üzerindeki etkilerinin incelenmesinde limit denge yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi ve sonlu farklar yönteminden faydalanılmıştır. Her üç yöntemin güvenlik sayılarının yakın sonuçlar vermesiyle hesaplamalar doğrulanmıştır. Ayrıca arazide projenin başarılı biçimde uygulanması sağlanmıştır.

Anahtar sözcükler: Şev stabilitesi, gevşek zemin, heyelan, zemin iyileştirmesi, limit denge yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi, sonlu farklar yöntemi



ABSTRACT**A CASE STUDY ON THE DESIGN AND PROJECTING OF SLOPES
WITH LANDSLIDE RISK FORMED FROM LOOSE SOILS**

SÜRÜCÜ, Burak

MSc in Civil Eng.

Supervisor: Prof. Dr. Selim ALTUN

February 2022, 165 pages

In this thesis, it has been studied on the design and design of slopes with landslide risk formed from loose soils. In the case analysis chosen according to the subject, optimum solution methods of the slope problem were investigated by considering the safety and economy factors. The slope soils in the case analysis discussed in the study consists of "Isparta Ophiolite Complex"-containing material, it has been exposed to many mass movements before, it is a high slope, there is a fault fracture in the close region and the foundation excavations to be made in the heel region of the slope are among the factors that compel the stability of the slope. The slope was designed and projected within the framework of the literature studies and the ground reports prepared in the past regarding the land.

In the design of the slope, load removal and paling, surface drainage, bored piles, retaining walls and planting works were carried out. Limit equilibrium method, finite element method and finite difference method were used to examine the effects of these improvement works on the slope. Calculations were confirmed as the safety numbers of all three methods gave close results. In addition, the successful implementation of the project in the field was ensured.

Keywords: Slope stability, loose soil, landslide, soil improvement, limit equilibrium method, finite element method, finite difference method



ÖNSÖZ

Heyelan afeti, insan yaşamı ve ülke ekonomisini üzerinde doğrudan veya dolaylı olarak olumsuz birçok etki meydana getirmektedir. Türkiye’de 1929-2018 dönemi içerisinde belirlenen 357 heyelan olayı neticesinde 1291 kişi hayatını kaybetmiştir. Ülkemizde 1950-2004 döneminde heyelanların etkilemiş olduğu yapı sayısı yaklaşık 65000’dir. Oluşan afetler neticesinde tahliye edilen yapı sayısı 167.787’dir. Ayrıca doğal afetlerin oluşturduğu maddi kayıplar Gayri Safi Milli Hasılanın %1-3’üne bedeldir.

Heyelanların, altyapı çalışmaları ve inşaat çalışmalarından dolayı son yıllarda artışa geçtiği belirlenmiştir. Özellikle şevlerin topuk bölgelerinde temel inşası amacıyla yapılan kazılar şevlerin stabilitesini tehdit etmekte ve kaymalara sebebiyet vermektedir. Bundan dolayı yapı inşasına başlamadan evvel heyelan riski taşıyan şev zemininin karakteristik özelliklerinin doğru yorumlanması, meydana gelmesi muhtemel kütle hareketinin şeklini ve alınması gereken önlemleri belirlemek açısından önemlidir.

Bu tezde topuk bölgesinde yapı inşası gerçekleştirilmesi planlanan, geçmişte heyelanların meydana geldiği, gevşek zeminden meydana gelmiş bir şevin tasarımı ve projelendirilmesi sağlanmıştır. Meydana gelebilecek kütle hareketleri, dönemsel şev stabilitesi analizleri, farklı zemin türleri için şev stabilitesi analizlerinin nasıl yapılması gerektiği, boşluk suyu basıncının şeve etkileri ve şev stabilitesi hesaplamaları için gerekli kayma mukavemeti parametrelerinin nasıl bulunabileceği detaylı biçimde anlatılmıştır. Ardından vaka analizine konu olan şevin, iyileştirme çalışmalarıyla birlikte limit denge yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi ve sonlu farklar yöntemi analiz esasları aşamalı olarak anlatılmıştır. Bu çalışmanın benzer vakalarla karşılaştırılması halinde geoteknik mühendisleri için faydalı ve yol gösterici olmasını dileği ile, Saygılarımla..

İZMİR

12/12/2021

Burak SÜRÜCÜ



İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ.....	xi
İÇİNDEKİLER	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xx
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxix
1. GİRİŞ	1
2. ŞEVLERİN STABİLİTESİ.....	4
2.1 Şev Terminolojisi ve Güvenlik Sayısı Kavramı	4
2.1.1 Şev Terminolojisi.....	4
2.1.2 Şevlerde Meydana Gelen Hareket Türleri	6
2.1.2.1 Düşme-Yuvarlanma Hareketi	6
2.1.2.2 Devrilme Hareketi	7
2.1.2.3 Kayma Hareketi	7

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.1.2.4 Yanal Yayılma Hareketi.....	8
2.1.2.5 Akma Hareketi	9
2.1.3 Şevlerde Kayma Modları	9
2.1.3.1 Düzlemsel Kayma	9
2.1.3.2 Dairesel Kaymalar.....	10
2.1.3.3 Birleşik Şev Kayması.....	11
2.1.4 Şevlerde Güvenlik Sayısı Kavramı	11
2.1.5 Kısa ve Uzun Dönem Şev Stabilesi Analizleri	12
2.1.6 Şevlerin Stabilesini Değerlendirme Yöntemleri	14
2.2 Şev Stabilesi Hesaplama Yöntemleri.....	16
2.2.1 Sonsuz Şevlerin Stabilesi.....	16
2.2.2 Sonlu Şevlerin Stabilesi	17
2.3 Dilim Yöntemleri İle Şev Stabilesinin Hesaplanması	17
2.3.1 İsveç Dilim (Fellenius ve Petterson) Yöntemi	17
2.3.2 Basitleştirilmiş Bishop Dilim Yöntemi.....	22
2.3.3 Bishop ve Morgenstern Yöntemi	26
2.3.4 Spencer Yöntemi.....	30

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2.3.5 Janbu Yöntemi	32
2.3.6 Taylor Şev Stabilitesi Analiz Grafikleri	36
2.4 Şevlerde Boşluk Basıncı Oranı	38
2.4.1 Boşluk Basıncının Özellikleri.....	38
2.4.2 Boşluk Basıncı Katsayısının Belirlenmesi	41
2.4.3 Yüzey ve Yeraltı Sularının Olumsuz Etkilerine Karşı Alınabilecek Önlemler.....	43
2.5 Şev Stabilitesi Hesaplamalarındaki Mukavemet Parametrelerinin Belirlenmesi.....	45
2.5.1 Şev Stabilitesi Hesaplamalarında Yükleme Özellikleri.....	46
2.5.1.1 Konsolidasyonsuz ve Drenajsız Yükleme	47
2.5.1.2 Konsolidasyonlu ve Drenajsız Yükleme	48
2.5.1.3 Konsolidasyonlu ve Drenajlı Yükleme.....	48
2.5.1.4 Efektif Gerilme Yaklaşımı.....	49
3. VAKA ANALİZİNE KONU OLAN ŞEV HAKKINDA GEÇMİŞTE HAZIRLANAN STABİLİTE RAPORLARI.....	54
3.1 Ağustos-Ekim 2014 Zemin Etüdü ve Şev Stabilitesi Raporu.....	54
3.1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	54

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.1.2 İnceleme Alanında Yapılan Çalışmalar	55
3.1.3 Şev Stabilite Analizi.....	56
3.2 Aralık 2014 Zemin Etüdü ve Şev Stabilitesi Raporu	59
3.2.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	59
3.2.2 İnceleme Alanında Yapılan Çalışmalar	60
3.2.3 Şev Stabilite Analizi.....	61
3.3 Mart 2017 Zemin Etüdü ve Şev Stabilitesi Raporu	67
3.3.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	67
3.3.2 İnceleme Alanında Yapılan Çalışmalar	68
3.3.3 Şev Stabilite Analizi.....	71
3.4 Eylül 2017 Zemin Etüdü ve Şev Stabilitesi Raporu	75
3.4.1 Çalışma Amacı ve Kapsamı	75
3.4.2 İnceleme Alanında Yapılan Çalışmalar	76
3.4.3 Şev Stabilitesi Analizleri.....	77
4. BÖLÜM GEVŞEK ZEMİNDEN MEYDANA GELMİŞ ŞEVLERİN TASARIMI VE PROJELENDİRİLMESİ ÜZERİNE VAKA ANALİZİ.....	83
4.1 Şevde Geçmişte Yapılan Çalışmalar ve Oluşan Heyelanlar	83

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.2 Şevin Güncel Zemin Koşulları	88
4.2.1 Şevin Geometrisi	88
4.2.2 İnceleme Alanının Jeolojisi	90
4.2.2.1 İnceleme Alanında Yapılan Saha Deneyleri.....	90
4.2.2.2 İnceleme Alanının Bölgesel Jeolojik Özellikleri.....	91
4.2.3 Analizlerde Kullanılacak Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi.....	94
4.2.3.1 Kısa ve Uzun Dönem Analizi Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi	94
4.2.3.2 TBDY 2018'e Göre Sismik Şev Stabilite Hesaplamaları ve Parametrelerin Belirlenmesi	98
4.3 Şevde Yapılan İyileştirme Çalışmaları	100
4.3.1 Yük Kaldırılması ve Palyelendirme Çalışmaları	101
4.3.2 Drenaj Çalışmaları	103
4.3.3 Fore Kazık Çalışmaları	104
4.3.4 İstinat Duvarı Çalışmaları.....	106
4.3.5 Bitkilendirme Çalışmaları.....	107
4.4 Şev Stabilesi Analizleri	108
4.4.1 Sonlu Elemanlar Yöntemine Bağlı Şev Stabilesi Analizleri	108

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.4.1.1 Sonlu Elemanlar Yönteminin Esasları	108
4.4.1.2 PLAXIS v8.2 Programı ile Şev Stabitesinin Hesaplanması	109
4.4.1.3 PLAXIS v8.2 Programı ile Veri Girişi ve Modellemenin Yapılması	110
4.4.1.4 PLAXIS v8.2 Analiz Sonuçlarının İncelenmesi	113
4.4.1.5 MIDAS GTS NX Programı ile Şev Stabilesinin Hesaplanması	118
4.4.1.6 MIDAS GTS NX ile Veri Girişi ve Modellemenin Yapılması	118
4.4.1.7 MIDAS GTS NX Analiz Sonuçlarının İncelenmesi	122
4.4.1.8 MIDAS GTS NX ve PLAXIS v8.2 Analiz Sonuçlarının Kıyası	124
4.4.2 Sonlu Farklar Yöntemine Bağlı Şev Stabilesi Analizleri	125
4.4.2.1 Sonlu Farklar Yönteminin Esasları	125
4.4.2.2 FLAC Slope v8.1 Programı ile Şev Stabilesinin Hesaplanması	126
4.4.2.3 FLAC Slope v8.1 Programı ile Veri Girişi ve Modellemenin Yapılması	127
4.4.2.4 FLAC Slope v8.1 Analiz Sonuçlarının İncelenmesi	129
4.4.3 Limit Denge Yöntemine Bağlı Şev Stabilesi Analizleri	130
4.4.3.1 Limit Denge Analizi Yöntemlerine Genel Bakış	130
4.4.3.2 SLIDE v6.0 Programı ve Şev Stabilesinin Hesaplanması	132
4.4.3.3 SLIDE v6.0 Programı ile Veri Girişi ve Modellemenin Yapılması	133

İÇİNDEKİLER (devam)Sayfa

4.4.3.4 SLIDE v6.0 Programı Analiz Sonuçlarının İncelenmesi.....	137
4.4.3.5 MS Excel İle Şev Stabillitesi Hesaplamaları	139
4.4.4 Şevin Olasılıklı Geri Hesaplama Yöntemiyle Değerlendirilmesi.....	146
5. SONUÇLAR	152
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	158
TEŞEKKÜR	163
ÖZGEÇMİŞ	164
EKLER	165

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2. 1 Genel Şev Geometrisi	4
2. 2 Düşme Hareketi	7
2. 4 Kayma Hareketleri a) Düzlemsel Kayma b) Dairesel Kayma c) Kama Tipi Kayma.....	8
2. 5 Yanal Yayılma Hareketi.....	9
2. 6 Akma Hareketi	9
2. 7 Düzlemsel Kayma Hareketi	10
2. 8 Dairesel Kayma Hareketi ve Türleri	11
2. 9 Bileşik Şev Kayması	11
2. 10 İsveç Dilim Yöntemi, AC Kırılma Yüzeyi	18
2. 11 İsveç Dilim Yöntemi, Bir Dilime Etkiyen Kuvvetlerin Diyagramı	19
2. 12 Çok Katmanlı Şevlerde İsveç Dilim Yönteminin Uygulanması.....	21
2. 13 (Bishop, 1955) Yöntemi, Bir Dilime Etkiyen Kuvvetlerin Diyagramı.....	22
2. 14 (Bishop, 1955) Yöntemi Kuvvetler Diyagramı.....	23
2. 15 $m\alpha(n)$ değerinin $\alpha(n)$ ve $\tan\phi'_{GS}$ parametrelerine bağlı değişimleri	24
2. 16 (Bishop, 1955) Yönteminin Yeraltı Suyu Olması Durumunda Uygulanması	26
2. 17 Yöntemi Şev Stabilitesi Abakları.....	31

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2. 18 Farklı Katmanlar Olması Halinde (Janbu, 1973) Yöntemi Kırılma Yüzeyi.	33
2. 19 (Janbu, 1973) Yönteminde Bir Dilime Etkiyen Kuvvetler	33
2. 20 (Janbu, 1973) Yönteminde Düzeltme Faktörü.....	36
2. 21 (Taylor, 1948) Yöntemi Stabilite Faktörü ($\phi = 0$ için).....	36
2. 22 (Taylor, 1948) Stabilite Faktörü (c ; ϕ zeminler için)	37
2. 23 Dairesel ve Düzlemsel Kaymalarda Boşluk Basıncı Oranının Hesaplanması	39
2. 24 Bir Şev Diliminin Stabilite Boşluk Suyuna Yönelik Büyüklükleri	40
2. 25 Şev Aynasında Sızıntı Olması/Olmaması Durumunda Akış Halleri a) Sızıntı Olmaması Durumunda Paralel Akış Hali b) Sızıntı Olması Durumunda Yatay Akış Hali c) Sızıntı Olması Durumunda Parabolik Akış Hali	41
2. 26 Yüzeyden gelebilmesi muhtemel veya yeraltı sularının etkisiyle şevlerde meydana gelebilecek stabilite kayıplarının önlenmesinde alınabilecek bazı mühendislik tedbirleri a) Çekme Çatlaklarının Kil Tıpaçları İle Kapatılması b) Kafa Hendeği ve Drenaj Borusu ile Suyun Şevden Uzaklaştırılması.....	44
2. 27 Mohr Coulomb Kırılma Ölçütü	46
2. 28 Gevşek-Doygun Kumda ve Yoğun-Sıkı Kumda “CU” Üç Eksenli Deney Sonuçları a) Gevşek-Doygun Kumda “CU” Üç Eksenli Deney Sonuçları b) Yoğun-Sıkı Kumda “CU” Üç Eksenli Deney Sonuçları.....	50

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2. 29 Doygun Kilin Üç Eksenli Deney Sonuçları a) “UU” Üç Eksenli Deney Sonuçları b) “CU” Üç Eksenli Deney Sonuçları c) “CD” Üç Eksenli Deney Sonuçları	52
3. 1 İnceleme Alanı ve Yakın Çevresinin Uydu Görüntüsü	54
3. 2 A-A’ Kesitine Ait Şevin Kayma Dairesi.....	56
3. 3 Aralık 2014’te Arazide Oluşan Heyelan (Kuzeydoğu Yönü)	59
3. 4 Şevin Topuk Bölgesinde Gerçekleştirilen SPT Deneyi	60
3. 5 Şev Yüzeyi Boyunca Yapılan Çok Kanallı Rezistivite Deneyi Sonuçları.....	60
3. 6 Şev İyileştirmesinden Önce A-A’ Kesiti Stabilitate Analizleri	62
3. 7 Şev İyileştirmesinden Önce B-B’ Kesiti Stabilitate Analizleri	62
3. 8 Şev İyileştirmesinden Önce C-C’ Kesiti Stabilitate Analizleri.....	63
3. 9 Drenaj Hattını Gösterir Kroki	64
3. 10 Kazık Hattını Gösterir Kroki	65
3. 11 Şev İyileştirmesinden Sonra A-A’ Kesiti Stabilitate Analizleri	66
3. 12 Şev İyileştirmesinden Sonra B-B’ Kesiti Stabilitate Analizleri.....	67
3. 13 Şev İyileştirmesinden Sonra C-C’ Kesiti Stabilitate Analizleri	67
3. 14 Heyelan Sonrası Arazinin Görüntüsü	68
3. 15 İnceleme Alanındaki Jeolojik Yapıyı Gösterir Şematik Kesit	70

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3. 16 İnceleme Alanında Açılan Sondajların Şev İçerisindeki Yerleri	70
3. 17 Şevden Alınan Numuneler ile Yapılan Laboratuvar Deneylerinin Sonuçları.....	71
3. 18 Şev Hareketini Önleme Amaçlı Önerilen Tasarım Projesi.....	72
3. 19 Destek Elemanlarıyla Yapılan Şev Stabilitesi Analizleri	73
3. 20 Şev Hareketini Önleme Amaçlı Önerilen Tasarım Projesi Plan Görüntüsü	73
3. 21 Yapılması Planlanan Drenaj Projesi ve Hendek Detayları	74
3. 22 İnceleme Alanı Yer Bulduru Haritası	75
3. 24 Şevin Topuk Kısmından Alınan Numunelerin Toplu Deney Sonuçları....	77
3. 25 İnceleme Sınırı ve Şev Analizi Yapılan A-A' Kesit Doğrultusu.....	78
3. 26 A-A' Kesiti İlgili Parsel ve Çevresinin Mevcut Hali.....	78
3. 27 A-A' İlgili Parsel ve Çevresinde Konut Yapımı İçin Hafriyat Alınmış Hali	79
3. 28 Parselde Uygulanması Planlanan Kazı Kesiti.....	80
3. 29 Boyutlandırma Hesaplarında Kullanılan İdealize Edilmiş Tesir Kuvvetleri Diyagramı	81
4. 1 2019 Yılında Yapılan Kazıkların Temel Kazısı Sonrası Kırılması (Batı Yönü)	85

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4. 2 2019 Yılında Yapılan Kazıkların Temel Kazısı Sonrası Kırılması (Doğu Yönü).....	85
4. 3 2019 Yılı Heyelan Sonrası Şevin Üstten Görünümü (Kuzeybatı Yönü)	87
4. 4 2019 Yılı Heyelan Sonrası Şevin Üstten Görünümü (Kuzeydoğu Yönü)	87
4. 5 Drone ile Çekilmiş Şevin Eylül 2020 Görüntüsü (Kuzeydoğu Yönü)	88
4. 6 Analizleri Gerçekleştirilecek Şevin Plan Görüntüsü	89
4. 7 Şevin Kritik Kesiti (A-A' kesiti).....	90
4. 8 Heyelan Riskli Bölgenin Jeolojik Kesiti.....	91
4. 9 Isparta ve Çevresinin Bölgesel Jeolojik Haritası	94
4. 10 Efektif İçsel Sürtünme Açısı ile Plastisite İndisi İlişkisi	96
4. 11 SPT-N Vuruş Sayısı ve Kayma Mukavemeti Açısı İlişkisi	96
4. 12 Şevin Palyelendirilmiş Kesiti.....	102
4. 13 Şevin Drone ile Çekilmiş Palyelendirilmiş Hali	102
4. 14 Şevde Yapılacak Yüzeysel Drenaj Sistemleri.....	103
4. 15 Mevcut ve Yapılması Planlanan Kazıkların Kesiti	105
4. 16 Kazık ve İstinat Projesinin Kesit Görseli.....	105
4. 17 Şevin Topuğunda Yapılmış Kazıklar ve İstinat Duvarının Ampatman Kalıpları	106

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4. 18 Şevin Topuğuna Yapılan İstinat Duvarı	107
4. 19 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Öncesi Analizin Genel Geometrisi ve Sonlu Elemanlar Ağı	112
4. 20 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Öncesi Analizin Sonlu Elemanlar Ağındaki Değişimi	113
4. 21 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Öncesi Analiz Neticesinde Kazık Tesirleri	113
4. 22 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Öncesi Analizi Neticesindeki Kayma Dairesi	114
4. 23 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Öncesi Analiz Neticesindeki Güvenlik Sayısı	114
4. 24 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Sonrası Analizi Şev Geometrisi.....	115
4. 25 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Sonrası Analizin Sonlu Elemanlar Ağındaki Değişimi	116
4. 26 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Sonrası Analizi Neticesindeki Kayma Dairesi	116
4. 27 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Sonrası Analiz Neticesinde Kazık Tesirleri	117
4. 28 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Sonrası Analiz Neticesindeki Güvenlik Sayısı	117
4. 29 Çizim Modelinin Programın İçerisine Aktarılması	119

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4. 30 MIDAS GTS NX ile Şev Modelinin Oluşturulması	121
4. 31 MIDAS GTS NX ile Yatay Deplasmanların Hesaplanması	123
4. 32 MIDAS GTS NX ile Şevde Oluşan Kayma Dairelerinin Hesaplanması ...	123
4. 33 PLAXIS v8.2 ile Şev Modelinin Oluşturulması	124
4. 34 PLAXIS v8.2 ile Yatay Deplasmanların Hesaplanması	125
4. 35 PLAXIS v8.2 ile Şevde Oluşan Kayma Dairelerinin Hesaplanması	125
4. 36 FLAC Slope v8.1 ile Analiz Öncesi Şev Geometrisinin Tanımlanması....	128
4. 37 FLAC Slope v8.1 ile Sonlu Farklar Ağıının Tanımlanması	128
4. 38 FLAC Slope v8.1 Kısa Dönem Analizi Sonuçları	129
4. 39 FLAC Slope v8.1 Uzun Dönem Analizi Sonuçları.....	130
4. 40 Yeraltı Suyunun tanımlanması ve Malzemelerin Atanması	135
4. 41 Kazıkların Çizimi ve Özelliklerinin Modele Atanması	136
4. 42 Limit Denge Yöntemine Göre Kısa Dönem Analizi Sonuçları	138
4. 43 Limit Denge Yöntemine Göre Uzun Dönem Analizi Sonuçları	138
4. 44 Limit Denge Yöntemine Göre Sismik Analiz Sonuçları	138
4. 45 Analizi Gerçekleştirilen Şevin Kayma Dairesi ve Dilimleri.....	140

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4. 46 Basitleştirilmiş Janbu Yönteminde Kullanılan Şev Geometrisi ve Özellikleri.....	144
4. 47 Olasılık Hesaplamalarındaki Frekans-Güvenlik Sayısı İlişkisi	148
4. 48 Olasılık Hesaplamalarındaki İçsel Sürtünme Açısı-Güvenlik Sayısı İlişkisi	149
4. 49 Olasılık Hesaplamalarındaki Kohezyon-Güvenlik Sayısı İlişkisi	149
4. 50 Olasılık Hesaplamalarındaki Birim Hacim Ağırlık-Güvenlik Sayısı İlişkisi	149
4. 51 Limit Denge Yöntemi Geri Analiz Sonuçları	151
4. 52 Sonlu Elemanlar Yöntemi Geri Analiz Sonuçları	151

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2. 1 Stabilite Faktörleri (m' ve n')	28
3. 1 Yapılan Sondajlara Ait Ortalama SPT N_{30} Değerleri	55
3. 2 A-A' kesitini hesap sonuçları.....	57
4. 1 Zeminlerin Tipik Efektif Elastisite Modülleri	97
4. 2 Mart 2017 Raporu Jeofizik Çalışmalarından Elde Edilen Poisson Oranları.....	97
4. 3 Hesaplamalarda Kullanılacak Zemin Parametreleri	98
4. 4 Çalışma Sahasının AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritalarından Alınmış Sismik Büyüklükleri	100
4. 5 Limit Denge Yöntemi ile Şev Stabilitesi Analizi Sonuçları	139
4. 6 Fellenius Yöntemine Göre Şev Stabilitesi Analizi Verileri	141
4. 7 Basitleştirilmiş Bishop Yöntemine Göre Şev Stabilitesi Analizi Verileri .	142
4. 8 Basitleştirilmiş Bishop Yöntemine Göre Güvenlik Sayısının Belirlenmesi.....	143
4. 9 Basitleştirilmiş Janbu Yöntemine Göre Şev Stabilitesi Analizi Verileri ...	144
4. 10 Basitleştirilmiş Janbu Yöntemine Göre Güvenlik Sayısının Belirlenmesi	145
4. 11 Limit Denge Yöntemiyle Yapılan Analiz Sonuçlarının Kıyası	145
4. 12 Ofiyolitik Melanj Uzun Dönem İstatistiksel Parametreleri	148

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Δ_u	Boşluk suyu basıncındaki değişim
$\Delta\sigma_1$	Düşey gerilme değişimi
$\Delta\sigma_3$	Orta asal gerilme değişimi
$\bar{A}$	Orta ve asal gerilmelerin değişimi
F_p	Kaymayı engelleyen kuvvet
F_s	Kaymaya neden olan kuvvet
H_{cr}	Kritik şev yüksekliği
M_p	Kaymayı engelleyen moment
M_s	Kaymaya neden olan moment
b_n	Şev dilimi genişliği
c_u	Drenajsız kohezyon
f_o	Düzeltilme faktörü
n_d	Derinlik faktörü
r_u	Boşluk suyu basıncı oranı
u_o	İlk durumdaki boşluk suyu basıncı
z_n	Şev diliminin ortalama yüksekliği
γ_d	Şev zemininin doymun birim hacim ağırlığı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
γ_{su}	Suyun birim hacim ağırlığı
σ'	Efektif normal gerilme
τ_d	Potansiyel kayma yüzeyi boyunca gelişen zeminin kaymasına sebep olan direnç
τ_f	Zeminin kaymaya karşı gösterdiği direnç
φ'	Efektif içsel sürtünme açısı
φ_u	Drenajsız içsel sürtünme açısı
A	Kilin türüne ve yüklenme tarihçesine göre değişen bir katsayı
a	Kohezyon kuvvetinin kayma dairesi merkezine olan uzaklığı
c'	Efektif kohezyon
d	Kayan kütleinin ağırlık merkezinin kayma dairesi merkezine dik uzaklığı
h	Piyezometredeki su yüksekliği
l	Moment kolu
m	Stabilite Faktörü
N_a	Düzleme dik kuvvet
N_r	Düzleme dik tepki kuvveti
O	Kayma dairesinin merkezi
q	Şeve etkileyen sürşarj yükü
R	Kayma dairesinin yarıçapı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
R	Kaymaya karşı zemin parçasının ağırlığına karşılık gelen reaksiyon kuvveti
S	Doygunluk yüzdesi
T_a	Düzleme paralel kuvvet
T_r	Düzleme paralel tepki kuvveti
u	Boşluk suyu basıncı
W	Şev diliminin ağırlığı
θ	Kayma yüzeyi ve yatay yüzey arasındaki açı
GS	Güvenlik Sayısı
H	Şev yüksekliği
β	Şev açısı
γ	Şev zemininin doğal birim hacim ağırlığı
σ	Toplam normal gerilme
τ	Toplam kayma gerilmesi
k_h	Yatay deprem katsayısı
k_v	Düşey deprem katsayısı
V_s	Kayma dalgası hızı
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
PGA	En büyük yer ivmesi
PGV	En büyük yer hızı
V_{cr}	Betonarme elemanın kesmede çatlama dayanımı
f_{ctd}	Betonarme elemanın tasarım çekme dayanımı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
SPT	Standart penetrasyon deneyi
SK	Sondaj kuyusu
LL	Likit limit
PL	Plastik limit
PI	Plastisite indisi
UD	Örselenmemiş numune
CL	Düşük plastisiteli kil
SM	Siltli kum
SC	Killi kum
GM	Siltli çakıl
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
BS	İngiliz Standartları
Of	Ofiyolitik karmaşık
Gf	Gölcük Formasyonu
Adz	Andezit (Pliosen)
Fa	Fliş Birimi
Qal- Qym	Alüvyon
NL	Lineer olmayan analiz
SRM	Mukavemet azaltım yöntemi
LEM	Limit denge yöntemi
FEA	Sonlu elemanlar yöntemi

1. GİRİŞ

Şevlerin stabilitesinin değerlendirilmesi; geoteknik mühendisliğinin önemli, ilginç ve zeminlerin karmaşık yapısından ötürü zor bir konudur. Şev stabilitesinin hesaplama yöntemleri yaklaşık bir asırlık süreç içerisinde yapılan kapsamlı mühendislik araştırmaları sayesinde geliştirilmiştir. Bu sayede zemin mekaniği ilkelerine bağlı kalarak şev problemlerine pratik biçimde müdahale etmek mümkün olmuştur.

Yapılan şev stabilitesi hesaplama çalışmaları, şevlerin çevre şartlarına bağlı davranışları ve genellikle kaymalar ile elde edilmiş deneyimler vasıtasıyla oluşturulmuştur. Böylece zaman içerisinde meydana gelmesi muhtemel zemin özelliklerinin değişiminin daha iyi anlaşılması; laboratuvar ve arazi deneylerinin önemini ve gerekliliğini ortaya koymuştur.

Zeminlerin kaymaya karşı mukavemetinin değerlendirilmesi, zemin davranışını gözlemlemek için yeni ve etkili enstrümantasyon türlerinin geliştirilmesi, zemin davranışı ile şev stabilitesi arasındaki ilişkiyi kuran zemin mekaniği çalışmalarının daha iyi anlaşılması, gelişmiş analitik prosedürler içeren analizler ve bilgisayar destekli nümerik analizler sayesinde şev stabilitesi değerlendirmeleri daha olgun bir aşamaya gelmiştir (Duncan, 2014).

Yıllar içerisinde şev stabilitesi analiz yöntemlerindeki ilerlemelere rağmen stabilitenin değerlendirilmesi güncelliğini sürdüren bir konudur. Şevi meydana getiren jeolojik formasyonun doğru değerlendirilmesi ve doğru analiz yöntemlerini seçerek hesaplamalara dahil edilmesi halinde bile beklenmedik durumlarla karşılaşılabilir. Çünkü şevler zamana bağlı değişim gösteren çok fazla değişken içermektedir. Şevlerin tasarımını gerçekleştirirken risk faktörlerinin doğru şekilde değerlendirilmesi ve gerekli olması halinde önlemlerin alınması can ve mal kayıplarının önüne geçmek adına oldukça önemlidir.

Tezin Amacı

Gevşek zeminlerden oluşmuş şevlerin topuk veya üst bölgelerinde inşaat yapılması planlanmışsa; duraylılık analizlerinin titizlikle yapılması, inşaat aşamalarına bağlı stabilitesinin incelenmesi ve yorumlanması oldukça önemlidir. Bu çalışmada gevşek zeminlerden oluşmuş heyelan riski bulunan şevlerin tasarımı ve stabilitesinin sağlanması üzerine çalışılmıştır.

Bu amaçla öncelikle konuya dair gerçekleştirilmiş teorik çalışmalar tanıtılmıştır. Ardından vaka analizine konu olan, şev üzerinde önceden yapılan çalışmalar ve meydana gelen heyelanlar tanıtılmıştır. Önceki çalışmalar ve literatür bilgileri dahilinde şevin tasarımı ve projelendirilmesi sağlanmıştır.

Yapılan vaka analizinde incelenecek şevin Isparta Ofiyolit Karmaşığı içerikli malzemedan meydana gelmesi, yaklaşık 43 metre yükseklikten oluşması, 350 metre arkasında fay kırığının olması, sızıntı sularının var olması, şevin topuk bölgesinde yapılacak yapı temeli kazıları şevin stabilitesini zorlayıcı etmenler arasındadır. Bu parametreler hesaba dahil edildiğinde istenilen güvenlik sayılarına ulaşılamazsa gerekli önlemlerin alınması elzemdir.

Tezin Önemi

Günümüzde insanların yaşam standartlarının değişmesi, şehir stresinden uzak bir yaşam sürme isteği, nüfus artışı gibi durumlardan ötürü yerleşim merkezleri daha eğimli veya dağlık bölgelere taşınmaktadır. Bu durumla ilişkili olarak yamaçların topuk veya üst kısımlarında yapı inşaatları gerçekleştirilmektedir. Yamaç bölgelerine inşaat yaparken zemin etütlerinin titizlikle yapılması, zemin davranışının, şev geometrisinin doğru biçimde belirlenmesi, statik ve dinamik yükleme durumlarının, eğer varsa fay kırıklarının etkisinin ve yeraltı ve sızıntı sularının yapılan analizlere dahil edilmesi geoteknik mühendisliği adına oldukça önemlidir. Özellikle üstte sayılan faktörlerin stabilite analizinde doğru biçimde kullanılamaması, yapılan bilinçsiz kazı ve dolgular gibi sebeplerden ötürü ülkemizde şevlerin toptan göçmesi, kayması ve akması gibi riskli durumlar oluşmaktadır. Bu stabilite problemleriyle

birlikte oluşan can ve mal kayıplarındaki artışlar bu konunun hassasiyetini artırmış ve alınması gereken önlemlerin gerekliliğini ortaya koymuştur.

Tezin Kapsamı

Tez kapsamında incelenen vaka analizinde Isparta İli, Merkez İlęesi, Emre Mahallesi 171 Ada ve çevresinde belirli zamanlarda heyelan oluşmuş ve topuk kısmında yapı inşası yapılması planlanan bir şev üzerinde projelendirme yapılmıştır. Öncelikle bölgede řu zamana dek yapılan arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilmiş veriler ışığında zemin yapısı geoteknik açıdan ele alınmıştır. Ardından 2014 yılından bu yana saha üzerinde çeşitli firmalar ve üniversiteler tarafından yapılmış çalışmalar ve sonuçları üzerinde durulmuştur. Bu bölgede meydana gelmiş afetin etkileri incelenmiş ve ardından 43 metre yüksekliğindeki Isparta Ofiyolit Karmaşığından meydana gelmiş şevin yapı inşası için güvenli bir hale getirilmesi amacıyla tasarımı ve projelendirilmesi hususunda çözüm önerisi sunulmuştur. şevin topuk kısmının kazıklarla desteklenmesi, gevşek zeminin akmalarının kontrol altına alınması, yüzeysel drenaj sistemlerinin oluşturulması, bitkilendirme ve palyelendirme çalışmalarının gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Temin edilen güncel koordinatlar kullanılıp kritik kesit belirlenmiştir. Ardından bu kesitlere bağlı şevin güçlendirme yapılmasının ardından limit denge yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi ve sonlu farklar yöntemini baz alan yazılımlar ile stabilite tahkikleri yapılmış ve güvenliğ sayısı, gerilme/deformasyon ilişkilerine değinilmiştir. Stabilite analizlerinin bölgesel ve kütsel olarak incelenmesi sağlanmıştır. Ardından sonuçları yorumlanmıştır. Böylece ilgili şev üzerinden güçlendirmenin önemi ve gerekliliği ortaya konmuştur.

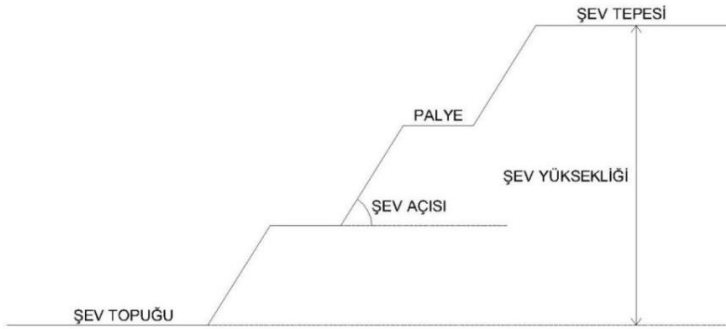
2. ŞEVLERİN STABİLİTESİ

2.1 Şev Terminolojisi ve Güvenlik Sayısı Kavramı

2.1.1 Şev Terminolojisi

Zeminlerin veya kayaların meydana getirmiş olduğu yatayla belirli bir açı yapan yeryüzü şekilleri geoteknik mühendisliğinde şev olarak isimlendirilir. Bu yüzeyler doğal olarak oluşabilirken beşeri olarak da meydana getirilebilir. Doğal haliyle bulunan şev yapılarına yamaç veya doğal şev ismi verilir. Yapay olarak oluşturulanlar ise yarma veya dolgu şevi olarak nitelendirilmektedir. Ulaşım hatları ve kanallar için yapılan yarmalar ve dolgular, toprak barajların eğimli kısımları yapay şevlere örnek verilebilir (Huvaj, 2017).

Şevlerin geometrileri incelendiğinde farklı kısımlardan meydana geldiği gözlenmektedir. Eğimli yüzeylerin yatay eksenle oluşturduğu açıya şev açısı ismi verilir. Bu açı şev yüzeylerinin şekline bağlı olarak bir veya birkaç tane olabilir. Şev açısının tanjant değerine şev oranı denir. Bahsedilen oran başka bir deyişle şevin dikliği olarak da ifade edilebilir. Şev yüzeyinin alt kısmında bulunan taban bölgesi şevin topuğu olarak nitelendirilir. Şev tepesi ise şevin üst kısmında yer alan eğimli yüzeyin düz yüzey ile birleşim bölgesi olarak tanımlanır. Şevin topuk bölgesi ve tepe bölgesi arasında kalan düşey mesafeye şev yüksekliği ismi verilir. Şevlerin güvenliğinin sağlanması amacı ile insan eliyle yapılan veya doğal olarak meydana gelen şev üzerinde bulunan yatay yüzeylere palye denir (Sönmez, 2020).



Şekil 2. 1 Genel Şev Geometrisi

Şevlerin kendi ağırlıkları ve dış yüklemeler altında meydana gelebilecek deformasyon ve göçme hareketlerine karşı proje süresi boyunca göstermiş oldukları yapısal performansa şev stabilitesi denir. Dış yüklere örnek olarak depremlerin oluşturduğu sismik etkiler, şev yakınlarındaki bina yükleri, iş makinelerinin ağırlıkları ve titreşim hareketleri, yeraltı suyunun oluşturmuş olduğu boşluk suyu basıncı ve patlayıcı maddelerin kullanımı örnek olarak verilebilir. Şevlerin belirgin biçimde harekete geçmesi neticesinde kayma hareketleri meydana gelmektedir. Bu durumda şevin stabilitesini yitirip duraysız/labıl duruma geldiği söylenebilir (Duncan, 2014). Şev sistemlerinin duraylılığını yitirmesine engel olan temel faktörlerin başında yerçekimi gelmektedir (Ersoy, 2020). Yeraltı suyu seviyesinin artışa geçmesi, yağışlar ve diğer doğa olayları neticesinde oluşan yüzey erozyonları, şeve bitişik bulunan suyun seviyesinin ani şekilde düşürülmesi ve sismik faaliyetler şevin stabilitesi üzerinde oldukça etkilidir.

Şevler kayma şekillerine göre sonsuz şevler ve sonlu şevler olarak iki grupta incelenmektedir. Sonsuz şevlerde kaymanın gerçekleştiği kırılma yüzeyinin sonsuz uzunlukta eğimli bir yüzeyi temsil ettiği düşünülmektedir. Sonlu şevlerde ise kaymanın gerçekleştiği kırılma yüzeyi belirli bir kesim olarak tanımlanabilir. Şev yüzeyinin eğimi şevin yüksekliğine bağlıdır (Arıoğlu ve Tokgöz, 2005).

Doğal zemin ortamındaki şev kütlesinin stabilitesini yitirmesi, zemin kütlesinin dengesinin bozulması durumu heyelan olarak isimlendirilir. Heyelan oluşma ihtimali olan yerleşim bölgelerinde gevşek zeminden meydana gelmiş şevlerin projelendirilmesi oldukça önemli bir husustur. Şevlerde meydana gelecek hareketlenmeler can ve mülkiyet kayıplarını meydana getiren felaketlere yol açabilir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2015). Heyelan oluşması, aşağıdaki durumlara sebep olabilmektedir:

- Zemin yapısının bozulmasından dolayı arazide daha önce oluşmayan su sızıntıları ortaya çıkabilir.
- Şevin topuk bölgesinde, şev yüzeyinde veya şevin gerisinde kabarmalar, çatlaklar ve yarıklar oluşabilir.
- Yapı temellerinin altında ve duvarlarda çatlaklar oluşabilir.

- Su ve doğalgaz boruları gibi altyapı tesislerinde kırılmalar oluşabilir.
- Elektrik ve telefon direklerinde, ağaçlarda eğilmeler ve kaymalar oluşabilir.

Heyelan hareketlerinin kayma derinliğine göre sınıflandırılması dört farklı kategori altında yapılabilir (Orhan, 2020). Buna göre:

<1,5 m derinliğe sahip şev hareketleri, Yüzey hareketleri

1,5 m – 5 m arasındaki şev hareketleri, Sığ heyelan

5 m – 20 m arasındaki şev hareketleri, Derin heyelan

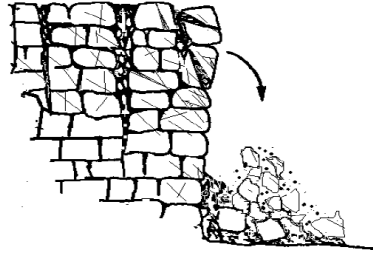
>20 m derinliğe sahip şev hareketleri, Çok derin heyelan olarak tanımlanır.

2.1.2 Şevlerde Meydana Gelen Hareket Türleri

Kütle hareketleri; jeolojik formasyon, zemin veya kayanın yapısal özellikleri, faylanma, tabakalanma, ayrışma ve yeraltı suyuyla ilgili olarak farklı geometrik şekillerde ve farklı hızlarda yayılım özelliği gösterebilir. Şevlerde meydana gelebilecek hareketler beş ana başlıkta sınıflandırılabilir. Bunlar; Düşme-Yuvarlanma, Devrilme, Kayma, Yanal Yayılma ve Akma şeklinde oluşmaktadır (Varnes, 1978).

2.1.2.1 Düşme-Yuvarlanma Hareketi

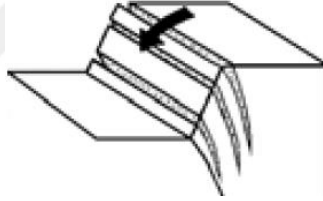
Düşme ve yuvarlanma olayı şev yüzeyinden dik, yüksek zeminlerin ve eklemlili ayrışmış kaya parçalarının kopması ve kayma mukavemetini yitiren kütlelerin serbest şekilde düşmesiyle açığa çıkmaktadır. Düşeydeki hareketler yataydaki hareketlere göre oldukça hızlıdır. Düşme hareketinin başlıca iki sebebi ani yağışlar ve dinamik faktörlerdir (USGS, 2008).



Şekil 2. 2 Düşme Hareketi (Arioğlu ve Tokgöz, 2005)

2.1.2.2 Devrilme Hareketi

Dik, eğimli ve süreksizlikler içeren kolonlu yapıya sahip kütlenin ağırlık merkezinin alt kısmında yer alan bir eksen çevresinde ileriye doğru dönmesi ile meydana gelmektedir. Oluşması muhtemel şev hareketleri zayıf yüzeyler tarafından kontrol edilmektedir. Bu zayıf yüzeylere fay bağlantı düzlemleri ve kayma mukavemeti parametrelerinin değişimi örnek verilebilir (Sezer, 2020).

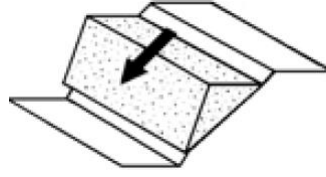


Şekil 2. 3. Devrilme Hareketi (Arioğlu ve Tokgöz, 2005)

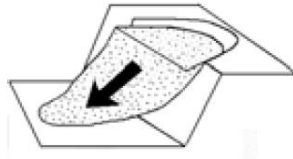
2.1.2.3 Kayma Hareketi

Kayma olayı şevi oluşturan zemin kütlelerinin belirli bir yenilme yüzeyi boyunca aşağı doğru hareketi biçiminde meydana gelmesidir. Dairesel, düzlemsel ve kama olmak üzere üç biçimde oluşabilmektedir. Düzlemsel kaymalar belirli bir süreksizlik, çatlak ve yüzey katmanlarına sahip yamaç molozu gibi kaya kütlelerinde gözlenmektedir. Hem kohezyonlu hem de kohezyonsuz zeminlerde açığa çıkabilmektedir. Dairesel kaymalar belirli bir yapıya sahip olmayan homojen zeminlerin oluşturduğu şevlerde, dolgu şevlerinde ve ayrılmış, çatlaklı kaya kütlelerinden oluşmuş şevlerde meydana gelmektedir. Kama tipi kaymalar

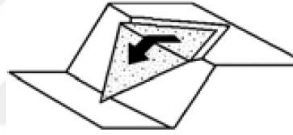
eklemlı (atlaklı) kayalarda kesişen iki süreksizlik yüzeyi var olması durumunda gözlenmektedir (Arıoğlu ve Tokgöz, 2005).



(a) Düzlemsel Kayma Hareketi (Arıoğlu ve Tokgöz, 2005)



(b) Dairesel Kayma Hareketi (Arıoğlu ve Tokgöz, 2005)

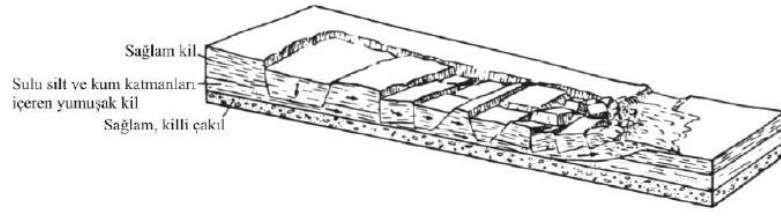


(c) Kama Tipi Kayma Hareketi (Arıoğlu ve Tokgöz, 2005)

şekil 2. 4 Kayma Hareketleri a) Düzlemsel Kayma b) Dairesel Kayma c) Kama Tipi Kayma (Arıoğlu ve Tokgöz, 2005)

2.1.2.4 Yanal Yayılma Hareketi

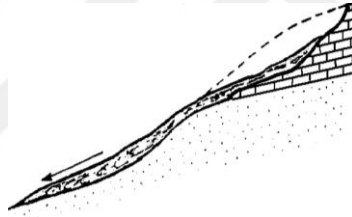
Yanal yayılma kumlu veya siltli suya doygun şev kütlesi içerisindeki zeminde suyun zayıflatıcı etkisinden ötürü geniş bloklara bölünmesi ve bu blokların topografya eğimine bağlı olarak harekete geçmesi şeklinde meydana gelmektedir (Varnes, 1978).



Şekil 2. 5 Yanal Yayılma Hareketi (Varnes, 1978)

2.1.2.5 Akma Hareketi

Akma hareketinde zemin viskoz bir akışkan gibi davranmaktadır. Bu hareket özellikle siltli zeminlerin kış mevsiminde donması ve ilkbahar mevsiminde çözünmelerin açığa çıkmasıyla birlikte zeminin doygunluğunun artması, sonuç olarak akışa geçmesi ile sonuçlanmaktadır (Orhan, 2014).



Şekil 2. 6 Akma Hareketi (Arioğlu ve Tokgöz, 2005)

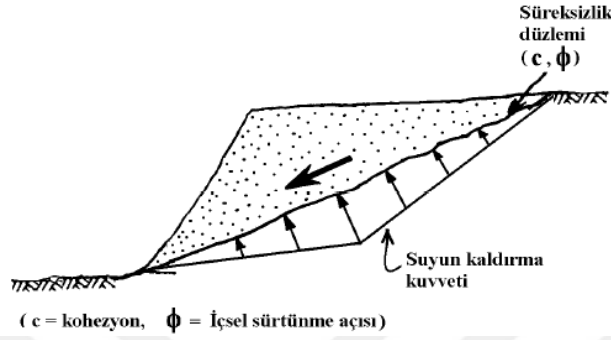
2.1.3 Şevlerde Kayma Modları

Şev stabilitesi analizlerinde incelemeye tabii tutulan zemin veya kaya kütlelerinin türüne, oluşturmuş olduğu formasyona ve geometriye bağlı olarak oluşması muhtemel kayma hareketlerinin ve kayma türünün doğru belirlenmesi ortaya konacak sonuçlar açısından oldukça önemlidir. Şev kaymaları üç başlık altında toplanmaktadır. Bunlar düzlemsel kayma, dairesel kaymalar ve birleşik şev kaymasıdır.

2.1.3.1 Düzlemsel Kayma

Yenilme yüzeyinin doğrusal bir yapıya sahip olduğu şev hareketleridir. Kalınlığı az bir tabakanın kayma mukavemeti kendisinden daha yüksek sağlam bir

tabaka üzerinde yer aldığı durumlarda meydana gelmektedir. Düzlemsel kaymalarda hareketler; süreksizlik düzlemi olarak da isimlendirilen kayma düzlemi boyunca meydana gelmektedir. Süreksizlik düzleminin açığa çıkmasında birbirinden farklı kayma mukavemetine sahip iki tabaka arasındaki dayanım haricinde yeraltı suyunun varlığı da etkin bir faktördür (Varnes, 1978).

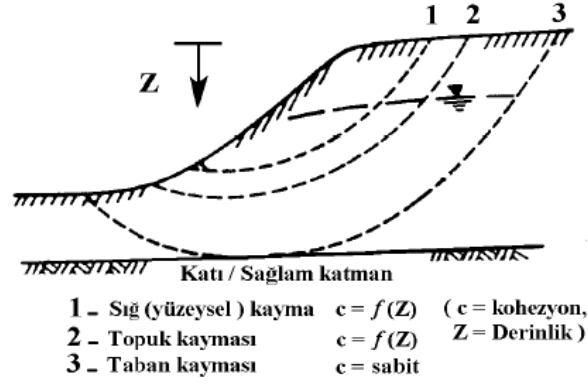


Şekil 2. 7 Düzlemsel Kayma Hareketi (Arıoğlu ve Tokgöz, 2005)

2.1.3.2 Dairesel Kaymalar

Yenilme düzleminin geometrik şeklinin dairesel olması durumudur. Kayma dairesinin olduğu bölgeye bağlı olarak yüzeysel şev kayması, topuk şev kayması ve taban şev kayması şeklinde açığa çıkmaktadır.

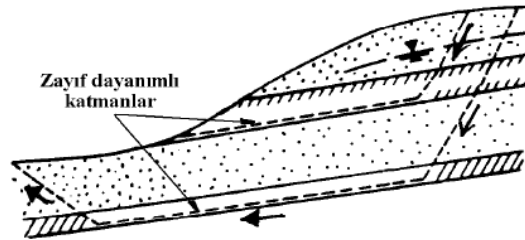
Dairesel kayma türünün belirlenmesinde zeminin yapısı belirleyici olmaktadır. Örneğin ince daneli zeminlerde zeminin kohezif yapısı şevin derinliğiyle orantılı şekilde artışa geçiyorsa bu şevlerde yüzeysel şev kayması veya topuk şev kaymasının oluşması muhtemeldir. Kohezyon parametresinin sabit olması halinde yenilmenin olduğu daire daha derinlerde meydana gelmektedir. Kayma dairesinin şevin alt kısmında yer alan sağlam yüzeyle sınırlanması halinde taban kaymaları açığa çıkar. (Orhan, 2020).



Şekil 2. 8 Dairesel Kayma Hareketi ve Türleri (Orhan, 2020)

2.1.3.3 Birleşik Şev Kayması

Düzlemsel ve dairesel kayma yüzeylerinin bir arada bulunduğu şev hareketleridir. Şev hareketleri iki değişkene bağlıdır. Bunlar zeminin kayma mukavemeti parametreleri (içsel sürtünme açısı ve kohezyon) ve katmanların sürekliliğidir. Aşırı konsolide olmuş fisürlü killerde veya ayrılmış kaya zeminlerde yenilme yüzeyi fisürlerin gelişimine ve ayrışma derinliğine bağlıdır. Sadece içsel sürtünme açısına sahip zeminlerde yeraltı suyu seviyesi stabilize üzerinde doğrudan etkilidir (Orhan, 2020)



Şekil 2. 9 Bileşik Şev Kayması (Orhan, 2020)

2.1.4 Şevlerde Güvenlik Sayısı Kavramı

Şev stabilitesi analizlerinde en önemli kavram hesaplamaları gerçekleştiren mühendisin yeterli ve doğru güvenlik sayısını tahkik etmesidir. Güvenlik sayısı zeminlerin oluşturduğu şevlerde dengenin korunabilmesi adına özellikle Mohr-Coulomb kayma mukavemeti parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen analizleri

kapsar. Buna göre (2.1)'de gösterildiği şekilde kaymaya karşı koyan dayanım, kaymaya (mobilize olmaya) sebep olan dayanım değerlerine bölünmektedir (Orhan, 2020).

$$GS = \frac{\text{Kayma Dayanımı}}{\text{Kayma Düzlemindeki Mobilize Dayanım}} = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (2.1)$$

τ_f = Zeminin kaymaya karşı gösterdiği direnç

τ_d = Potansiyel kayma yüzeyi boyunca gelişen zeminin kaymasına sebep olan direnç

2.1.5 Kısa ve Uzun Dönem Şev Stabilitesi Analizleri

Şevlerde stabilite analizleri kısa ve uzun dönem analizleri olmak üzere iki farklı zamana bağlı gerçekleştirilmektedir. Şevi meydana getiren zeminin içerisindeki suyun drenaj şansı bulamaması halinde kısa dönem şev stabilitesi, drenajın gerçekleşmesi halinde uzun dönem şev stabilitesi şartları düşünülmektedir. Drenajın gerçekleşmesi için belirli bir sürenin geçmesi, başka bir deyişle proje süresinin tamamlanması gerekmektedir (Orhan, 2020).

Kısa dönem şev stabilitesi analizlerinde drenajsız zeminin kayma mukavemeti parametreleri drenajsız kohezyon (c_u) ve içsel sürtünme açısı (ϕ_u) kullanılırken; uzun dönem şev stabilitesi analizlerinde efektif kohezyon (c') ve içsel sürtünme açısı (ϕ') kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak kısa dönem analizlerinde toplam gerilme, uzun dönem analizlerinde efektif gerilme durumlarına göre hesaplamalar gerçekleştirilmelidir (Arnoğlu ve Tokgöz, 2020).

Boşluk suyu basıncı (u) değerinin zamana bağlı değiştiği mühendislik yapılarına dolgu şevleri, aşırı konsolide olmuş killi şevler, hizmet süresi uzun şevler örnek olarak verilebilir. Bu tarz şev sistemlerinin efektif gerilme ilkelerini göz önünde bulundurularak projelendirilmesi gerekmektedir (Orhan, 2020).

Dayanım açısından güvenlik sayısının belirlenmesinde kısa ve uzun dönem stabilite hesaplamalarının belirlenmesinde zeminin zamana bağlı drenaj

özelliğinden faydalanılır. İçsel sürtünme açısı (φ°) ve kohezyon(c) olmak üzere kayma mukavemetinin iki temel parametresi vardır. Bu parametrelere ve drenaj koşullarına bağlı olarak kayma dayanımı toplam ve efektif gerilme cinsinden (2.2) ve (2.3) şeklinde, benzer biçimde potansiyel kayma yüzeyi üzerinde şev kaymaya zorlayan direnç (2.4) ve (2.5) biçiminde yazılabilir.

$$\tau_f = c_u + \sigma * \tan\varphi \quad (2.2)$$

$$\tau_f = c' + \sigma' * \tan\varphi' \quad (2.3)$$

c_u ve c' = Drenajsız ve drenajlı kohezyon

$\varphi_u = \varphi' =$ Drenajsız ve drenajlı içsel sürtünme açısı

σ ve σ' = Toplam ve efektif normal gerilme

$$\tau_d = c_d + \sigma * \tan\varphi_d \quad (2.4)$$

$$\tau_d = c'_d + \sigma' * \tan\varphi'_d \quad (2.5)$$

c_d ve c'_d = Potansiyel kayma yüzeyindeki drenejsız ve drenajlı kohezyon

φ_d ve φ'_d = Potansiyel kayma yüzeyindeki drenejsız ve drenajlı içsel sürtünme açısı

σ ve σ' = Potansiyel kayma yüzeyindeki toplam ve efektif normal gerilme

Yukarıdaki tanımlamalar ve bağıntılar göz önüne alınarak kısa dönem/drenajsız durum/toplam gerilme analizlerinde kullanılması gereken bağıntı (2.6) ile uzun dönem/drenajlı durum/efektif gerilme analizlerinde kullanılması gereken bağıntı (2.7) ile gösterilmiştir.

$$GS = \frac{\tau_f}{\tau_d} = \frac{c_u + \sigma * \tan\varphi}{c_d + \sigma * \tan\varphi_d} \quad (2.6)$$

$$GS = \frac{\tau_f}{\tau_d} = \frac{c' + \sigma' \tan \varphi'}{c'_d + \sigma' \tan \varphi'_d} \quad (2.7)$$

Kısa ve uzun dönem analizlerinde güvenlik sayısı kohezyon (F_c veya $F_{c'}$) ifadesi (2.8) ve içsel sürtünme açısı (F_φ veya $F_{\varphi'}$) ifadesi (2.9) şeklinde değerlendirilebilir. Bu bağıntılar göz önünde bulundurularak (2.8)'e göre (2.10) ve (2.9)'a göre (2.11) yazılabilmektedir.

$$F_c = \frac{c}{c_d} \text{ veya } F_{c'} = \frac{c'}{c'_d} \quad (2.8)$$

$$F_\varphi = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_d} \text{ veya } F_{\varphi'} = \frac{\tan \varphi'}{\tan \varphi'_d} \quad (2.9)$$

$$c_d = \frac{c}{F_c} \text{ veya } c'_d = \frac{c'}{F_{c'}} \quad (2.10)$$

$$\tan \varphi_d = \frac{\tan \varphi}{F_\varphi} \text{ veya } \tan \varphi'_d = \frac{\tan \varphi'}{F_{\varphi'}} \quad (2.11)$$

Yukarıdaki bağıntılar göz önüne alınarak $GS = F_c = F_\varphi$ ve $GS = F_{c'} = F_{\varphi'}$ olduğu varsayıldığında (2.12) ve (2.13) elde edilebilir.

$$\frac{c}{c_d} = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_d} \quad (2.12)$$

$$\frac{c'}{c'_d} = \frac{\tan \varphi'}{\tan \varphi'_d} \quad (2.13)$$

2.1.6 Şevlerin Stabilesini Değerlendirme Yöntemleri

Şev stabilesi hesaplamalarında güvenlik sayısı belirlenirken moment açısından (2.14) kuvvet açısından (2.15) ve şev yüksekliği açısından (2.16) değerlendirmeler yapılabilmektedir. Moment ve kuvvet açısından yapılan değerlendirmelerde kesirin pay kısmı kaymayı engelleyen bileşenleri, payda kısmı ise kaymaya sebep olan bileşenleri kapsamaktadır. Şev yüksekliği açısından

güvenlik sayısında kesirdeki pay kısmı şevin yüksekliğini payda kısmı ise kaymaya sebep olan kritik şev yüksekliğini ifade etmektedir (Orhan, 2020).

$$GS = \frac{\sum M_p}{\sum M_s} \quad (2.14)$$

$$GS = \frac{\sum F_p}{\sum F_s} \quad (2.15)$$

$$GS = \frac{H}{H_{cr}} \quad (2.16)$$

Güvenlik sayısının 1'e eşit olması, denge halini veya şevin bir heyelan tehdidi altında olduğunu ifade etmektedir. Granüler zeminlerde şevin güvenlik sayısı şevin yüksekliğinden bağımsızdır. Bundan dolayı kohezif zeminlerde F_c , ifadesine bağlı olarak güvenlik sayısı şev yüksekliğiyle ilişkilendirilip elde edilebilir. Bu durumda ($F_c = F_H$) olduğu göz önüne alınırsa yüksekliğe bağlı güvenlik sayısı olan F_H (2.17) ile elde edilebilir.

$$F_H = \frac{H_{cr}}{H} \quad (2.17)$$

Şevlerin stabilitesinin sağlanması adına $GS \geq 1.0$ koşulu aranmaktadır. Klasik şev stabilitesi analizlerinde güvenlik sayısı inşaat süresinin bir fonksiyonu iken, güncel şev stabilitesi analizlerinde güvenlik sayı inşaat süresi, can ve mal kaybı riskinin bir fonksiyonu olarak alınmaktadır. Kısa süreli projelerde önerilen güvenlik sayısı en az $GS = 1.3$ iken kalıcı şevlerde güvenlik sayısının $GS = 1.5$ değerinden büyük olması talep edilmektedir. Bu değer geoteknik mühendisliğince benimsenmiş değerlerdir (Eurocode-7, 2003). Şevlerin güvenlik sayıları vaka incelemesi yapılan bölgedeki doğal faktörler ve proje verileriyle doğrudan ilişkilidir. Doğal faktörler zeminin veya kaya kütlelerinin kayma mukavemeti parametrelerine bağlıdır. Bu parametreler zamana ve şartlara bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin zemin veya kaya kütleleri zamana bağlı olarak ayrışma/bozunma olayına maruz kalabilmektedir. Ayrışma derecesine göre mekanik büyüklükleri, kayma parametreleri, elastisite modülü değişiklik göstermektedir. Stabilitate üzerinde etkili olan bir diğer faktör ise şev kütleindeki zeminin veya kayanın yapısı veya anizotropik yapısıdır. Şev kütlelerinin homojen

olup olmaması analizlerde doğru sonuçların elde edilmesi adına önemli bir etkidir (Arıoğlu ve Tokgöz, 2005).

2.2 Şev Stabilitesi Hesaplama Yöntemleri

Şevlerin stabilitesi incelenirken birçok yöntemden faydalanılabilir. Bu yöntemlerin yaygın olanları Limit Denge Yöntemi ve Sonlu Elemanlar ve Sonlu Farklar Yöntemidir. Limit denge yönteminin başlıca yaklaşımı kayma dayanımının kırılma yüzeyi boyunca yeterli gelmesine dayanmaktadır. Bu kırılma yüzeyleri düzlemsel, dairesel veya bunların birleşiminden meydana gelebilir. Hesaplamalar gerçekleştirilirken şevde kaymaya imkan tanıyan bölümden bir parça alınır. Bu parçanın maruz kaldığı kuvvet değerlerinin bilinenlerinden veya tahmin edilenlerinden başlayarak sistemi stabil olabilmesi için gerekli olan sistemi dengede tutan kuvvetler hesaplanmaktadır. Daha sonra sistemi harekete geçirmeye çalışan kaydırıcı kuvvetlerin hesabı yapılır. Hesaplanan sistemi dengede tutan kuvvetler ve sistemi kaydırmaya çalışan kuvvetlerin birbirine oranlanması ile şevin güvenlik sayısı elde edilmektedir (Aryal, 2006). Sonlu elemanlar ve sonlu farklar yönteminde ise şevi oluşturan zeminler küçük parçalara ayrılıp oluşturulan her bir elemanın gerilme ve deformasyon durumları incelenmektedir. Buna göre şevin stabilitesi hakkında yorum yapılabilir.

2.2.1 Sonsuz Şevlerin Stabilitesi

Doğal şevler eğim sınırlarına göre sonsuz şevler ve sonlu şevler olarak sınıflandırılmaktadır. Sonsuz şevler kırılmanın gerçekleştiği düzlemsel eğimli yüzeyin sonsuz uzunluğa sahip olduğu kabulüne dayanmaktadır. Başka bir deyişle derinliği uzunluğuna göre çok daha küçük olan şevler sonsuz şevleri ifade etmektedir. Bu şev türünde kaymalar şev yüzeyine paralel bir yüzeyde oluşmaktadır. Sonsuz şev kaymaları tek tabakadan meydana gelmiş kütlelerde görülebildiği gibi tabakalı formasyonlarda görülmesi de söz konusudur. Tabakalanma halinde kaymanın gerçekleştiği üst tabakanın kayma mukavemeti parametrelerinin alt tabakanın değerlerinden daha düşük olduğu kabul edilebilir. Eğim doğrultusunda uzunluk değerleri sınırlı olan şevlere sonlu şevler ismi verilir.

Bu şev tiplerindeki kırılma hareketleri düzlemsel, dairesel veya bu ikisinin kombinasyonundan meydana gelebilir (Orhan, 2020).

2.2.2 Sonlu Şevlerin Stabilitesi

Eğim doğrultusunun kritik derinliğinin şev yüksekliğine yaklaştığı şevler sonlu şevler olarak isimlendirilir. Bu şevlerde sonsuz şevlerin aksine eğim doğrultusundaki şevin uzunluğu sınırlandırılmıştır. Homojen yapıya sahip sonlu bir şevin stabilite tahkikleri yapılırken olası kayma yüzeyinin incelenmesi için bir yaklaşımda bulunulması halinde genellikle eğrisel veya dairesel bir kaymanın oluşabileceği kabul edilir. Ayrıca sonlu şevlerde düzlemsel veya farklı yenilme tiplerinin kombinasyonundan meydana gelebilmektedir (Orhan, 2020).

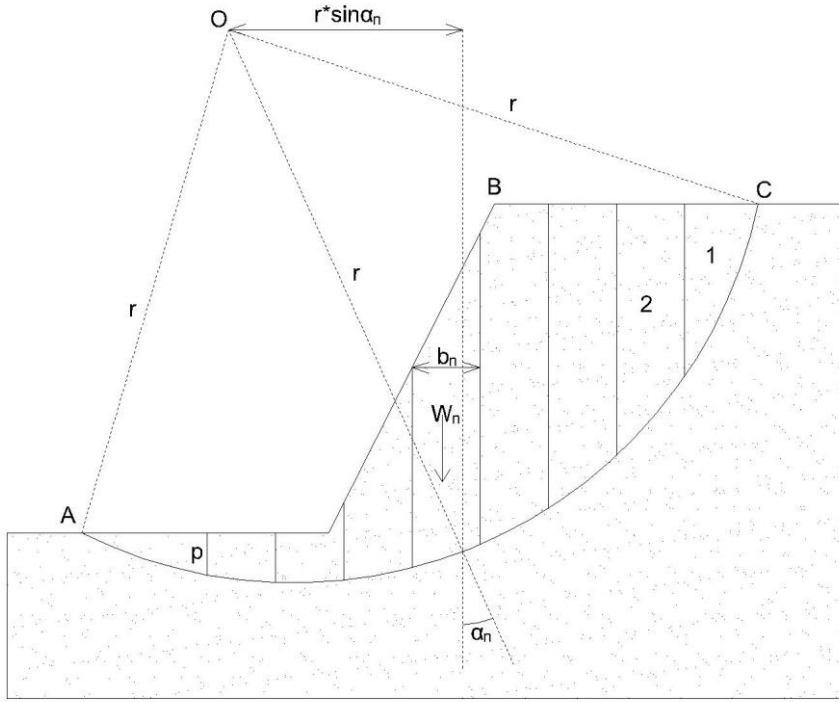
Sonlu şevlerle ilgili olarak Culmann (1875), olası kırılma yüzeyinin düzlemsel olarak meydana geleceğini ifade etmiştir. Bu yaklaşıma göre hesaplanan güvenlik sayısı dik eğimli şevlerde etkili sonuçlar vermektedir. İsveç Geoteknik Komisyonu 1920'li yılların ardından sonlu şevlerdeki kırılma yüzeylerinin dairesel silindirik olduğunu ifade etmiştir. İlerleyen zamanlardaki çalışmalarda geleneksel stabilite analizlerinde kırılma yüzeyinin bir dairesel bir yay biçiminde olduğu varsayımı yapılmıştır. Bu varsayımlar günümüzde halen daha kullanılmakta olup gerçeği yansıtan sonuçlar vermektedir.

2.3 Dilim Yöntemleri İle Şev Stabilitésinin Hesaplanması

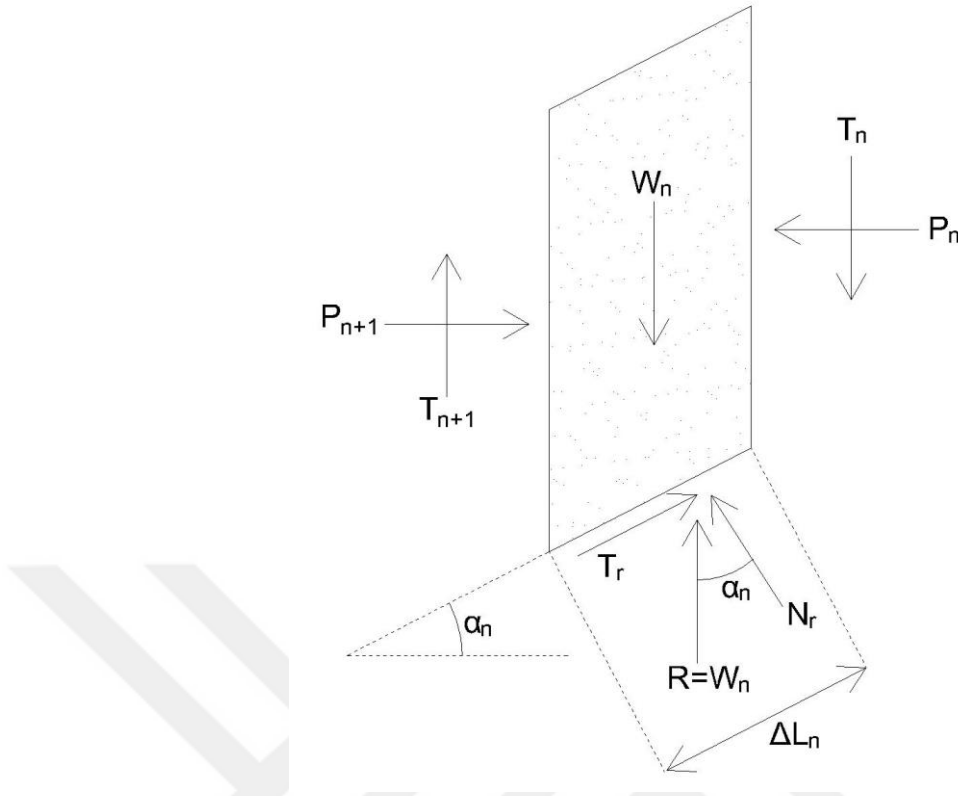
2.3.1 İsveç Dilim (Fellenius ve Petterson) Yöntemi

İsveç Dilim Yönteminde oluşması muhtemel kayma yüzeyi düşey dilimlere ayrılması esasına dayanmaktadır. Dilimler kayma dairesinin özelliğine bağlı olacak şekilde aynı veya farklı genişliklerde oluşturulabilir. Bu dilimlere etkileyen kuvvetler öncelikle dilimlerin kendi içerisinde hesaplanır. Ardından şev sistemi bir bütün olarak düşünülüp stabilite hakkında yorum yapılabilir (Duncan, 2014). Şekil 2.10'da gösterildiği üzere AC kayma yüzeyinin bir daire yayı biçiminde meydana geldiği düşünülmektedir. Birim uzunluğa sahip kesit üzerinde

kesitin birçok dilime bölündüğü gözlenmektedir. Bu dilimlerden herhangi bir “n” dilimi seçildiğinde etkiyen kuvvetler Şekil 2.11 biçiminde gözlenmektedir (Duncan, 2014). Sırasıyla; α_n şev açısını, W_n dilimin ağırlığını, b_n dilim genişliğini, N_r dilime etkiyen normal kuvvet, T_r dilimin kayma mukavemeti kuvveti, P_n ve P_{n+1} dilimin sağında ve solunda bulunan dilimlerden gelen normal kuvvetler, T_n ve T_{n+1} dilimin sağında ve solunda bulunan dilimlerden gelen kayma kuvvetleridir.



Şekil 2. 10 İsveç Dilim Yöntemi, AC Kırılma Yüzeyi (Duncan, 2014)



Şekil 2. 11 İsveç Dilim Yöntemi, Bir Dilime Etkiyen Kuvvetlerin Diyagramı (Duncan, 2014)

İsveç Dilim Yönteminde P_n, P_{n+1} ve T_n, T_{n+1} kuvvetlerinin birbirine eşit olduğu kabulü yapılmaktadır. Bu kuvvetler zıt yönlü eşit büyüklükte olması sebebiyle birbirinin etkisini ortadan kaldırmaktadır.

$$|P_n| = -|P_{n+1}| \quad (2.18)$$

$$|T_n| = -|T_{n+1}| \quad (2.19)$$

Şev stabilitesinin belirlenmesinde öncelikle dilimlere etkiyen normal kuvvetlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu kuvvet dilim ağırlığının kosinüs bileşeni olarak (2.20)'de tanımlanmıştır. Kaymaya karşı koyan gerilmeler kaydırmaya çalışan gerilmelere oranlandığında güvenlik sayısı elde edilmektedir. Dilime etkiyen kaymaya karşı koyan kuvvet potansiyel kayma yüzeyi üzerinde oluşan kayma gerilmelerinin $(\tau_d), L_n$ mesafesiyle çarpımı biçiminde elde edilmektedir. Bu ifadenin düzenlenmesiyle (2.21) elde edilmektedir.

$$N_r = W_n * \cos \alpha_n \quad (2.20)$$

$$T_r = \tau_d * L_n = \frac{\tau_f * L_n}{GS} = \frac{1}{GS} [c' + \sigma' \tan \varphi'] * L_n \quad (2.21)$$

Dilime etkiyen normal kuvvetlerin L_n mesafesine bölünmesiyle dilimlerde oluşacak normal gerilmeler (σ') (2.22) ve L_n mesafesi ise (2.23) şeklinde yazılmaktadır.

$$\sigma' = \frac{N_r}{L_n} = \frac{W_n * \cos \alpha_n}{L_n} \quad (2.22)$$

$$L_n = \frac{b_n}{\cos \alpha_n} \quad (2.23)$$

Potansiyel kaymanın gerçekleşeceği ABC kütlelerinin dengesinin sağlanması için kayma dairesinin merkezi olan O noktası göre kaymayı engelleyen ve kaydırmaya çalışan kuvvetlerin momentinden faydalanarak sistemin güvenlik sayısını verecek bağıntı elde edilmektedir (Duncan, 2014).

$$\sum_{n=1}^{n=p} W_n * r * \sin \alpha_n = \sum_{n=1}^{n=p} \frac{1}{GS} * \left[c' + \frac{W_n * \cos \alpha_n}{L_n} * \tan \varphi' \right] * L_n * r \quad (2.24)$$

$$GS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c' * L_n + W_n * \cos \alpha_n * \tan \varphi']}{\sum_{n=1}^{n=p} [W_n * \sin \alpha_n]} \quad (2.25)$$

Şev dilimlerinin yatayla yapmış oldukları açıyı tanımlayan α_n değerleri pozitif veya negatif olarak oluşabilmektedir. Şev eğiminden itibaren kayma dairesinin oluşturmuş olduğu çeyrek dairelik kısmında şev açısı pozitifdir. Şev açısının pozitif olduğu dilimler kayma eğilimindedir. Negatif olduğu dilimler ise kaymayı engelleyici özellik gösterirler (Orhan, 2020).

İsveç dilim yöntemi homojen şevlerde kullanıldığı gibi Şekil 2.12'de gösterildiği biçimde farklı formasyonlardan meydana gelmiş zemin koşullarında da kullanılabilir. Tabakalı şevlerde de (2.25) bağıntısından faydalanılarak stabilite hesaplamaları gerçekleştirilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus ilgili

Şevin suya doygun olması durumunda açığa çıkacak gözenek basınçlarının (u_n) sisteme etkisinin incelenmesi gerekmektedir. Gözenek basınçları dilim ağırlığı üzerinde bir kaldırma kuvveti açığa çıkaracaktır. Sonuç olarak şevin güvenlik sayısında azalmalar oluşacaktır. Bu durumda dilime etkiyen normal basınç değeri (2.26), Sistemin güvenlik sayısı ifadesi (2.27) şeklinde yazılmaktadır.

$$GS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c' * L_n + (W_n * \cos \alpha_n - u_n * L_n) * \tan \phi']}{\sum_{n=1}^{n=p} [W_n * \sin \alpha_n]} \quad (2.27)$$

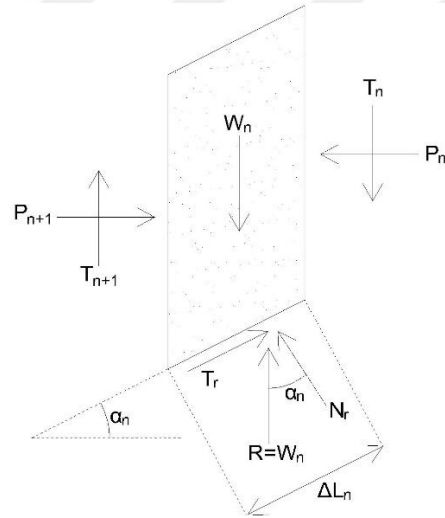
- Hesaplamalara dahil edilen dilim sayısı minimum 5 olmalıdır. Güvenlik sayısının ve kritik kayma dairesinin konumunun doğru belirlenebilmesi adına bu işlem önemlidir.
- Şevdeki gözenek basıncı oranının r_u yüksek olması ve kayma yarıçapının küçük olması halinde stabilite analizleri etkili sonuçlar vermemektedir. Bu

durumda Bishop (1955) yaklaşımına göre stabilite hesaplamalarının yapılması tavsiye edilmektedir.

- Aşırı konsolide ve fisürlü killerde " ϕ " parametresi yerine kalıntı (rezidüel) " ϕ_r " içsel sürtünme açısının kullanılması uygundur. Ayrıca kohezyon değeri $c' \approx 0$ olarak kabul edilebilir.
- İsveç dilim yönteminde hesaplanan güvenlik sayısı, dilimler yöntemini baz alan diğer yaklaşımlara göre daha düşüktür.

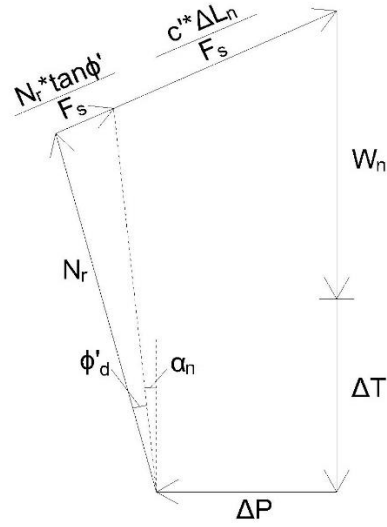
2.3.2 Basitleştirilmiş Bishop Dilim Yöntemi

Bishop'un (1955) limit denge yöntemini temel alan çalışmalarına göre İsveç dilim yönteminden farklı olarak dilimler arası kuvvetleri çalışmalarına dahil etmiştir. Her dilimin kenarlarına etkiyen kuvvetlerin sisteme etkisi bir seviyeye kadar incelenmiştir (Orhan, 2020).



Şekil 2. 13 (Bishop, 1955) Yöntemi, Bir Dilime Etkiyen Kuvvetlerin Diyagramı

Şevin herhangi bir dilimine etkiyen kuvvetler Şekil 2.13'te gösterilmektedir. Dilimin stabil olabilmesi için dilime etkiyen kuvvet vektörlerinin bileşkesinin sıfır olması gerekmektedir. Bu kuvvetlerin vektörel dengesi Şekil 2.14 ile gösterilebilir.



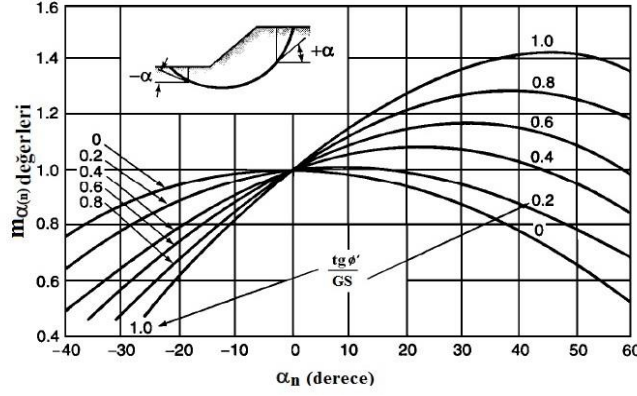
Şekil 2. 14 (Bishop, 1955) Yöntemi Kuvvetler Diyagramı

Şev dilimine sağ ve sol kısımdan etkiyen yatay kuvvetlerin farkı ΔP ve düşey kuvvetlerin farkı ΔT olmak üzere (2.28) biçiminde yazılabilir. Yenilme yüzeyinde meydana gelen kayma kuvvetleri (2.29) ile ifade edilir. Bu bağıntı zeminin ortalama mukavemet parametrelerinin kullanılmasıyla da elde edilebilmektedir.

$$P_n - P_{n+1} = \Delta P \text{ ve } T_n - T_{n+1} = \Delta T \quad (2.28)$$

$$T_r = c'_d * L_n + N_r * \tan \phi'_d = \frac{c'_d * L_n}{GS} + N_r * \left(\frac{\tan \phi'_d}{GS} \right) \quad (2.29)$$

Dilimin dengesinin sağlanması adına Şekil 2.14 ile gösterilen vektörel kuvvetlerin toplamı (2.30) şeklinde yazılıp düzenlenir ve dilime etkiyen normal kuvvet bağıntıda yalnız bırakılırsa (2.31) elde edilir. Bu denklemdeki payda bölümü $m_{\alpha(n)}$ şeklinde ifade edilir. Şekil 2.15'te $m_{\alpha(n)}$ değerinin $\alpha(n)$ ve $\frac{\tan \phi'_d}{GS}$ parametrelerine bağlı değişimleri verilmiştir (McCarthy, 1998).



Şekil 2. 15 $m_{\alpha(n)}$ değerinin $\alpha(n)$ ve $\frac{\tan \phi'}{GS}$ parametrelerine bağlı değişimleri (McCarthy, 1998)

$$W_n + \Delta T = N_r * \cos \alpha_n + \left(\frac{c' * L_n}{GS} \right) * \sin \alpha_n + N_r * \left(\frac{\tan \phi'}{GS} \right) * \sin \alpha_n$$

$$W_n + \Delta T = N_r * \left(\cos \alpha_n + \left(\frac{\tan \phi'}{GS} \right) * \sin \alpha_n \right) + \left(\frac{c' * L_n}{GS} \right) * \sin \alpha_n \quad (2.30)$$

$$N_r = \frac{W_n + \Delta T - \left(\frac{c' * L_n}{GS} \right) * \sin \alpha_n}{\left(\cos \alpha_n + \left(\frac{\tan \phi'}{GS} \right) * \sin \alpha_n \right)} \quad (2.31)$$

$$m_{\alpha(n)} = \cos \alpha_n + \left(\frac{\tan \phi'}{GS} \right) * \sin \alpha_n \quad (2.32)$$

ABC Kamasının stabilitesinin hesaplanabilmesi için kayma dairesinin merkez noktasına (O) göre moment alınması gerekir. Sistemin stabil olabilmesi için dilim ağırlığının kayma yüzeyine paralel olan bileşeniyle kayma dairesinin yarıçapı çarpılır ve kaymayı engelleyen kuvvetlerin kayma dairesinin yarıçapının çarpımına eşitlenir. Bu şekilde (2.33) elde edilir. Yenilme yüzeyinde oluşan kaymaya karşı koyan kuvvetler düzenlenirse (2.34) yazılır.

$$\sum_{n=1}^{n=p} W_n * r * \sin \alpha_n = \sum_{n=1}^{n=p} T_r * r \quad (2.33)$$

$$T_r = \frac{1}{GS} [c' + \sigma' \tan \phi'] * L_n = \frac{1}{GS} * [c' * L_n + N_r * \tan \phi'] \quad (2.34)$$

(2.33)'ün içerisinde (2.34)'ün yerleştirilmesi ve GS ifadesinin yalnız bırakılmasıyla sistemin güvenlik sayısı (2.35) yazılır. Kaymaya doğrudan etkisinin olmaması sebebiyle $\Delta T = 0$ kabulü yapılması durumunda (2.35) ifadesi (2.36) biçiminde verilebilir. Burada b_n dilim genişliğini ifade eder.

$$GS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c' * b_n + W_n * \tan \varphi' + \Delta T * \tan \varphi') * \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n * \sin \alpha_n} \quad (2.35)$$

$$GS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c' * b_n + W_n * \tan \varphi') * \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n * \sin \alpha_n} \quad (2.36)$$

Yapılan çalışmalarda güvenlik sayısının hesaplanmasında (2.33)'teki bağıntının sağlanması için değerler deneme yanılma yoluyla elde edilmektedir. Dilimler yöntemini içeren diğer analizlerdekine benzer biçimde farklı kayma daireleri analiz edilmeli ve içlerinden en düşük güvenlik sayısına sahip kayma dairesi belirlenmelidir (Arıoğlu ve Tokgöz, 2005).

Basitleştirilmiş Bishop Dilimler Yönteminde şevlerdeki yeraltı suyunun incelenmesi gerektiği durumlarda efektif kayma parametrelerinden c' ve φ' faydalanılması gerekmektedir. Başka bir deyişle parametreler üzerindeki gözenek basıncı etkileri hesaba dahil edilmelidir (Duncan, 2014). Şekil 2.16'da su basıncının açığa çıkması halinde şevin durumu gösterilmektedir. Buna bağlı olarak herhangi bir şev dilimi (n) içerisindeki ortalama su basıncının u_n değeri (2.37)'ye eşittir. Boşluk suyu basıncı etkisi şev diliminde kaldırma kuvveti meydana getirecektir. Bu etki şevin stabilitesini azaltıcı yönde olacağı için şev dilimi ağırlığından kaldırma kuvvetinin çıkarılması gerekmektedir. Sonuç olarak Basitleştirilmiş Bishop yöntemine göre su etkilerinin var olduğu şevlerde güvenlik sayısı eşitliği (2.38) biçiminde yazılmaktadır.

Seçilen herhangi bir dilimin birim hacim ağırlığı γ , dilimin genişliği b_n ve dilimin ortalama yüksekliği z_n olmak üzere şev diliminin ağırlığı W_n (2.40) biçiminde yazılabilir. Şev dilimine etkiyen boşluk suyu basıncı u_n (2.41) şeklinde yazılmaktadır. Burada h_n dilime etkiyen suyun piyozometrik yüksekliği ve γ_{su} suyun birim hacim ağırlığıdır. (2.40) ve (2.41)'den faydalanılarak $r_{u(n)}$ boyutsuz sayısı (2.42) ile elde edilmektedir.

$$W_n = \gamma * b_n * z_n \quad (2.40)$$

$$u_n = h_n * \gamma_{su} \quad (2.41)$$

$$r_{u(n)} = \frac{u_n}{\gamma * z_n} = \frac{h_n * \gamma_{su}}{\gamma * z_n} \quad (2.42)$$

W_n ve $r_{u(n)}$ parametrelerinin Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi ile verilen (2.39)'da yerine konması ve ifadenin düzenlenmesiyle Bishop ve Morgenstern tarafından elde edilen güvenlik sayısı (2.43) şeklinde bulunmaktadır.

$$GS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} \left[\left(\frac{c'}{\gamma * H} \right) * \left(\frac{b_n}{H} \right) + \left(\frac{b_n}{H} \right) * \left(\frac{z_n}{H} \right) * (1 - r_{u(n)}) * \tan \varphi' \right] * \left(\frac{1}{m_{\alpha(n)}} \right)}{\sum_{n=1}^{n=p} \left(\frac{b_n}{H} \right) * \left(\frac{z_n}{H} \right) * \sin \alpha_n} \quad (2.43)$$

Kararlı yeraltı suyu akışının var olması halinde ortalama bir akış $r_{u(n)}$ değeri kullanılabilir. Bu sabit ve boyutsuz sayı $r_u = \frac{u}{\sigma}$ olarak tanımlanmıştır. Hesaplamalarda $r_{u(n)}$ değeri 0,50 değerine kadar değişim göstermektedir. (2.43)'ün içerisinde $r_{u(n)}$ ifadesinin düzenlenmesiyle (2.44) elde edilir. Bishop ve Morgenstern bu bağıntıdan faydalanarak m' ve n' olarak tanımlanan stabilite faktörlerini tanımlamışlardır. Stabilite faktörlerine dayalı bu yöntemin özellikle drenajlı durum, başka bir deyişle uzun süre şev stabilitesi analizlerinde kullanımı uygundur (McCarthy, 1998).

$$GS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} \left[\left(\frac{c'}{\gamma * H} \right) * \left(\frac{b_n}{H} \right) + \left(\frac{b_n}{H} \right) * \left(\frac{z_n}{H} \right) * (1 - r_u) * \tan \varphi' \right] * \left(\frac{1}{m_{\alpha(n)}} \right)}{\sum_{n=1}^{n=p} \left(\frac{b_n}{H} \right) * \left(\frac{z_n}{H} \right) * \sin \alpha_n} \quad (2.44)$$

Stabilite faktörlerine bağlı güvenlik sayısı (2.45)'de gösterilmiştir. Verilen stabilite faktörlerinin analizlerde kullanılmasında Çizelge 2.1'den faydalanılmaktadır. Bu çizelgede faktörler $\frac{c'}{\gamma \cdot H}$; n_d ; φ' ve β değerlerine bağlı oluşturulmuştur. Derinlik faktörü (n_d) şev yüzeyi ile sağlam tabaka arasında kalan yüksekliğin şevin toplam yüksekliğine oranı şeklinde tanımlanmaktadır (Bishop and Morgenstern, 1960).

$$GS = m' - n' \cdot r_u \quad (2.45)$$

Güvenlik sayısının belirlenmesinde öncelikle analize dahil edilecek kayma mukavemeti parametreleri başta olmak üzere değerlerin ve şevin geometrisinin belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre φ' ; β ; $\frac{c'}{\gamma \cdot H}$ ifadelerinin doğru belirlenmesi oldukça önemlidir. Yeraltı suyu akışının meydana geldiği şevlerde ortalama akışı temsil eden boşluk suyu basıncı oranı $r_{u(n)}$ (2.42)'den faydalanarak bulunmaktadır (Arioğlu ve Tokgöz, 2005). Çizelge 2.1'den faydalanarak stabilite faktörleri olan m' ve n' değerleri D=1.0, 1.25 ve 1.5 için belirlenir. Son olarak (2.45)'de m' , n' ve r_u değerlerinin yerleştirilmesiyle güvenlik sayısı elde edilmektedir. Denenen farklı kayma dairelerinin içinden en düşük güvenlik sayısına sahip kayma dairesi kritik kayma dairesini tanımlamaktadır.

Çizelge 2. 1 Stabilite Faktörleri (m' ve n') (Bishop and Morgenstern, 1960)

(a) $\frac{c'}{\gamma \cdot H} = 0$; Tüm D değerleri için

ŞEV	0.5 : 1		1 : 1		2 : 1		3 : 1		4 : 1		5 : 1	
" φ "	m	n	m	n	m	n	m	n	m	n	m	n
20°	0.182	0.910	0.364	0.728	0.728	0.910	1.092	1.213	1.456	1.547	1.820	1.892
25°	0.232	1.166	0.466	0.933	0.933	1.166	1.399	1.554	1.865	1.982	2.332	2.424
30°	0.289	1.443	0.577	1.115	1.115	1.443	1.732	1.924	2.309	2.454	2.887	3.001
35°	0.350	1.751	0.700	1.400	1.400	1.751	2.101	2.334	2.801	2.977	3.501	3.639
40°	0.420	2.098	0.839	1.678	1.678	2.098	2.517	2.797	3.356	3.566	4.196	4.362

Çizelge 2.1 Stabilite Faktörleri (m' ve n') (Bishop and Morgenstern, 1960) (devam)

(b) $\frac{c'}{\gamma \cdot H} = 0.025; D = 1.00$

ŞEV	0.5 : 1		1 : 1		2 : 1		3 : 1		4 : 1		5 : 1	
" φ "	m	n	m	n	m	n	m	n	m	n	m	n
20°	0.523	0.733	0.707	0.764	1.124	1.022	1.542	1.347	1.962	1.698	2.380	2.050
25°	0.586	0.740	0.839	0.974	1.356	1.282	1.875	1.696	2.400	2.141	2.921	2.596
30°	0.667	0.875	0.983	1.202	1.606	1.567	2.235	2.078	2.873	2.622	3.508	3.191
35°	0.755	1.010	1.142	1.454	1.880	1.885	2.635	2.505	3.396	3.160	4.156	3.849
40°	0.857	1.183	1.318	1.731	2.190	2.247	3.090	2.993	3.984	3.778	4.885	4.592

(c) $\frac{c'}{\gamma \cdot H} = 0.025; D = 1.25$

ŞEV	0.5 : 1		1 : 1		2 : 1		3 : 1		4 : 1		5 : 1	
" φ "	m	n	m	n	m	n	m	n	m	n	m	n
20°	0.996	0.943	1.076	1.036	1.309	1.216	1.618	1.478	1.961	1.775	2.334	2.090
25°	1.224	1.198	1.328	1.321	1.619	1.547	2.007	1.891	2.437	2.269	2.897	2.669
30°	1.472	1.483	1.602	1.631	1.956	1.915	2.431	2.342	2.953	2.806	3.511	3.229
35°	1.737	1.773	1.905	1.974	2.331	2.321	2.901	2.841	3.524	3.400	4.191	3.998
40°	2.045	2.118	2.242	2.362	2.753	2.775	3.431	3.339	4.164	4.064	4.958	4.784

(d) $\frac{c'}{\gamma \cdot H} = 0.050; D = 1.00$

ŞEV	0.5 : 1		1 : 1		2 : 1		3 : 1		4 : 1		5 : 1	
" φ "	m	n	m	n	m	n	m	n	m	n	m	n
20°	0.668	0.783	0.912	0.818	1.380	1.071	1.840	1.387	2.333	1.776	2.783	2.091
25°	0.797	1.000	1.069	1.042	1.624	1.338	2.193	1.757	2.778	2.211	3.336	2.651
30°	0.908	1.217	1.222	1.247	1.888	1.630	2.574	2.157	3.261	2.693	3.934	3.259
35°	1.032	1.417	1.379	1.469	2.178	1.958	2.990	2.592	3.803	3.253	4.597	3.927
40°	1.148	1.617	1.559	1.755	2.505	2.332	3.451	3.071	4.425	3.926	5.344	4.668

Çizelge 2.1 Stabilité Faktörleri (m' ve n') (Bishop and Morgenstern, 1960) (devam)

(e) $\frac{c'}{\gamma \cdot H} = 0.050; D = 1.25$

ŞEV	0.5 : 1		1 : 1		2 : 1		3 : 1		4 : 1		5 : 1	
" φ "	m	n	m	n	m	n	m	n	m	n	m	n
20°	1.172	0.988	1.253	1.084	1.509	1.266	1.834	1.493	2.230	1.799	2.643	2.107
25°	1.405	1.242	1.509	1.363	1.822	1.595	2.222	1.897	2.705	2.287	3.211	2.690
30°	1.656	1.518	1.783	1.669	2.161	1.950	2.645	2.342	3.221	2.819	3.829	3.324
35°	1.935	1.830	2.087	2.007	2.535	2.344	3.114	2.839	3.795	3.413	4.511	4.025
40°	2.245	2.174	2.429	2.390	2.953	2.791	3.642	3.400	4.442	4.090	5.273	4.806

(f) $\frac{c'}{\gamma \cdot H} = 0.050; D = 1.50$

ŞEV	0.5 : 1		1 : 1		2 : 1		3 : 1		4 : 1		5 : 1	
" φ "	m	n	m	n	m	n	m	n	m	n	m	n
20°	1.491	1.283	1.561	1.343	1.752	1.501	2.011	1.705	2.337	1.993	2.690	2.280
25°	1.826	1.637	1.910	1.709	2.143	1.903	2.467	2.179	2.867	2.534	3.302	2.902
30°	2.187	2.015	2.287	2.104	2.568	2.342	2.964	2.696	3.443	3.120	3.967	3.577
35°	2.587	2.436	2.704	2.541	3.041	2.832	3.515	3.269	4.082	3.771	4.707	4.325
40°	3.040	2.915	3.175	3.036	3.574	3.389	4.136	3.915	4.803	4.507	5.543	5.171

(Bishop and Morgenstern, 1960) yönteminde kayma dairesinin olduğu bölgede kohezyonun $c' = 0$ olması durumunda m' ve n' faktörleri (2.46) şeklinde yazılabilir. Bu ifadelerin (2.45)'de yerine yazılmasıyla güvenlik sayısı (2.47) ile elde edilebilmektedir.

$$m' = \frac{\tan \varphi'}{\tan \beta} \text{ ve } n' = m * \sec^2 \beta \text{ olmak üzere } n' = \left(\frac{\tan \varphi'}{\tan \beta} \right) * \sec^2 \beta \text{ ve } n' = \left(\frac{\tan \varphi'}{\tan \beta} \right) * \left(\frac{1}{\cos \beta} \right)^2 \quad (2.46)$$

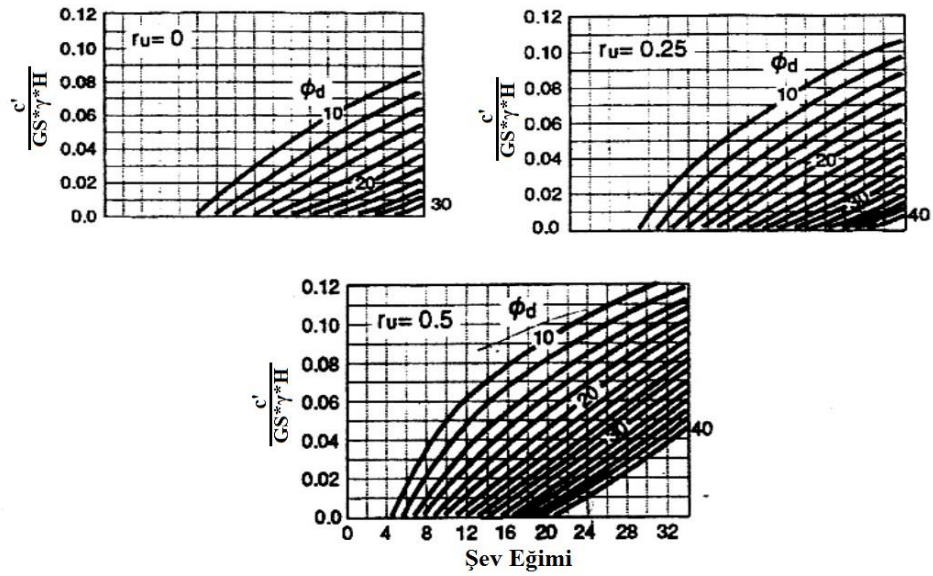
$$GS = m' - n' * r_u \text{ veya } GS = \left(\frac{\tan \varphi'}{\tan \beta} \right) * \left[1 - r_u * \left(\frac{1}{\cos \beta} \right)^2 \right] \quad (2.47)$$

2.3.4 Spencer Yöntemi

Spencer 1967'de Basitleştirilmiş Bishop ve Bishop-Morgenstern yöntemleri üzerinde çalışarak dilimler yöntemini geliştirmiştir. Basitleştirilmiş Bishop

yöntemi moment dengesini kullanırken Spencer Yöntemi kuvvet dengesini baz almaktadır. Şevin herhangi bir dilimine sağdan ve soldan etkiyen düşey kuvvetler P_n, P_{n+1} ve yatay kuvvetler T_n, T_{n+1} başta olmak üzere stabilitenin sağlanmasında önemli role sahiptir. Ayrıca Bishop-Morgenstern yöntemlerinde olduğu gibi stabilite faktörü (m) ifadesinden faydalanarak abaklar geliştirmiş ve şev stabilitesi hesaplamalarını gerçekleştirmiştir (Das ve McCarthy, 1998).

Spencer Yönteminin abakları Şekil 2.17 ile verilmiştir. Bu abaklarda stabilite faktörü (m) ifadesi, şev açısı (β) ve kayma dairesinde oluşan içsel sürtünme açısı (ϕ'_d) parametrelerine bağlı biçimde belirlenebilmektedir. Stabilite faktörü ifadesi Spencer tarafından (2.48) şeklinde verilmiştir. Şev stabilitesinin hesaplanmasında bu yöntemin sağlam tabakanın şevin tabanının oldukça altında kaldığı durumlarda kullanılması uygundur (Spencer, 1967).



Şekil 2. 17 Yöntemi Şev Stabilitesi Abakları (Spencer, 1967)

$$m = \frac{c'}{GS \cdot \gamma \cdot H} \quad (2.48)$$

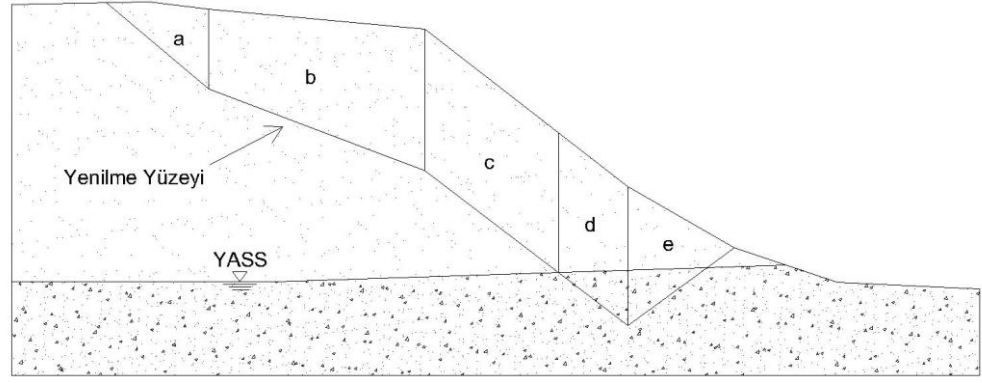
Spencer Yöntemine göre güvenlik sayısının belirlenmesinde sırasıyla arazi ve laboratuvar ortamında elde edilecek zemin parametreleri olan c', ϕ', γ ve şev geometrisine bağlı olarak β ve H değerleri belirlenmelidir. Şevdeki su akışına bağlı olarak gözenek basıncı oranının (r_u) belirlenmesi gerekmektedir. Bu

parametre Bishop yönteminde olduğu gibi $r_{u(n)} = r_u = \frac{u_n}{\gamma * z_n} = \frac{h_n * \gamma_{su}}{\gamma * z_n}$ şeklinde hesaplanır. Güvenlik sayısını tahmini olarak belirlenir. Ardından stabilite faktörü $m = \frac{c'}{GS_{(Tahmin)} * \gamma * H}$ şeklinde hesaplanmaktadır ve β ve m parametrelerine bağlı olarak r_u değeri de göz önünde bulundurularak ilgili Spencer abağından (φ'_d) belirlenir. Sistemin tahmin edilen güvenlik sayısı, $GS = \frac{\tan \varphi'}{\tan \varphi'_d}$ ile hesaplanmaktadır. Tahmin edilen güvenlik sayısı ve bu işlemde elde edilen güvenlik sayısı kıyaslanır. Bu güvenlik sayıları eşitleninceye dek bu işlemler tekrarlanmalıdır. Bu deneme yanılma işlemleri neticesinde şevin güvenlik sayısı belirlenir (Arioğlu ve Tokgöz, 2005).

2.3.5 Janbu Yöntemi

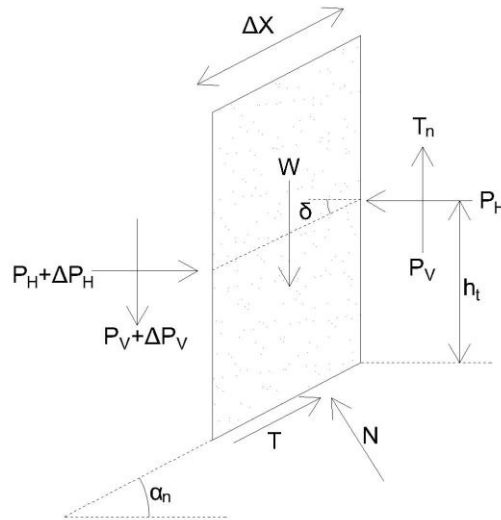
Tasarım ve hesaplama yöntemi olarak Basitleştirilmiş Bishop (1955) Yöntemiyle benzerlikler gösteren Janbu yöntemi (1973) hem dairesel hem de dairesel olmayan kayma dairelerinin hesaplanmasında kullanılabilir (Coduto, 2006).

Şevlerde yapısal süreksizliklerin var olduğu veya oldukça yumuşak kilden meydana gelmiş şev tabakalarından oluşmuş düşük kayma mukavemetine sahip şevlerde yenilme yüzeyleri düzlemsel olarak meydana gelmesi muhtemeldir. Bu tarz şevlerde Janbu yönteminden faydalanmak etkili sonuçlar vermektedir. Ayrıca bu yöntem şevin tepe kısmında dairesel başlayıp ilerleyen derinliklerde düzlemsel devam eden kayma yüzeylerine sahip şevlerin analizlerinde de kullanılmaktadır (Arioğlu ve Tokgöz, 2005).



Şekil 2. 18 Farklı Katmanlar Olması Halinde (Janbu, 1973) Yöntemi Kırılma Yüzeyi

Janbu (1973) yöntemine göre herhangi bir ΔX genişliğine sahip şev dilimine etkiyen kuvvetler Şekil 2.19 ile gösterilmektedir. Hesaplamalarda kullanılan yatay kuvvetler $P_H + \Delta P_H$ ve P_H olarak verilmiştir. Dilim yüzeyindeki etki noktaları h_t ve δ olarak belirlenmiştir. Bu etki noktalarının yerinin doğru tanımlanması için itki kuvvetlerinin konumlarının belirlenmesi gerekmektedir. İtki kuvvetinin konumu için uygun bir kabul yapıldığında sistemde kuvvet ve moment dengesinin var olduğu düşünülmektedir. Başka bir deyişle $\sum X = 0$, $\sum Y = 0$ ve $\sum M = 0$ eşitliklerinden faydalanıp statik analiz esaslarına bağlı kalarak analizler gerçekleştirilmektedir (Orhan, 2020).



Şekil 2. 19 (Janbu, 1973) Yönteminde Bir Dilime Etkiyen Kuvvetler

Düsey kuvvetlerin dengesi (2.49) ile verilmiştir.

$$N = (W + \Delta P_V) * \left(\frac{1}{\cos\alpha}\right) - T * \sin\alpha \quad (2.49)$$

Yatay kuvvetlerin dengesi (2.50) ile verilmiştir.

$$\Delta P_H = (W + \Delta P_V) * \tan\alpha - T * \left(\frac{1}{\cos\alpha}\right) \quad (2.50)$$

Yataydaki ve düşeydeki kuvvetlerin dilim orta noktasına göre momenti alınırsa (2.51) elde edilir.

$$P_V * \Delta x = -P_H * \Delta x * \tan\delta + h_t * \Delta P_H \quad \text{veya} \quad P_V = -P_H * \tan\delta + h_t * (\Delta P_H / \Delta x) \quad (2.51)$$

$\sum \Delta P_H = 0$ olduğu için (2.50)'nin sıfıra eşitlenmesiyle (2.52) elde edilmektedir.

$$(W + \Delta P_V) * \tan\alpha - T * \left(\frac{1}{\cos\alpha}\right) = 0 \quad (2.52)$$

Mohr Coulomb kırılma ilkesine göre kayma kuvveti (T) (2.53) şeklinde yazılabilmektedir. Bu bağıntıda güvenlik sayısının yalnız bırakılmasıyla (2.54) elde edilir.

$$T = \frac{c * \Delta x * \sec\alpha + N * \tan\phi}{GS} \quad (2.53)$$

$$GS = \frac{c * \Delta x * \sec\alpha + N * \tan\phi}{T} \quad (2.54)$$

(2.54)'ün içerisinde (2.52)'deki (T) ifadesinin yazılmasıyla (2.55) elde edilir.

$$GS = \frac{(c * \Delta x * \sec\alpha + N * \tan\phi) * \sec\alpha}{(W + \Delta P_V) * \tan\alpha} \quad (2.55)$$

Son olarak (2.55) bağıntısının içerisinde (2.49)'daki (N) ifadesinin yazılmasıyla (2.56) bulunmaktadır. Bu bağıntı Janbu yönteminin temelini oluşturmaktadır (Huang, 1983).

$$GS = \frac{\sum(c*\Delta x*sec\alpha) + [(W + \Delta P_V)*sec\alpha - T*tan\alpha]*tan\phi}{\sum(W + \Delta P_V)*tan\alpha} \quad (2.56)$$

Janbu yönteminin uygulanmasında şev dilimlerinde oluşan düşey kuvvetlerin sıfıra eşit olduğu kabulü yapılmaktadır ($\Delta P_V = 0$). Ardından güvenlik sayısı (2.56) bağıntısından faydalanarak deneme yanılma yoluyla hesaplanmaktadır. Her dilim için kaymaya karşı koyan kuvvet (T) (2.50) bağıntısı ile belirlenmelidir. Bulunan T kuvvetleri güvenlik sayısı ifadesinde yazılır. Bu şekilde tahmini bir güvenlik sayısı elde edilir. Yapılan deneme yanılma işlemine tahmin edilen güvenlik sayısı ile bulunan yeni güvenlik sayıları birbirine eşit olana dek devam edilmelidir (Huang, 1983).

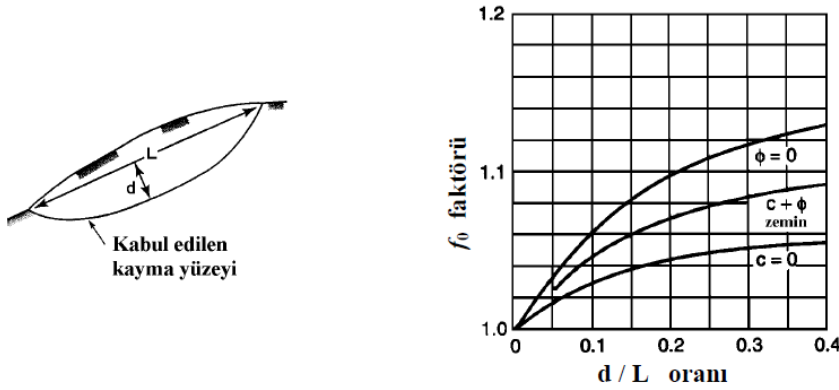
Janbu yöntemi STABL2 adıyla bir yazılım olarak geliştirilmiştir. Bu yazılım vasıtasıyla dairesel ve dairesel olmayan kayma yüzeyleri, blok kaymalar analiz edilebilmektedir. Ayrıca karmaşık kayma yüzeyinin var olduğu şevlerde de etkili sonuçlar vermektedir (Huang, 1983).

Janbu yönteminin pratikte uygulanması (2.57) ile yapılmaktadır. Denklemden yer alan m_α ifadesi Basitleştirilmiş Bishop yönteminde olduğu gibi hesaplanabilmektedir. İfadedeki c' zeminin drenajlı (efektif) kohezyon değerini, ϕ' ifadesi efektif içsel sürtünme açısını, b dilim genişliğini, W şev diliminin ağırlığını ve u boşluk basıncını belirtmektedir.

Düzeltilme faktörü f_o ile gösterilmektedir. Bu faktör kırılmanın gerçekleştiği yüzeyin geometrisine ve zemin türüne bağlıdır. Zemin türünün granüler, kohezyonlu veya karışık olmasına bağlı olarak faktör değerinde değişiklikler meydana gelmektedir. f_o ifadesi d/L'nin bir fonksiyonu olacak biçimde Şekil 2.20'de verilen grafikten faydalanarak bulunabilir (McCarthy, 1998).

$$GS = \frac{f_o * \sum[(c' * b + W - u * b) * tan\phi'] * \left[\frac{1}{cos\alpha * m_\alpha} \right]}{\sum W * tan\alpha} \quad (2.57)$$

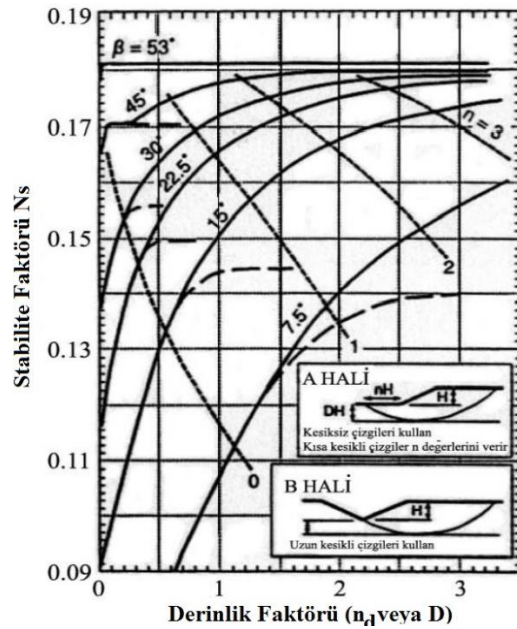
$$m_{\alpha} = \cos\alpha + \frac{\tan\phi' \cdot \sin\alpha}{GS} \quad (2.58)$$



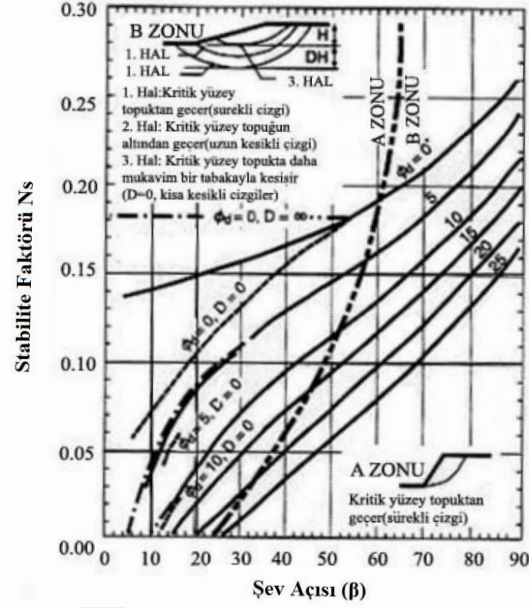
Şekil 2. 20 (Janbu, 1973) Yönteminde Düzeltme Faktörü

2.3.6 Taylor Şev Stabilesi Analiz Grafikleri

Taylor (1948), kil muhtevası yüksek zeminlerde ($\phi = 0$) Şekil 2.21'den ve genel zeminlerde ise ($\phi, c > 0$) Şekil 2.22'de gösterilen grafikten faydalanarak stabilite analizleri yapmayı önermiştir (Abramson et al., 1996).



Şekil 2. 21 (Taylor, 1948) Yöntemi Stabillite Faktörü ($\phi = 0$ için)



Şekil 2. 22 (Taylor, 1948) Stabilite Faktörü ($c; \phi$ zeminler için)

Verilen grafikler incelendiğinde aşağıdaki şev tasarımı kurallarından faydalanarak analizler gerçekleştirilebilir:

İçsel sürtünme açısı $\phi = 0^\circ$ kabulü yapılan kohezif zeminlerde şev açısının 53° değerinden düşük olması halinde ($\beta \leq 53^\circ$) şevin stabilite faktörü (2.59) ile belirlenmektedir. Bu bağıntıdaki şev açısı (β) ifadesi Derinlik faktörü (n_d)'nin bir fonksiyonudur.

$$N_s = \frac{c_d}{\gamma * H} \quad (2.59)$$

Bağıntıdaki γ ifadesi şev zemininin birim hacim ağırlığı, c_d kırılma yüzeyinde oluşması muhtemel, sistemi harekete geçirebilecek (mobilize edebilecek) kohezyon değeridir. Şev yüksekliği H olmak üzere tepe noktası ile şev yüzeyinin altında bulunan sağlam tabaka arasındaki mesafe $n_d * H$ biçiminde hesaplanır. $\beta \leq 53^\circ$ ve $\phi = 0^\circ$ koşullarının bir arada bulunduğu şevlerde kritik kayma dairesi şev tabanından geçmektedir (Rosenak, 1968).

Hem içsel sürtünme açısı hem de kohezyona sahip zeminlerde ($\phi, c > 0$) stabilite faktörü şev açısı ve içsel sürtünme açısının bir fonksiyonudur. Sabit bir şev açısı için içsel sürtünme değerinin artışı stabilite faktörünün azalmasını

beraberinde getirmektedir. Başka bir deyişle içsel sürtünme açısının artışı zemindeki kohezyon değerinin azalmasını haliyle stabilite faktörünün azalmasına sebep olmaktadır. Sabit bir içsel sürtünme açısı değeri altında şev açısının artışı stabilite sayısının artmasına imkan tanımaktadır (Rosenak, 1968).

Taylor'un stabilite abaklarının kullanımı uzun dönem stabilite analizleri için uygundur. Zeminin efektif kayma mukavemeti parametrelerinden faydalanarak hesaplamalar gerçekleştirilebilir. Bu kabuller zeminin su içeriğinin sabit kaldığı veya yeraltı suyu akışının var olmadığı durumlarda kullanılabilir. Uzun dönem stabilite analizlerinde efektif kohezyon (c') kullanılmasıyla stabilite faktörü (2.60) şeklinde yazılabilir (Orhan, 2020).

$$N_{s-c} = \frac{c'}{\gamma * H} \quad (2.60)$$

Şekil 2.22 ile efektif içsel sürtünme açısı (ϕ') ve şev açısına (β) bağlı olarak stabilite faktörü $N_{s-\phi}$ belirlenmektedir. Şevin güvenlik sayısı ise (2.61) şeklinde yazılır.

$$GS = \frac{N_{s-c}}{N_{s-\phi}} \quad (2.61)$$

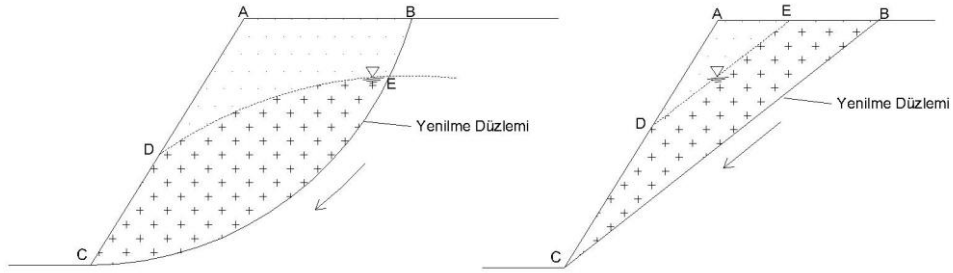
2.4 Şevlerde Boşluk Basıncı Oranı

2.4.1 Boşluk Basıncının Özellikleri

Şevlerin stabilitesinin belirlenmesinde boşluk basıncının doğru şekilde belirlenmesi ve analizlere dahil edilmesi oldukça önemlidir. Bu konuda çeşitli literatür çalışmaları yapılmıştır. Boşluk basıncının belirlenmesine yönelik en temel fikir (2.62) ile gösterilmiştir.

Şekil 2.23 ile şevin kayma tipi belirlenir. Ardından düzlemsel veya dairesel kaymaya bağlı olarak yeraltı suyunun altında kalan kayan alan, kaymanın olduğu toplam kesit alanına oranlanır. Bu şekilde boşluk basınç oranı belirlenmektedir. Dairesel kaymaların meydana gelmesi halinde (2.63)'den,

düzlemsel kaymaların meydana gelmesi halinde (2.64)'den faydalanılır (Huang, 1983).



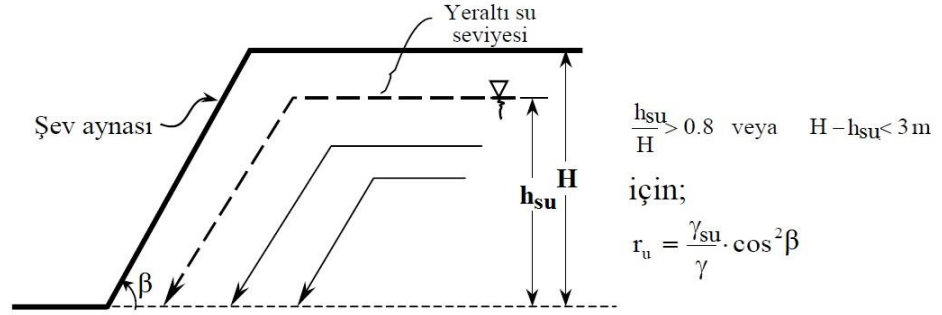
Şekil 2. 23 Dairesel ve Düzlemsel Kaymalarda Boşluk Basıncı Oranının Hesaplanması (Huang, 1983)

$$r_u = 0,5 * \frac{\text{Su altında kalan kayan kütlenin kesit alanı}}{\text{Toplam kayan kütlenin kesit alanı}} \quad (2.62)$$

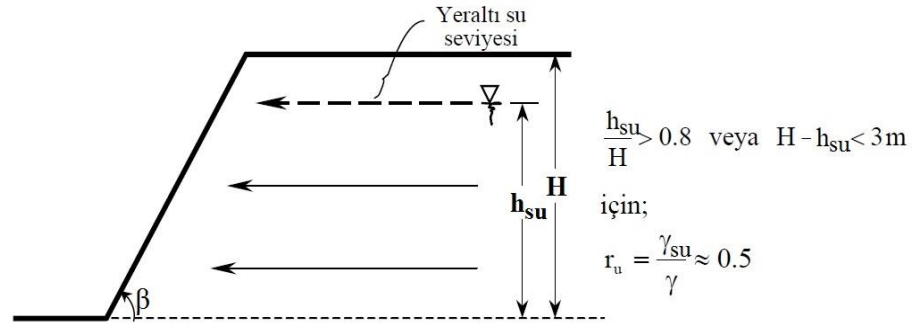
$$r_u = 0,5 * \frac{A(CDE)}{A(ABECD)} \quad (2.63)$$

$$r_u = 0,5 * \frac{A(CDEB)}{A(ABECD)} \quad (2.64)$$

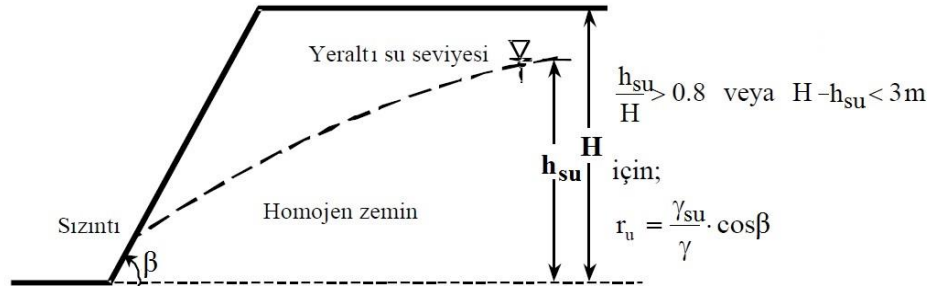
(Huang, 1983)'e göre boşluk basıncı oranı r_u (2.65) ve (2.66)'dan faydalanarak analitik yöntemlerle belirlenebilmektedir. Bu bağıntılarda u boşluk suyu basıncını, γ yeraltı suyu seviyesinin üstünde kalan zeminin birim hacim ağırlığını, γ_d yeraltı suyu seviyesinin altında kalan zeminin birim hacim ağırlığını, γ_{su} suyun birim hacim ağırlığını, h_{su} incelenen noktanın yeraltı suyu seviyesinin eş potansiyel çizgisine dik uzaklığını, q şeve etkileyen sürşarj yükünü, b dilim genişliğini, h incelenen noktanın şev üst yüzeyine dik mesafesini ifade etmektedir. Şekil 2.24'e göre şev diliminin ağırlığı (2.67) ve dilime etkileyen su basıncı (2.68) ile gösterilebilir (Budhu, 2000).



2.25 (a) Şev Aynasında Sızıntı Olmaması Durumunda Paralel Akış Hali (Mitchell, 1983)



2.25 (b) Şev Aynasında Sızıntı Olması Durumunda Yatay Akış Hali (Mitchell, 1983)



2.25 (c) Şev Aynasında Sızıntı Olması Durumunda Parabolik Akış Hali (Mitchell, 1983)

Şekil 2. 25 Şev Aynasında Sızıntı Olması/Olmaması Durumunda Akış Halleri a) Sızıntı Olmaması Durumunda Paralel Akış Hali b) Sızıntı Olması Durumunda Yatay Akış Hali c) Sızıntı Olması Durumunda Parabolik Akış Hali (Mitchell, 1983)

2.4.2 Boşluk Basıncı Katsayısının Belirlenmesi

Drenajsız üç eksenli basınç deneyleri ile ($\Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3$), boşluk suyundaki değişim Δ_u ile gösterildiğinde asal gerilmelerdeki değişim (2.69) ile ifade edilebilir. Bu bağıntıdaki $\Delta\sigma_1; \Delta\sigma_3 =$ Düşey ve orta asal gerilmelerin değişimidir. (2.70)'deki A ifadesi şev zeminini oluşturan kilin türüne ve yüklenme tarihçesine

göre değişen bir katsayıdır. B ifadesi ise kilin doygunluk oranına bağlı bir katsayıdır. Tam doygun olan killerde $B = 1$ 'dir (Bishop and Bjerrum, 1963).

$$\Delta_u = B * [\Delta\sigma_3 + A * (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)] \quad \Delta_u = B * \Delta\sigma_3 + \bar{A} * (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \quad (2.69)$$

$$(\bar{A} = A * B) \quad (2.70)$$

Boşluk basıncının (u) belirlenmesinde şev kütlesinin gerilme değişimi var olmadan önceki boşluk basıncı (u_o) ifadesiyle, gerilme değişiminden kaynaklı açığa çıkan aşırı boşluk suyu basıncı (Δ_u) ifadesinin toplanması gerekmektedir. Bu bağıntı (2.71) ile gösterilmiştir.

$$u = u_o + \Delta_u \quad (2.71)$$

İlk durumdaki boşluk suyu basıncı olan u_o yeraltı suyunun değişiminden faydalanarak elde edilebilir. İncelenen noktanın yeraltı suyu seviyesinin altında bulunması halinde ($u_o > 0$), yeraltı suyu seviyesinin üzerinde bulunması halinde ($u_o < 0$) olacaktır.

Kilin doygunluk oranına bağlı değişen katsayı (B) ifadesi kısmi olarak suya doygun killerde ($B < 1$), suya doygun killerde ise ($B \approx 1$) değerine sahiptir (Bishop and Bjerrum, 1963).

A katsayısı normal konsolide killerde ($A = 1$) değerine eşittir. Bu durumda orta ve asal gerilmelerin değişimi ifadesi ($\bar{A} = A * B$), (2.72) şeklinde yazılabilir.

$$(\bar{A} = 1 * B) \quad (2.72)$$

(2.69) ile belirtilen boşluk basıncı ifadesinin içerisinde (2.72)'un yazılmasıyla birlikte (2.73) oluşturulur. Gerçek şartlardaki boşluk basıncını belirlemek için öncelikle (2.71) ifadesinin içerisinde (2.73) yazılarak (2.74) elde edilir. Ardından (2.65) ifadesinin içerisinde (2.74) yazılarak (2.75) oluşturulur.

$$\Delta_u = B * \Delta\sigma_1 \quad (2.73)$$

$$u = u_o + B * \Delta\sigma_1 \quad (2.74)$$

$$r_u = \frac{u_o + B * \Delta\sigma_1}{\gamma * h} \quad (2.75)$$

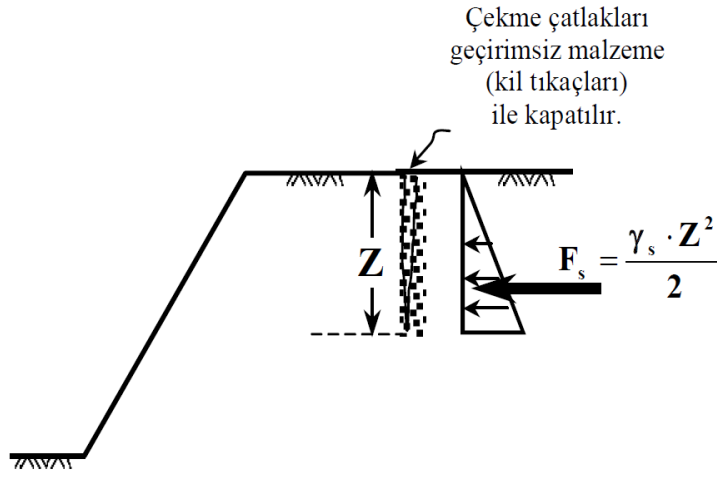
2.4.3 Yüzey ve Yeraltı Sularının Olumsuz Etkilerine Karşı Alınabilecek Önlemler

Şiddetli yağışlar veya su akışlarının şev üzerindeki etkileri incelendiğinde stabil şevlerin denge durumunu yitirmesinin başlıca sebeplerinden bir tanesi su seviyesinin artışı neticesinde artışa geçen boşluk suyu basıncıdır. Yeraltı sularının şev yüzeyine yükselmesi halinde kritik şev yüksekliği açısından en kritik durumu ifade etmektedir (Yamaguchi, 1993).

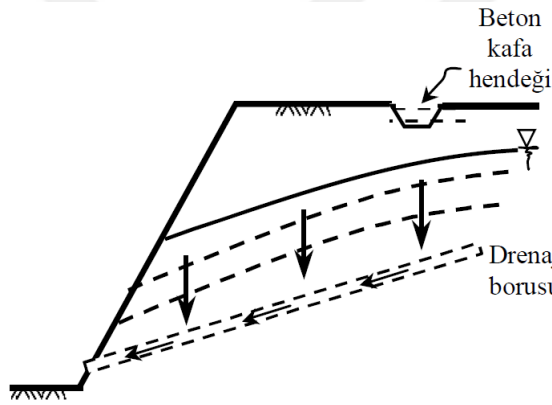
Mohr Coulomb kırılma hipotezine göre zeminin efektif kayma mukavemeti (2.76) biçiminde yazılabilir. Boşluk basıncında meydana gelecek artışlar efektif normal gerilmenin azalmasına sebep olmaktadır. Böylece şevin güvenlik sayısında ve kritik yüksekliğinde azalmalar meydana gelecektir. Sonuç olarak boşluk oranı r_u ile şevin stabilitesi arasında negatif eğimli lineer bir ilişki vardır (Arıoğlu ve Tokgöz, 2005).

$$\tau = c' + \sigma' \tan\phi' \text{ veya } \tau = c' + (\sigma - u) \tan\phi' \quad (2.76)$$

Yüzeyden gelebilmesi muhtemel veya yeraltı sularının etkisiyle şevlerde meydana gelebilecek stabilite kayıplarının önlenmesinde alınabilecek bazı mühendislik tedbirleri Şekil 2.26.a ve Şekil 2.26.b’de verilmiştir.



Şekil 2.26 (a) Çekme Çatlaklarının Kil Tıpaçları İle Kapatılması (Arioğlu ve Tokgöz, 2005)



Şekil 2.26 (b) Kafa Hendeği ve Drenaj Borusu ile Suyun Şevden Uzaklaştırılması (Arioğlu ve Tokgöz, 2005)

Şekil 2. 26 Yüzeyden gelebilmesi muhtemel veya yeraltı sularının etkisiyle şevlerde meydana gelebilecek stabilite kayıplarının önlenmesinde alınabilecek bazı mühendislik tedbirleri a) Çekme Çatlaklarının Kil Tıpaçları İle Kapatılması b) Kafa Hendeği ve Drenaj Borusu ile Suyun Şevden Uzaklaştırılması (Arioğlu ve Tokgöz, 2005)

Kohezif zeminlerden meydana gelmiş şevlerde çekme çatlağının var olması halinde Şekil 2.26.a'daki şekilde gösterildiği gibi çatlakların özenli bir şekilde geçirimsiz hale getirilmesi sağlanır. Böylece bu çatlaklarda suyun dolması engellenmiş olur. Çekme çatlaklarının kil tıpaçları ile tıkanması doğru bir çözüm olacaktır. Bu durumda çekme çatlaklarının oluşturacağı stabiliteyi negatif yönde etkileyen kuvvetler oluşmayacaktır. Bir başka deyişle $F_s \approx 0$ olmaktadır (Arioğlu ve Tokgöz, 2005).

Şevin gevşek zeminlerden meydana gelmesi ve şiddetli yağış alan bir bölgede bulunması halinde üst kısımlarda serbest halde sızıntı sularının olması, şev gövdesinde akışa geçmesi muhtemeldir. Bu durumda 2.26.b’de gösterildiği gibi kafa hendeklerinin yapılması gerekmektedir.

Kafa hendekleri yüzey sularının toplanmasını ve şevden uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Şev yüzeyinin suya maruz kalmaması zeminlerde oluşabilecek yumuşamaların önüne geçmektedir. Ayrıca şev gövdesinde sızıntı şeklinde akışa geçen suların drenaj boruları vasıtasıyla şevden uzaklaştırılması da sağlanabilir. Bu durum yeraltı suyu seviyesinde azalmalar meydana getireceği için boşluk basıncını azaltır ve efektif gerilme değerini artırır. Böylece zeminin kayma mukavemetinin artması şev güvenliğini artırıcı bir etki meydana getirecektir (Arıoğlu ve Tokgöz, 2005).

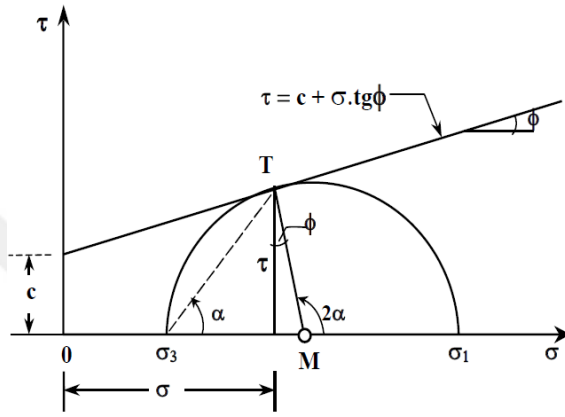
2.5 Şev Stabilitesi Hesaplamalarındaki Mukavemet Parametrelerinin Belirlenmesi

Geoteknik mühendisliğinin en önemli konularından bir tanesi kayma mukavemeti ve deformasyon ilişkilerinin doğru biçimde ortaya konmasıdır. Şev hesaplamalarında kayma mukavemeti analizleri şev zemininin zati ağırlığı altında veya dış yüklerin etkisiyle limit denge durumlarının araştırılmasını içermektedir. Şev geometrisinin oluşturulmasının ardından sisteme etkiyecek statik ve dinamik yüklerin hesaplamalara dahil edilmesi gerekmektedir. Statik yüklere şevin kendi ağırlığı, boşluk suyu basıncı veya şevin üst veya alt kısmında bulunan bina temel yükleri örnek olarak verilebilir. Şeve yakın çalışan iş makineleri, patlamalar ve deprem kaynaklı sismik yüklemeler ise dinamik yüklemelere örnektir (Önalp ve Arel, 2004).

Şevlerdeki deformasyon problemlerine genellikle şevde stabilite kaybı meydana gelmeksizin kayma mukavemeti kayıpları meydana gelmeden şev kütlelerinin maruz kaldığı yüklemeler altında oluşan yer değiştirmelerin araştırılmasını içermektedir. Bir karayolu inşaatı esnasında yapılan yarma ve dolgular neticesinde oluşacak bölgesel deplasmanlar veya bir toprak dolgu barajda meydana gelebilecek oturmalar bu duruma örnektir (Önalp ve Arel, 2004).

2.5.1 Şev Stabilitesi Hesaplamalarında Yükleme Özellikleri

Zeminin kırılma zarfı “Mohr Coulomb Kırılma Ölçütü” (2.77) ile ifade edilebilir. Burada; “ τ ” kayma gerilmesini, “ c ” kohezyonu, “ σ ” kırılma yüzeyine etki eden düşey gerilmeyi ve “ ϕ ” zeminin içsel sürtünme açısını ifade etmektedir. Üç eksenli deneyler neticesinde oluşacak genel Mohr-Coulomb kırılma zarfı Şekil 2.27’deki gibi olmaktadır (Uzuner, 2001).



Şekil 2. 27 Mohr Coulomb Kırılma Ölçütü (Uzuner, 2001)

$$\tau = c + \sigma * \tan \phi \quad (2.77)$$

Zeminde oluşacak normal gerilmeler (2.78) ile, kayma gerilmeleri (2.79) ile, kırılma açısı (2.80) ile gösterilmiştir.

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2} \right] * \cos 2\alpha \quad (2.78)$$

$$\tau = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2} \right] * \sin 2\alpha \quad (2.79)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \text{ veya } \alpha = 45 + \frac{\phi}{2} \quad (2.80)$$

$$OM = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad (2.81)$$

Zeminde meydana gelecek büyük “ σ_1 ” ve küçük “ σ_3 ” asal gerilmelerin belirlenmesinde aşağıdaki denklemlerden faydalanılır. (2.82) ile büyük ve küçük

asal gerilmeler arasındaki ilişki tanımlanmıştır. Burada K ifadesi üç eksenli gerilme faktörünü (Rankine katsayısının tersi), σ_b ifadesi tek eksenli basınç dayanımını ifade etmektedir (Uzuner, 2001).

$$\sigma_1 = \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi} * \sigma_3 + 2 * c * \frac{\cos\varphi}{1-\sin\varphi} \text{ veya } \sigma_1 = K * \sigma_3 + \sigma_b \quad (2.82)$$

$$\sigma_1 = \tan^2 * \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) * \sigma_3 + 2 * c * \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (2.83)$$

$$\sigma_3 = \tan^2 * \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) * \sigma_1 - 2 * c * \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (2.84)$$

2.5.1.1 Konsolidasyonsuz ve Drenajsız Yükleme

Üç eksenli deney cihazıyla gerçekleştirilen konsolidasyonsuz ve drenajsız yüklemeler en hızlı ve pratik sonuçları veren deney yöntemidir. Bu deneyler “UU” deneyleri olarak tanımlanmaktadır. Drenaj vanalarının kapatılmasıyla deney hücresi içerisindeki numunenin su çıkışına izin verilmemektedir. Boşluk suyu basıncının ölçülememesi sebebiyle çıkan sonuçlar drenajsız kayma mukavemeti parametrelerini vermektedir. Başka bir ifadeyle deney neticesinde elde edilene gerilme analizleri toplam gerilme üzerinden hesaplanmaktadır. Bu deney şevlerin kısa dönem stabilite analizleri için uygundur (NCB, 1977).

Zemin içerisindeki içsel sürtünme açısının $\varphi = 0$ olması halinde kayma mukavemeti (τ) sadece kohezyondan (c) meydana gelmektedir. Böylece Mohr-Coulomb kırılma zarfı (2.85) şeklinde olmaktadır.

$$\tau = c \quad (2.85)$$

Tanımlanan (2.82) bağıntısından faydalanarak tek eksenli basınç dayanımı σ_b (2.86) şeklinde yazılabilir. Konsolidasyonsuz ve drenajsız üç eksenli deneyleri hızlı yükleme durumlarını içermektedir. Bundan dolayı şev stabilitesi analizlerinde suya doymun killi zeminlerin parametrelerinin belirlenmesinde bu deneyden faydalanılmaktadır. İçsel sürtünme açısının $\varphi = 0$ kabul edilmesi halinde boşluk basıncından bağımsız olacak şekilde tüm Mohr dairelerinin

yarıçapı numunenin tek eksenli basınç dayanımının yarısına eşit olmaktadır (2.87). Bu yöntemle göre yapılan deneylerde Mohr-Coulomb kırılma zarfı, normal gerilme eksenine paralel bir doğru olarak $\tau = c$ biçiminde ifade edilebilir. Doygun olmayan killerde ise ($S < \%100$) kayma dayanımının $\tau = c = \frac{\sigma_b}{2}$ ifadesinden küçük olduğu bilinmektedir. Başka bir ifadeyle doymuş olan killerdeki kohezyon ve bununla doğru orantılı olan tek eksenli basınç dayanımı doymuş olmayan killere göre daha yüksek değerlere sahiptir (Özaydın, 2016).

$$\sigma_b = 2 * c * \frac{\cos\phi}{1-\sin\phi} \quad (2.86)$$

$$\sigma_b = 2 * c \text{ veya } c = \frac{\sigma_b}{2} \quad (2.87)$$

2.5.1.2 Konsolidasyonlu ve Drenajsız Yükleme

Konsolidasyonlu ve drenajsız yükleme (CU) türünde konsolidasyonun gerçekleştirilmesi adına numuneye hücre basıncı (σ_3) uygulanmaktadır. Bu aşamada suyun kontrollü biçimde drene edilebilmesi için drenaj vanaları açık tutulur. Numunede meydana gelen sıkışmalar sabitlendiğinde drenaj vanaları kapatılır. Ardından önceden belirlenen yükleme koşulları altında numune kırılır.

Bu deney esnasında boşluk basıncı ölçülebilmektedir. Bu tür deneylerden elde edilecek parametreler yol dolgularında, yumuşak zeminler üzerine yapılan dolgularda ve maden atıklarının meydana getirdiği şevlerde kullanılması uygundur (Özaydın, 2016).

2.5.1.3 Konsolidasyonlu ve Drenajlı Yükleme

Konsolidasyonlu ve drenajlı yükleme (CD) türünde zemin numunesi öncelikle hücre basıncı altında konsolide edilir. Suyun drene edilebilmesi için drenaj vanaları açılır. Bu vanalar açıkken ek boşluk basınçlarının oluşmasına imkan tanımaksızın düşey yüklemeler yapılır. Drene olan su hacminden faydalanarak hacimsel deformasyon belirlenmektedir (Özaydın, 2016).

Uzun süreli şev stabilitesi parametrelerinin belirlenmesinde CU ve CD deneylerinin yapılması uygundur. CU yükleme koşullarına ek olarak CD yükleme koşulları doğal şevlerin stabilitesinin belirlenmesinde etkili sonuçlar vermektedir (Holtz and Kovacs, 1981)

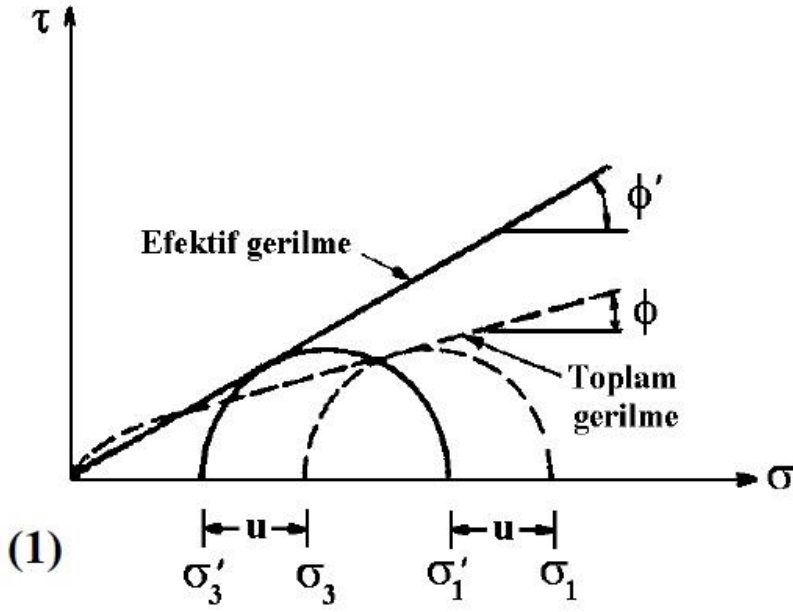
2.5.1.4 Efektif Gerilme Yaklaşımı

Üç eksenli basınç deneylerinin içerisinde CU ve CD yükleme koşullarında drenaja müsaade edilmesinden dolayı analizlerin efektif gerilme yaklaşımına bağlı değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu yaklaşımda Mohr-Coulomb kırılma kriteri (2.88) şeklinde olmaktadır. Deneyi yapılan zemin kayma mukavemeti parametrelerinden sadece içsel sürtünme açısına sahipse efektif kayma dayanımı (2.89) ile ifade edilir. Efektif normal gerilmeler (σ') (2.90) ile hesaplanır. Toplam gerilme ve efektif gerilme yaklaşımlarında Mohr-Coulomb dairelerinin konumları arasındaki ilişki Şekil 2.28.a ve Şekil 2.28.b ile gösterilmektedir (Hunt, 1986).

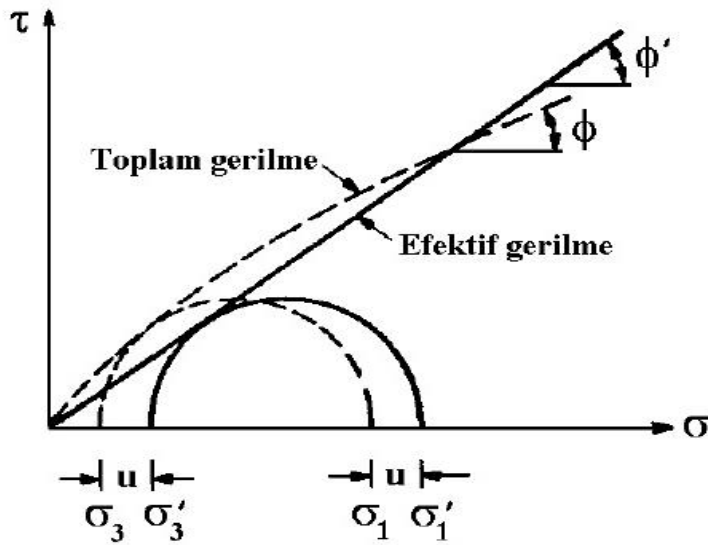
$$\tau = c' + \sigma' * \tan\varphi' \text{ veya } \tau = c' + (\sigma - u) * \tan\varphi' \quad (2.88)$$

$$\tau = \sigma' * \tan\varphi' \text{ veya } \tau = (\sigma - u) * \tan\varphi' \quad (2.89)$$

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2.90)$$



Şekil 2.28 (a) Gevşek-Doygun Kumda “CU” Üç Eksenli Deney Sonuçları (Hunt, 1986)



Şekil 2.28 (b) Yoğun-Sıkı Kumda “CU” Üç Eksenli Deney Sonuçları (Hunt, 1986)

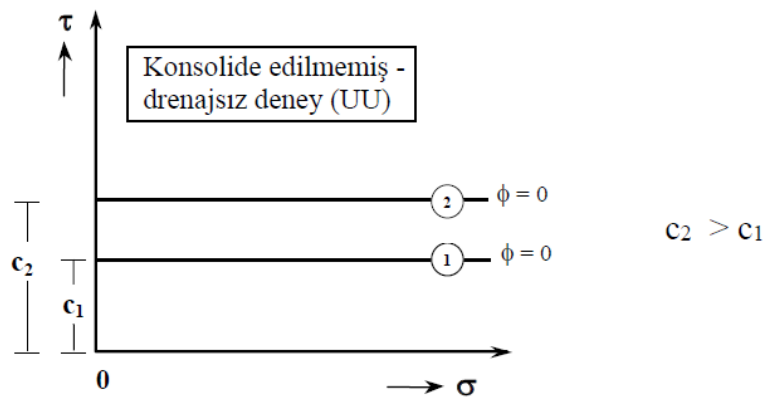
Şekil 2. 28 Gevşek-Doygun Kumda ve Yoğun-Sıkı Kumda “CU” Üç Eksenli Deney Sonuçları
a) Gevşek-Doygun Kumda “CU” Üç Eksenli Deney Sonuçları b) Yoğun-Sıkı Kumda
“CU” Üç Eksenli Deney Sonuçları (Hunt, 1986)

Şekil 2.28.a'ya göre gevşek suya doymuş kumlarda konsolidasyonlu ve drenajsız (CU) yüklemelerinde konsolidasyondan kaynaklı sıkışmaların etkisiyle boşluk suyunun drenajı sağlandığı için efektif içsel sürtünme açısı (ϕ') değeri

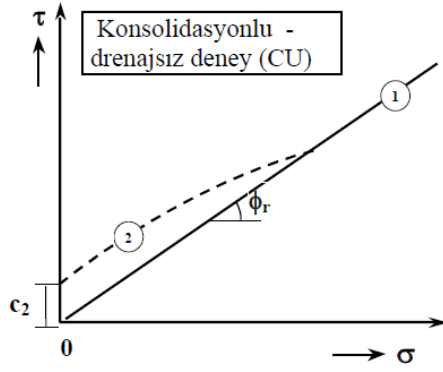
toplam gerilme halindeki içsel sürtünme açısı (ϕ) değerinden büyük çıkmaktadır. Bir başka deyişle gevşek ve suya doymun kumlarda CU yüklemeleri neticesinde kayma mukavemetinde artış sağlanmaktadır. Sıkı kumlarda konsolidasyonlu ve drenajsız (CU) yüklemelerinde efektif içsel sürtünme açısı (ϕ') değeri ve toplam gerilme halindeki içsel sürtünme açısı (ϕ) değerlerinde belirgin değişikliklerin olmadığı gözlenmektedir (Simons and Menzies, 2002).

Suya doymun killerin kayma mukavemeti için oluşturulan farklı yükleme durumları için oluşturulan karakteristik eğriler Şekil 2.29.a, Şekil 2.29.b ve Şekil 2.29.c'de gösterilmektedir. Şekillerde (1) normal konsolide killeri, (2) aşırı konsolide killeri ifade etmektedir. Buna göre konsolidasyonsuz ve drenajsız (UU) yükleme koşulları altında doymun kilin kohezyon parametresi aşırı konsolide olmuş killere göre daha yüksektir. Kohezif zeminlerde $\phi = 0$ yaklaşımından faydalandığı için kayma mukavemeti $\tau = c = \frac{\sigma_b}{2}$ ifadesiyle belirlenebilmektedir (Simons and Menzies, 2002).

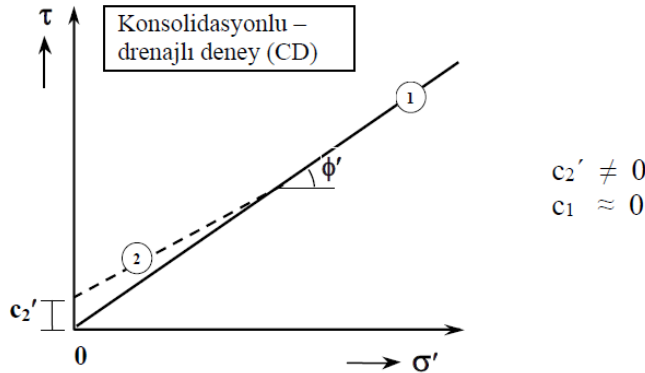
CU ve CD yükleme durumlarında normal gerilmenin düşük kaldığı durumlarda aşırı konsolide olmuş killerin $\tau = f(\sigma)$ eğrisi doğrusal davranış sergilememektedir. Fakat efektif normal gerilmenin (σ') yüksek değerlere ulaşması durumunda aşırı konsolide killere ait $\tau = f(\sigma')$ eğrisi hem CU hem de CD yükleme şartları için doğrusal davranış oluşturmaktadır (Simons and Menzies, 2002).



Şekil 2.29 (a) Doygun Kilin “UU” Üç Eksenli Deney Sonuçları (Simons and Menzies, 2002)



Şekil 2.29 (b) Doygun Kilin “CU” Üç Eksenli Deney Sonuçları (Simons and Menzies, 2002)



Şekil 2.29 (c) Doygun Kilin “CD” Üç Eksenli Deney Sonuçları (Simons and Menzies, 2002)

Şekil 2. 29 Doygun Kilin Üç Eksenli Deney Sonuçları a) “UU” Üç Eksenli Deney Sonuçları b) “CU” Üç Eksenli Deney Sonuçları c) “CD” Üç Eksenli Deney Sonuçları (Simons and Menzies, 2002)

Londra killeri üzerinde yapılan deneyler neticesinde elde edilen ampirik ilişkilerle elde edilen kayma mukavemeti (τ) (2.91)’den faydalanarak elde edilebilir. Bu bağıntının efektif normal gerilme (σ') değerinin ($0 < \sigma' < 8,7$) aralığında olduğunda kullanılması tavsiye edilmektedir. Zeminin efektif kayma mukavemeti parametreleri ($\phi'; c'$) ise (2.92), (2.93) ve (2.94) yardımıyla bulunabilmektedir. Görüleceği üzere efektif normal gerilmede meydana gelen artışlar, efektif içsel sürtünme açısında azalışa sebep olurken efektif kohezyon değerinde artış meydana getirmektedir (Bardet, 1997).

$$\tau = 0,69 * (\sigma')^{0,60} \text{ (MPa)} \quad (2.91)$$

$$\tan\varphi' = 0,414 * (\sigma')^{-0,40} \quad (2.92)$$

$$\varphi' = \tan^{-1}[0,414 * (\sigma')^{-0,40}] \quad (2.93)$$

$$c' = [0,69 * (\sigma')^{0,60}] - \sigma' * [0,414 * (\sigma')^{-0,40}]$$

$$c' = 0,267 * (\sigma')^{0,60} \quad (2.94)$$



3. VAKA ANALİZİNE KONU OLAN ŞEV HAKKINDA GEÇMİŞTE HAZIRLANAN STABİLİTE RAPORLARI

3.1 Ağustos-Ekim 2014 Zemin Etüdü ve Şev Stabilitesi Raporu

3.1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Sahadaki ilk şev stabilitesi araştırması çalışmaları Ağustos-Ekim 2014 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Şevin topuk kısmında konut inşası yapılması planlanmıştır. Bunun için bölgede temel ve yapı inşasının gerçekleştirilebilmesi için tabi zeminin kaldırılması gerekmektedir. Şevin topuk kısmında yapılması planlanan hafriyat çalışmaları neticesinde şevde stabilite kayıplarının oluşması muhtemeldir.

İnceleme alanı ve yakın çevresinin uydu görüntüsünden de görüldüğü üzere cadde üzerinde şevin topuk bölgesinde yapımı gerçekleştirilen birçok konut vardır. Fakat eğimin en fazla olduğu ve yapım açısından risk teşkil eden yamaç bu parselin üst kısmını oluşturmaktadır. Bundan dolayı topuk kısmında kazıya başlanmadan evvel gerekli olması halinde önlemlerin alınması gerekmektedir.



Şekil 3. 1 İnceleme Alanı ve Yakın Çevresinin Uydu Görüntüsü (Taşdemir, 2014)

Şev stabilitesi raporunun hazırlanması için saha deneyleri gerçekleştirilmiş, ardından bu deneyler laboratuvar deneyleri ile desteklenmiş ve şev stabilitesi hesaplamaları kaymanın muhtemel olarak gerçekleşmesi beklenen kesit üzerinde

yapılmıştır. Ardından şevin güvenlik sayısı ile ilişkili olarak inşaat yapılmasından önce sahada alınması gereken önlemler öneri niteliğinde sunulmuştur.

3.1.2 İnceleme Alanında Yapılan Çalışmalar

İncelemesi gerçekleştirilen sahadaki şev stabilitesi analizlerini yapabilmek ve şevi konut inşasının gerçekleştirilmesi adına güvenilir hale getirebilmek amacıyla özel bir zemin firması tarafından 7 adet zemin sondajı yapılmıştır. Ardından bu sondajlardan 1,5m aralıklarla SPT ve UD tüpü vasıtasıyla örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Yapılan sondajlara incelendiğinde kumtaşı, kilaşı, kumlu kil, kumlu çakıl ve çakıllı kil gibi birimlere rastlanmıştır.

Çizelge 3. 1 Yapılan Sondajlara Ait Ortalama SPT N_{30} Değerleri (Taşdemir, 2014)

Sondaj	Derinlik(M)	SPT (Adet)
SK-1	27,50	18
SK-2	20,00	13
SK-3	20,00	13
SK-4	26,00	15
SK-5	16,00	9
SK-6	19,00	12
SK-7	19,00	12

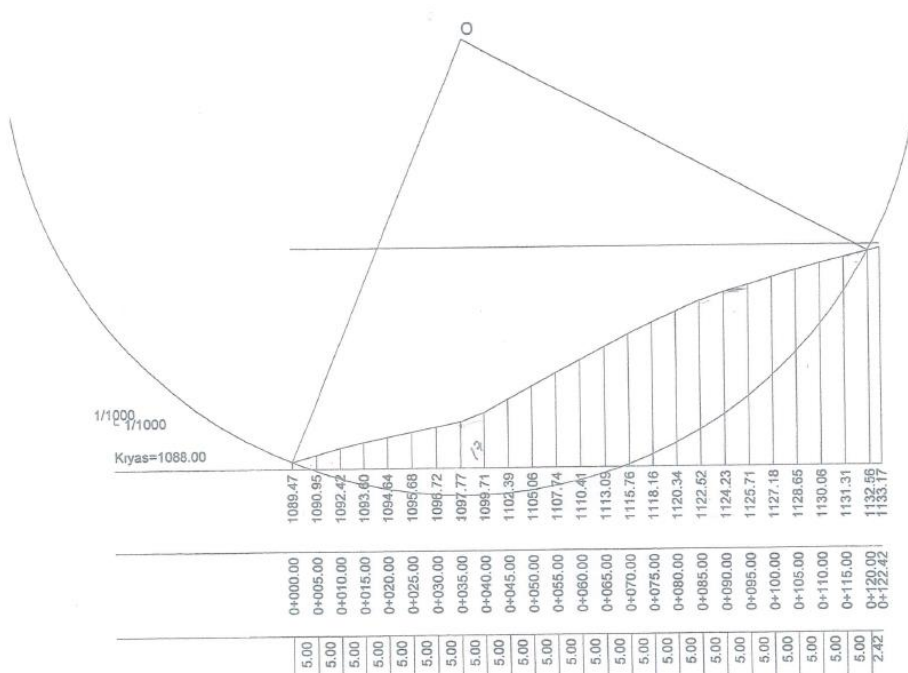
Yamaç üzerinde yapılan sondajlara bağlı zemin özelliklerinin en doğru biçimde belirlenmesi amacıyla numuneler alınmış ve laboratuvar ortamında birleşik zemin sınıflandırma sistemine göre sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. SK-1 15,50m derinlikten alınan numunede yapılan elek analizinde %6,49 çakıl, %21,77 kum, %71,74 silt ve kil malzemeden meydana geldiği gözlenmiştir. Bu numuneye bağlı zeminin cinsinin CL olarak saptanmıştır. Likit limit(LL)=35, plastik limit(PL)=21, plastisite indisi (PI)=14 olarak belirlenmiştir. Numunenin su muhtevası %23,51 ve doğal birim hacim ağırlığı $1,93 \text{ gr/cm}^3$ 'e eşittir. Yapılan UD deneyleri sonucunda kohezyon değeri 60 kPa ve içsel sürtünme açısı 6 derece olarak bulunmuştur. SK-5 7,50m derinlikten alınan numunede yapılan elek analizinde %6,12 çakıl, %14,35 kum, %79,53 silt ve kil malzemeden meydana geldiği gözlenmiştir. Bu numuneye bağlı zeminin cinsinin CL olarak saptanmıştır. Likit limit(LL)=35, plastik limit(PL)=18, plastisite indisi(PI)=17 olarak belirlenmiştir. Numunenin su muhtevası %18,81 ve doğal birim hacim ağırlığı

1,92 gr/cm³'e eşittir. Yapılan UD deneyleri sonucunda kohezyon değeri 63 kPa ve içsel sürtünme açısı 6 derece olarak bulunmuştur.

3.1.3 Şev Stabilite Analizi

Şev stabilitesi analizleri gerçekleştirilirken kritik olduğuna kanaat getirilen kesit belirlenmiştir. Bu kesitte (A-A') analizler, suya doymun kil içeriği var olan zeminlerden meydana gelmiş şevin inşaat aşamasındaki duraylılık durumunu incelemek amacıyla MS Excel makroları vasıtasıyla Fellenius yöntemi baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Yöntemde toplam gerilme analizi ilkesinden faydalanılmıştır. Kayma dayanımının büyük çoğunluğunun içsel sürtünme açısından çok kohezyonun etkilediği düşünülmüştür (Fellenius, 1992).

Yapılan analizler birlikte, şevin kayma yüzeyinin dairesel biçimde meydana geldiği kabul edilmiştir. Hesaplamalarda birim hacim ağırlık değeri olarak 2 t/m³ kullanılmıştır. Kayma mukavemeti parametreleri 1/3 oranında azaltılarak analize dahil edilmiştir. Buna göre kohezyon değeri 40 kPa ve içsel sürtünme açısı 4 derece olacak biçimde hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 3. 2 A-A' Kesitine Ait Şevin Kayma Dairesi (Taşdemir, 2014)

Raporda kayması muhtemel tabakanın Ofiyolit Karmaşığında meydana gelmiş homojen zemin kütlesinden meydana geldiği düşünülerek analizler yapılmıştır. A-A' kesitinin hesaplamaları incelendiğinde merkez açısı (Θ)=85 derece, kayma yarıçapı (R)=95 m, şevin ağırlık merkezinin kayma dairesinin merkeziyle olan yatay mesafesi (d)=40 m olarak belirlenmiştir. Dilim alanları, dilim ağırlıkları, normal kuvvet ve kesme kuvvetlerine bağlı olarak hesaplamalar yapılmıştır.

Güvenlik sayısı hesap edilirken öncelikle kaymayı engelleyici momentlerin toplamı (ΣM_o) (3.1) hesaplanmıştır. Şevin kaymasına sebep olan net ağırlığın (3.2) hesaplanmasıyla birlikte kaydırıcı momentlerin toplamı (ΣM_k) (3.3) bulunmuştur. Bunun için şevi harekete geçirmeye çalışan toplam dilim ağırlığından şevin stabilitesini korumaya çalışan dilim ağırlıkları çıkarılmıştır. Son olarak kaymayı engelleyici momentlerin toplamı kaydırıcı momentlerin toplamına bölünmesi suretiyle sistemin güvenlik sayısı (3.4) elde edilmiştir.

MS Excel makrolarıyla çok sayıda merkez ve yarıçapı baz alan analiz gerçekleştirilmiş ve içlerinden en düşük güvenlik sayısını veren analize raporda yer verilmiştir. En düşük güvenlik sayısını veren kritik kayma dairesi üzerinden şev yorumlanmıştır.

Çizelge 3. 2 A-A' kesitini hesap sonuçları (Taşdemir, 2014)

Dilim No	Dilim Açısı	Dilimin Alanı (m^2)	Dilimin Ağırlığı (t)	Normal Kuvvet (t)	Kesme Kuvveti (t)
1	-20	50	100	94	-34
2	-13	110	220	214	-50
3	-7	150	300	298	-37
4	-1	160	320	320	-6
5	6	210	420	418	44
6	12	250	500	489	104
7	18	270	540	514	167
8	25	300	600	544	254
9	32	280	560	475	297
10	38	240	480	378	296
11	47	180	360	246	263
12	56	80	160	90	133
Toplam		2280	4560	4080	1431

$$M\ddot{o} = R^2 * \Theta * C = 95^2 * \frac{85 * \pi}{180} * 4 = 53528 \text{ ton} \quad (3.1)$$

$$\Sigma W_{\text{net}} = \Sigma W_{5-12} - \Sigma W_{1-4} = 3620 - 940 = 2680 \text{ ton} \quad (3.2)$$

$$Mk = W * d = 2680 * 40 = 107200 \text{ ton} \quad (3.3)$$

$$GS = \frac{\Sigma M\ddot{o}}{\Sigma Mk} = \frac{53528}{107200} = 0,50 \quad (3.4)$$

Rapora göre yapı inşası için şevin topuk kısmından hafriyat alınması durumunda A-A' kesiti üzerinde yapılan şev stabilitesi analizlerinde güvenlik sayısının 0,50 olarak hesaplanmıştır. Bu değer sistemin güvenli olmadığını göstermektedir. Bundan dolayı topuk kısmında kazı yapılmadan evvel önlemlerin alınmasının gerekliliği ortaya konulmuştur.

Raporda imar planındaki yapılaşma sınırları ve topografik harita göz önünde bulundurularak şevin inceleme kesitlerinden açığa çıkan kayma dairelerinin hafriyat alınan alt kottan 15 ile 20 metre daha aşağıda olduğu belirtilmiştir. Bu durumun konutların inşası esnasında ve inşa sonrasında stabilite problemleri meydana getirebileceğine değinilmiştir. Bundan dolayı kayma ihtimalinin olduğu şev bölgesinde ağırlık azaltımı yapılması düşünülmüştür.

Şevin dengeye ulaşabilmesi için özellikle heyelan riskinin var olduğu taç hattı üzerinden hafriyat alınması önerilmiştir. Fakat destek elemanları ile bir iyileştirme yöntemi sunulmamıştır. Sadece önlem mahiyetinde olabilecek biçimde kazık ve ankraj yapımı tavsiyesinde bulunulmuştur. Önlem olarak sunulan destek elemanlarının seçiminde ve tasarımı kayma dairesinin alt kısmına kadar ulaşması ve bu derinlikler baz alınarak hesaplamaların gerçekleştirilmesi gerekliliği belirtilmiştir. Raporda sunulan arazi çalışmalarının, laboratuvar deneylerinin yetersizliği ve hesaplamaların teknik açıdan uygun görülmemesi sebebi ile bu çalışma ilgili idare tarafından reddedilmiştir.

3.2 Aralık 2014 Zemin Etüdü ve Şev Stabilitesi Raporu

3.2.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Şev ile ilgili ikinci çalışma Aralık 2014'te gerçekleştirilmiştir. Ekim-Kasım 2014 döneminde bölgenin jeolojik özellikleri detaylı olarak araştırılmadan; uygun stabilite analizleri ve önlemleri alınmadan yamaç topoğrafyasında kazı çalışmaları yapılmıştır. Yamaç topoğrafyasından fazla malzeme alınması ve kazı şevlerinin dik açılması sebebi ile şevin alt ve orta bölümünde kaymalar meydana gelmiştir.



Şekil 3. 3 Aralık 2014'te Arazide Oluşan Heyelan (Kuzeydoğu Yönü) (Gürdal, 2014)

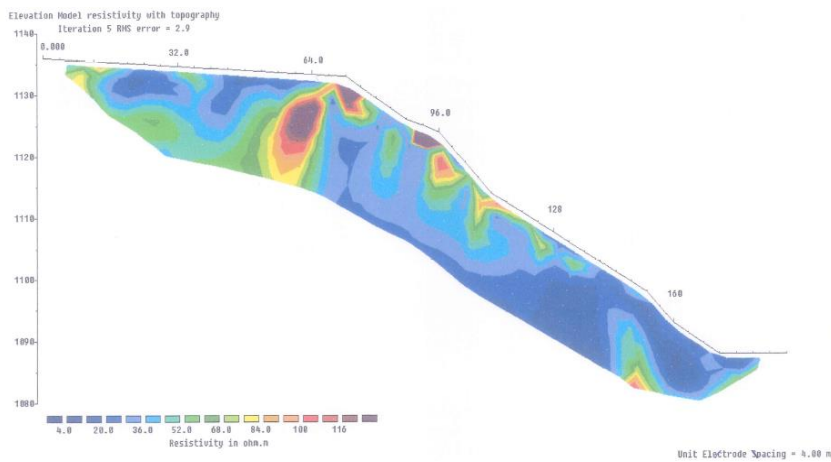
Yapılan gözlemlerde meydana gelen kaymanın tek bir blok halinde olmayıp, kazı tekniği, jeolojik özellikler ve yerel eğimler gibi değişkenlere bağlı olarak oluştuğu ve taş bölgesindeki açılmaların devam ettiği yeni gerilim çatlakları görülmüştür. Ayrıca şevin üst bölgesinde bulunan parkta çatlama ve toprak kayması riski olduğu tespit edilmiştir. Bu toprak kaymasının yan parsellerdeki konutları da tehdit ettiği belirlenmiştir. Yapılan incelemelerle birlikte sahada heyelan riskinin tespiti ve bu durumun önlenmesi adına özel bir zemin firması tarafından çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

3.2.2 İnceleme Alanında Yapılan Çalışmalar

İnceleme sahasında özel bir firma tarafından şev üzerinde Ağustos-Ekim 2014 arasında 16,00-27,00 m derinlikleri arasında 7 adet sondaj çalışması yapılmıştır. Birinci sondaj kuyusundan 15,50 m derinliğinden ve beşinci sondaj kuyusunun 7,50 m derinliğinden alınan numuneler elek analizi, su muhtevası, Atterberg limitleri ve üç eksenli deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara ek olarak bir başka özel firma tarafından şevin topuk bölgesinde 2 adet 15,00 m derinliğinde sondaj kuyusu açılmıştır. Yeraltı ve sızıntı sularının belirlenmesi ve formasyonun şev hattı boyunca belirlenmesi adına özel bir jeofizik firması tarafından 2 adet çok kanallı rezistivite çalışması yapılmıştır.



Şekil 3. 4 Şevin Topuk Bölgesinde Gerçekleştirilen SPT Deneyi (Gürdal, 2014)



Şekil 3. 5 Şev Yüzeyi Boyunca Yapılan Çok Kanallı Rezistivite Deneyi Sonuçları (Gürdal, 2014)

Kaymaların olduğu alanlarda yapılan gözlemlerde ayrışmış ve bozuşmuş olarak ofiyolitli karmaşık olarak adlandırılan birimler ile siltli killi malzemeler gözlenmiştir. Bu birimler ofiyolitinin alterasyonu sonucu meydana gelmiş yeşilimsi kil bantları, kızıl kahverengimsi siltli killi seviyeler, krem-boz renkli killi seviyeler ile çakıllı, kumlu, killi, siltli birimlerden oluşmaktadır. Söz konusu birimler içerisinde farklı boyutlarda kaya birimleri gözlenmiştir.

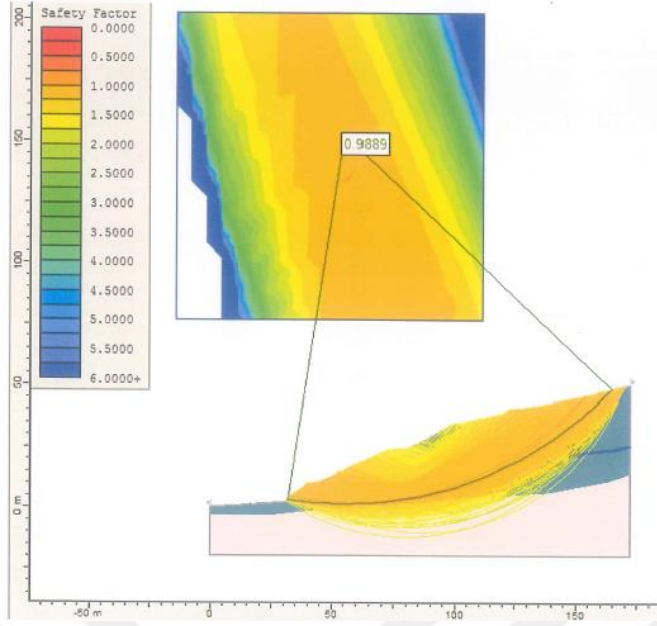
3.2.3 Şev Stabilite Analizi

Sahanın stabilitesinin daha detaylı incelenbilmesi ve şevlerde meydana gelebilecek hareketleri daha net anlayabilmek adına şev bölgesi üç ayrı kesitte incelenmiştir. A-A', B-B' ve C-C' kesitlerinin her biri için ayrı stabilite analizi yapılmıştır. Ardından sistemin minimum güvenlik sayısına sahip kayma daireleri elde edilmiş ve yorumlanmıştır.

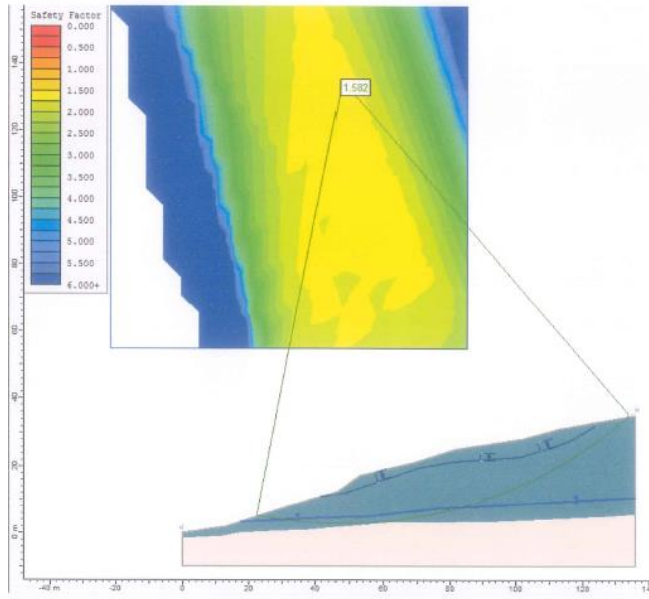
İnceleme alanındaki stabilite problemlerinin meydana geldiği kesitlerdeki hareketleri durdurmak adına şevin üzerinden hafriyat alınması, drenaj hattının kurulması, şevin topuk bölgesine kesitlere bağlı olarak tek sıra veya çift sıra kazık projelendirilmesi gibi önlemler alınmıştır. Ardından önlem alınmadan önceki güvenlik sayıları ile önlemlerin alınmasının ardından elde edilen güvenlik sayıları kıyaslanmıştır.

Arazinin tabii zemin kotları, su seviyesinin şev hattı boyunca değişimi, zemin formasyonları göz önüne alınarak SLIDE v6.0 programı vasıtasıyla şev stabilitesi analizleri gerçekleştirilmiştir. A-A' kesiti için yapılan analizlerde güvenlik sayısının 0,9889, B-B' kesitinde yapılan analizlerde güvenlik sayısının 1,582 olduğu, C-C' kesitinde yapılan analizlerde ise 0,8877 olduğu belirlenmiştir.

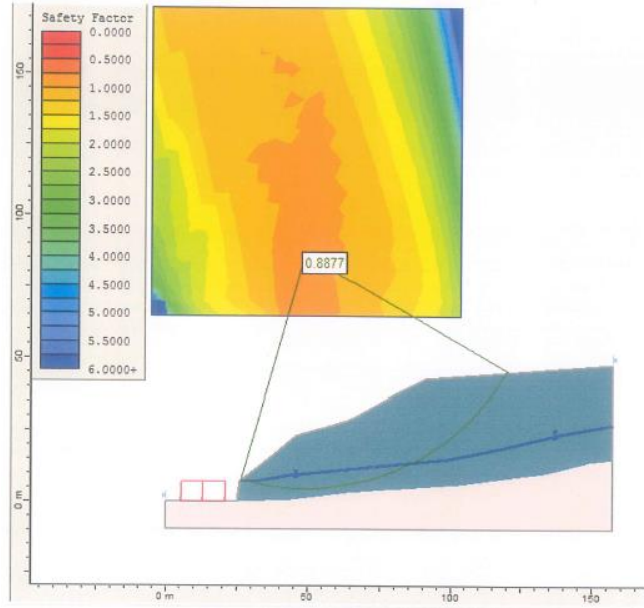
İnceleme alanındaki hareketlerin kontrol altına alınabilmesi adına üç farklı metoda bağlı önlem alınmıştır. Bunlar hafriyat çalışması, drenaj çalışması ve kazık ve istinat duvarı çalışmasıdır.



Şekil 3. 6 Şev İyileştirmesinden Önce A-A' Kesiti Stabillite Analizleri (Gürdal, 2014)



Şekil 3. 7 Şev İyileştirmesinden Önce B-B' Kesiti Stabillite Analizleri(Gürdal, 2014)

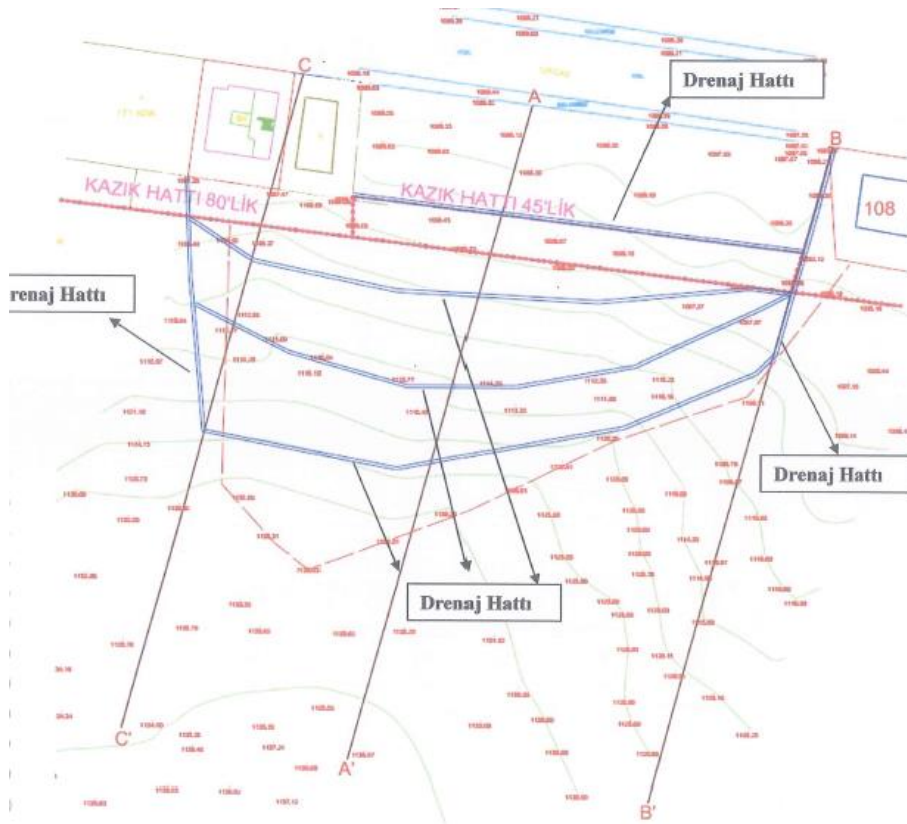


Şekil 3. 8 Şev İyileştirmesinden Önce C-C' Kesiti Stabilité Analizleri (Gürdal, 2014)

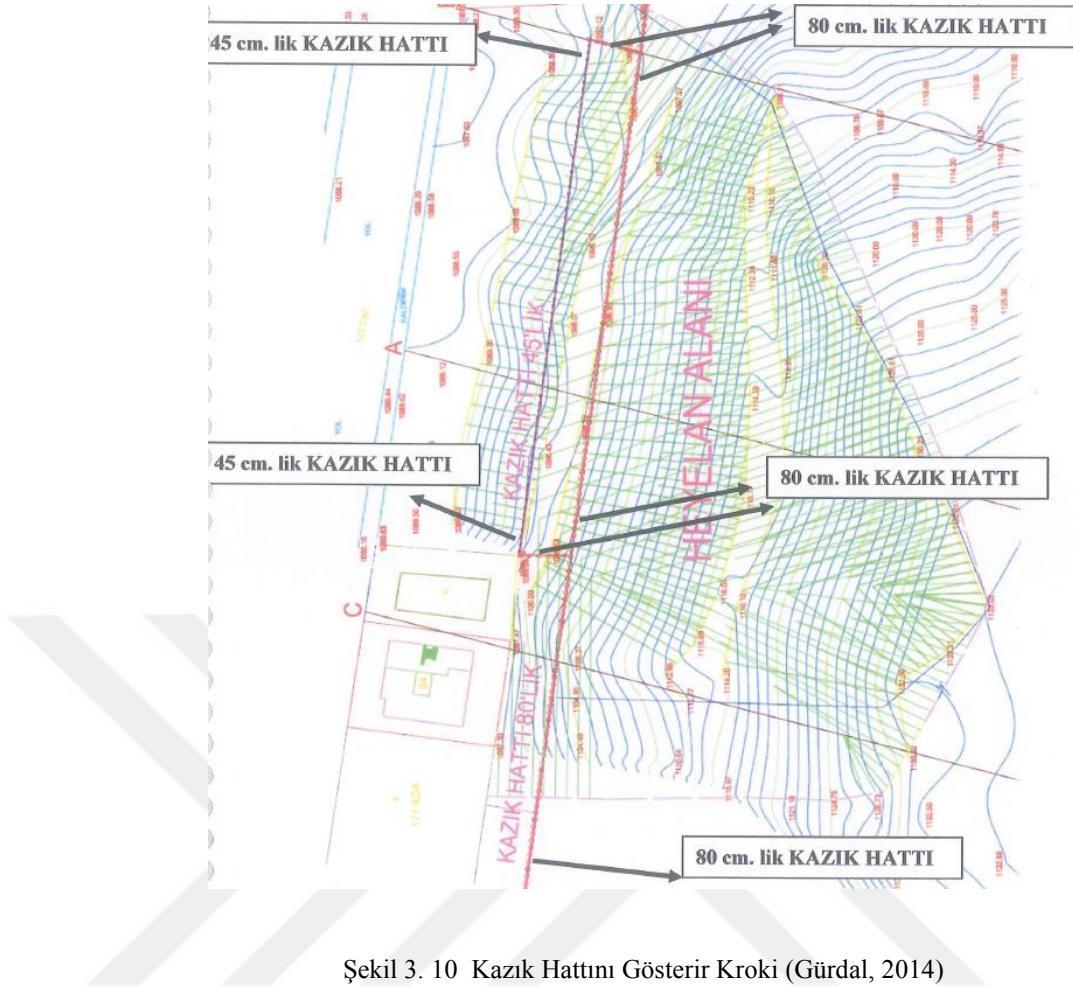
Heyelan riski taşıyan bölgede özel bir zemin firması tarafından gerçekleştirilen 7 adet sondajın standart penetrasyon deneyi sonuçlarından faydalanılarak içsel sürtünme açısının $32,46^{\circ}$ - $35,07^{\circ}$ arasında değiştiği belirlenmiştir. İnceleme alanı birinci dereceden deprem bölgesi olması ve ofiyolitik melanj bünyesindeki sızıntı ve yeraltı sularının varlığı dolayısıyla zemin parametrelerinde 1/3 oranında azaltım yapılması uygun görülmüştür. Buna göre ofiyolitik melanj tabakasında içsel sürtünme açısı olarak 21° belirlenmiştir. Fakat kayma analizlerinde bu değer yerine üç eksenli basınç deneyinden elde edilen değerler kullanılmıştır. İnceleme alanından alınan UD numunesi üzerinde yapılan analiz sonucuna göre içsel sürtünme açısı 6° ve kohezyon değeri ise 60 kPa olarak verilmiş ve analizlere dahil edilmiştir. Şevin alt tabakasını meydana getiren tüftüft zeminde ise içsel sürtünme açısı 33° olarak belirlenmiş ve kohezyonu ihmal edilerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

A-A' kesitinin şev stabilitesi analizleri göz önünde bulundurulduğunda 85 metre uzunluğundaki hat boyunca 2,28m ile 4.535m arasında değişen, B-B' kesitinde 50m'lik 2.751m ile 3.445m arasında değişen ve C-C' kesitinde 50m'lik 4.586m ile 14.28m arasında değişen kalınlıklarda hafriyat çalışması yapılarak şevin eğiminin düşürülmesi ve kayma ihtimali olan kütlenin kaldırılması gerekliliği ortaya konmuştur.

Yapılan rezistivite çalışmaları neticesinde şevin alt kısımlarında yer yer sızıntı sularının olduğu tespit edilmiştir. Bu suların özellikle ilkbahar dönemlerinde kar ve yağmur sularının etkisi ile yeraltı suyu biçiminde akışa geçeceği düşünülerek stabilite analizlerine dahil edilmiştir. İnceleme alanında kayan kütlelerin bünyesinde ofiyolitik melanjda bulunan su ortamdan uzaklaştırılmalıdır. Bunun için arazide yapılacak eğim düzenlemelerinin ardından bir drenaj hattı kurulması planlanmıştır. Heyelan riskinin var olduğu tüm kesitleri (A-A', B-B' ve C-C') kapsayan drenaj hattının toplam uzunluğu 460m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. 9 Drenaj Hattını Gösterir Kroki (Gürdal, 2014)



Şekil 3. 10 Kazık Hattını Gösterir Kroki (Gürdal, 2014)

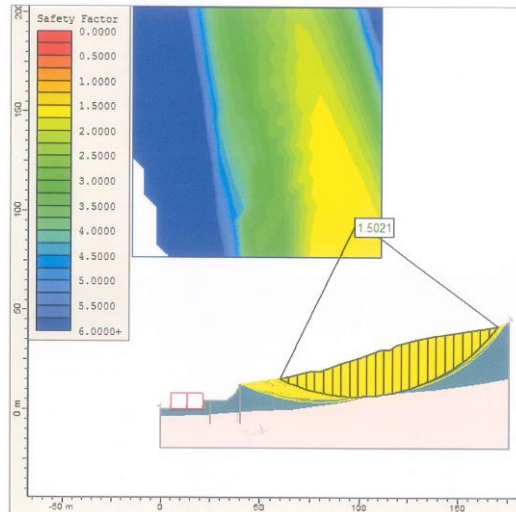
Stabilitenin korunması adına tüm kesitlerde kazık ve istinat duvarı çalışması yapılması uygun görülmüştür. İnceleme alanında yapılan eğim azaltma çalışmaları, drenaj çalışmaları da göz önünde bulundurularak A-A' kesitinin var olduğu bölümde çift sıra kazık yapılmasına karar verilmiştir. Birinci sıra kazık sırasının 45 cm çapında ve 12 m derinliğinde yapılması planlanmıştır. İstinat duvarı olarak 25 cm kalınlığında 4 m yüksekliğinde en az 1 m temel derinliğinde yapılması planlanmış ve projelendirilmiştir. B-B' kesitinde 80 cm çapında 17 m derinliğinde kazık tasarımı uygun görülmüştür. C-C' kesitinin mevcut olduğu kısımda 80 cm çapında 17 m derinliğinde kazık yapımı ve bu kısımda var olan mevcut istinat duvarının kullanımına karar verilmiştir.

Belirtilen önlemler alındığı takdirde A-A' kesitinin olduğu kısımda güvenlik sayısı 1.5021 olmaktadır. B-B' kesitinde güvenlik sayısı 2.076 ve C-C' kesitinde güvenlik sayısı 1.43'a yükselmiştir. Sonuç olarak kazıklar başta olmak üzere diğer iyileştirme çalışmaları neticesinde sistemin kayma eğilimi engellenmektedir.

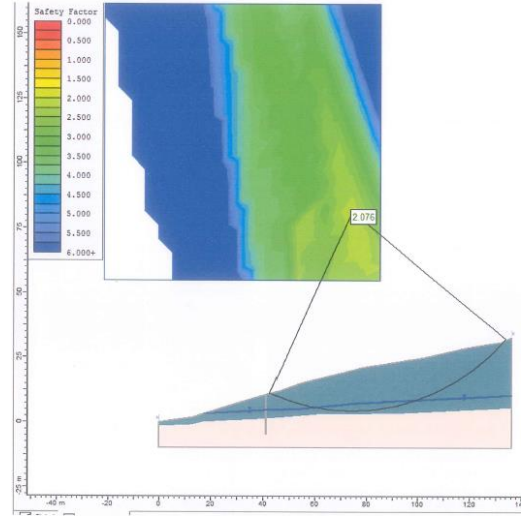
İnceleme alanında bina oturum alanını kesmeyen dairesel kaymanın varlığı tespit edilmiştir. Kayma eğilimini durdurmak adına belirtilen önlemlerin ivedilikle alınmasının gerekliliği stabilite raporunda belirtilmiştir.

Söz konusu malzeme binanın bulunduğu alana aniden gelmeyip yağışların etkisiyle yavaş yavaş geleceği düşünülmüştür. Çalışma sahasının güneyinde bulunan malzemelerin sıyrılarak ortamdan uzaklaştırılması, kuzeye eğimli mevcut şevlerin, şev eğimlerinin Kuzey Doğu yönünde eğimli hale getirilmesi ayrıca yüzey sularının drene edilip kaymanın Batı sınırında gözlenen gerilim çatlaklarının uzaklaştırılması tehlikeyi önemli ölçüde azaltması düşünülmektedir.

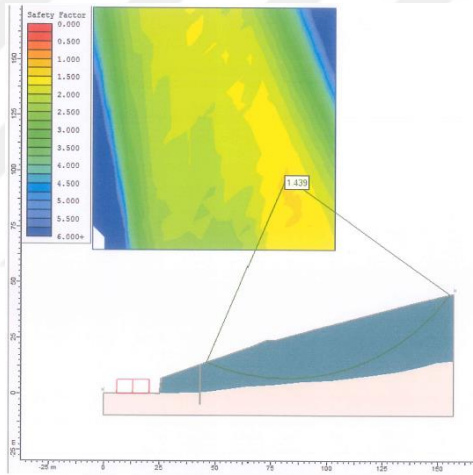
Şev bölgesindeki kaymaların topuk bölgesine ulaşması ve zarar vermesi ihtimalinin söz konusu olduğu raporda belirtilmiştir. Bundan dolayı topuk kısmında konut inşası esnasında ve sonrasında stabilite raporunda belirtilen ve hesaplamalara dahil edilen kazı derinliğinin altına inilmemesinin ve inceleme alanındaki hafriyat, drenaj, kazık ve istinat duvarı çalışmalarının tamamlanmasının ardından şev üzerinde ağaçlandırma, çimlendirme çalışmaları yapılmasının ve yakında bulunan parsellerin yapılaşmaya kapatılmasının gerekliliğine değinilmiştir. Bu projelendirme çalışması ekonomik bulunmadığı için uygulamaya geçmemiştir.



Şekil 3. 11 Şev İyileştirmesinden Sonra A-A' Kesiti Stabilite Analizleri (Gürdal, 2014)



Şekil 3. 12 Şev İyileştirmesinden Sonra B-B' Kesiti Stabilité Analizleri (Gürdal, 2014)



Şekil 3. 13 Şev İyileştirmesinden Sonra C-C' Kesiti Stabilité Analizleri (Gürdal, 2014)

3.3 Mart 2017 Zemin Etüdü ve Şev Stabilitesi Raporu

3.3.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

İnceleme alanında 2014 yılında yapılan heyelan önleme projelerinin uygulamaya geçirilmemesi ve şev yüzeyinde bilinçsizce hafriyat alımına devam edilmesiyle birlikte şevde büyük bir kayma hareketi meydana gelmiştir. Oluşan hareket neticesinde ilgili parselin tamamı kayan malzeme ile dolu hale gelmiştir.



Şekil 3. 14 Heyelan Sonrası Arazinin Görüntüsü (Mutlutürk, 2017)

Yamaçta oluşan heyelanlar neticesinde tekrardan şev tasarımı yapılmasının gerekliliğine karar verilmiştir. Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyeleri ve özel bir zemin firması tarafından 2017 yılında şev stabilitesi raporu hazırlanmıştır. Şev stabilitesi raporunda daha önceden inşaat kazısına başlandığı fakat şevde kayma eğiliminin oluşması neticesinde hafriyat çalışmalarının durdurulması adına birtakım önlemlerin alındığı belirtilmiştir. Bu önlemler; eğim azaltmak için şevde hafriyat alınması ve bu malzemenin şevin topuğuna konmasıyla birlikte ağırlığın artırılması şeklinde sağlanmıştır. Ayrıca daha önce hazırlanan şev stabilitesi raporunda konut inşaa alanının hemen arka kısmına kazık, drenaj, yük kaldırma çalışmalarının yapılmasının önerildiği belirtilmiştir.

3.3.2 İnceleme Alanında Yapılan Çalışmalar

Şevin topuk kısmında 3 blok konut ve 2 otopark şeklinde gerçekleştirilecek yapı inşası için zemin parametrelerinin tespiti amacıyla özel zemin firması tarafından inşaat sahası içerisinde her biri 15,00 m derinliğinde dokuz adet sondaj kuyusu açılmıştır. Her biri 1,5 m seviyesinde SPT deneyleri gerçekleştirilerek numuneler alınmış ve laboratuvar ortamında mekanik özelliklerinin tespiti

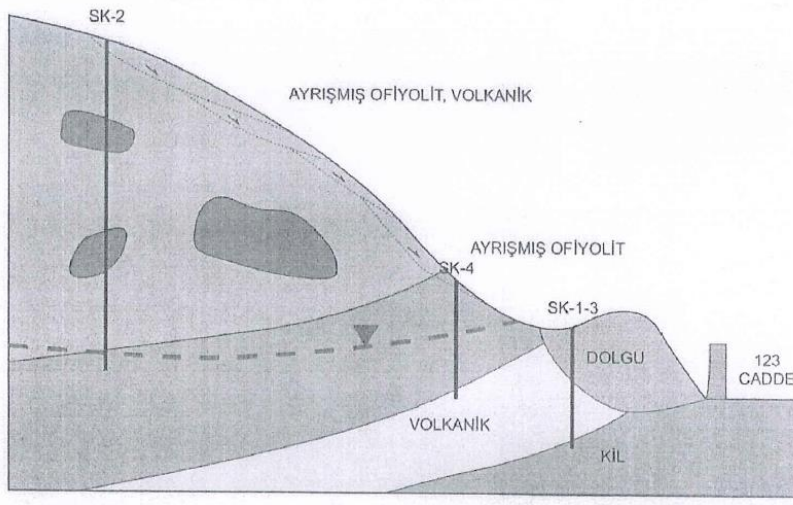
gerçekleştirilmiştir. Araziden alınan numunelerin elek analizine bağlı olarak %0,0-14,02 çakıl, %11,91-88,21 silt ve kil, %11,79-84,20 kum boyutlarında malzemeden meydana geldiği belirtilmiştir. Bu incelemeye göre zeminin cinsi siltli kum, kötü derecelenmiş kum ve silt karışımı olarak nitelendirilmiştir. Zeminin likit limiti %36-42, plastik limiti %19-25 ve plastisite indisi ise %17-20 olarak tespit edilmiştir. İnceleme alanındaki zeminin su muhtevası %8,17-24,05 olarak bulunmuştur. Birim hacim ağırlık değeri ortalaması ise $1,80 \text{ t/m}^3$ 'tür. Bu kapsamda şevin topuk kısmının detaylı biçimde zemin formasyonu belirlenmesinde ve stabilite analizlerinde kullanılmıştır.

Şev stabilitesi analizlerinin doğru biçimde yapılması adına topuk kısmında yapılan sondajlar haricinde yamaç üzerinde 4 adet toplam derinliği 93 metreyi bulan sondaj çalışması yapılmıştır. Açılan kuyularda her 1,5 metrede zeminin penetrasyon direnci ölçülmüş ve laboratuvar deneylerinin yapılması üzere numune alınmıştır. Zeminin mukavemet parametrelerinin doğru biçimde belirlenmesi adına kesme kutusu deneylerinde kullanmak üzere örselenmemiş numuneler de alınmıştır. Yamaç malzemesinin doğru biçimde tayini ve su akışının belirlenmesi yapılan saha çalışmaları üzerinden incelenmiştir.

Yapılan saha deneyleri neticesinde şevin iç düzeni var olmayan tamamen ayrılmış karmaşık birimlerden oluştuğu kanaatine varılmıştır. Ayrıışan birimlerin ana kayalarında serpantin, radyolarit, gabro ve volkanik kayaların olduğu gözlenmiştir. Yapılan sondaj çalışmalarında SK-1 ve SK-2'de yeraltı suyuna rastlanılmadığı; SK-3'de 4,50 m ve SK-4'te 3,20 m'de sızıntı biçiminde yeraltı suyu bulunduğu belirtilmiştir. Ayrıca SK-3 ve SK-4 sondajlarında serpantinlerin altında bulunan volkanik tabakalarda suyun olmadığı gözlenmiştir. Bu durumdan suyun sadece serpantin malzemenin içerisinde bulunduğu sonucu çıkmaktadır.

Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarında gerçekleştirilen deneylerde, yapılan sondajlardan temin edilen örselenmiş ve örselenmemiş numuneler kullanılmıştır. Örselenmiş numunelerden kil içeriği yüksek olan numunelerden doğal su muhtevası, dane boyutu dağılımı ve kıvam limitleri deneyleri yapılmıştır. Bu şekilde birleşik zemin sınıflandırma sistemine bağlı olarak zemin sınıfı belirlenmiştir. Örselenmemiş numunelerden

faaydalanılarak direkt kesme deneyinin yapıldığı ve zemini temsil eden mukavemet parametrelerinin elde edildiği raporda belirtilmiştir.



Şekil 3. 15 İnceleme Alanındaki Jeolojik Yapıyı Gösterir Şematik Kesit (Mutlutürk, 2017)



Şekil 3. 16 İnceleme Alanında Açılan Sondajların Şev İçerisindeki Yerleri (Mutlutürk, 2017)



S. DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
UYGULAMALI JEOLJİ
LABORATUVARI

LABORATUVAR
SONUÇ FORMU
1/1

PROJE: Emre Mah. 171/88

TARİH
08.03.2017

NUMUNE			w _L %	γ _d t/m ³	KIVAM LİMİTLERİ			ELEK ANALİZİ		ZEMİN SINIFI USCS	DİREK KESME		
											DENEYİ		
SONDAJ	NUMUNE	DERİNLİK	%		LL %	PL %	PI %	+4 %	-200 %		c kgf/cm ²	φ °	TİP
SK-1	SPT-2	3,30-3,75	17	-	32	25	7	10	60	ML	-	-	-
SK-1	SPT-6	9,00-9,45	18	-	25	22	3	12	55	ML	-	-	-
SK-1	SPT-9	13,50-13,95	22	-	28	21	7	7	57	ML	-	-	-
SK-1	UD-1	12,00-12,30	21	1,99	35	19	16	11	65	CL	0,82	2	UU
SK-2	SPT-2	3,50-3,95	16	-	24	18	6	5	67	ML	-	-	-
SK-2	SPT-11	16,50-16,95	12	-	28	17	11	4	57	ML	-	-	-
SK-2	SPT-18	27,00-27,45	16	-	35	24	11	5	63	ML	-	-	-
SK-3	SPT-4	6,00-6,45	15	-	28	21	7	27	53	ML	-	-	-
SK-3	SPT-7	10,50-10,95	16	-	33	20	13	4	58	CL	-	-	-
SK-4	SPT-6	9,00-9,45	8	-	40	20	20	2	72	CL	-	-	-
SK-4	SPT-9	13,50-13,95	14	-	36	21	15	3	64	CL	-	-	-

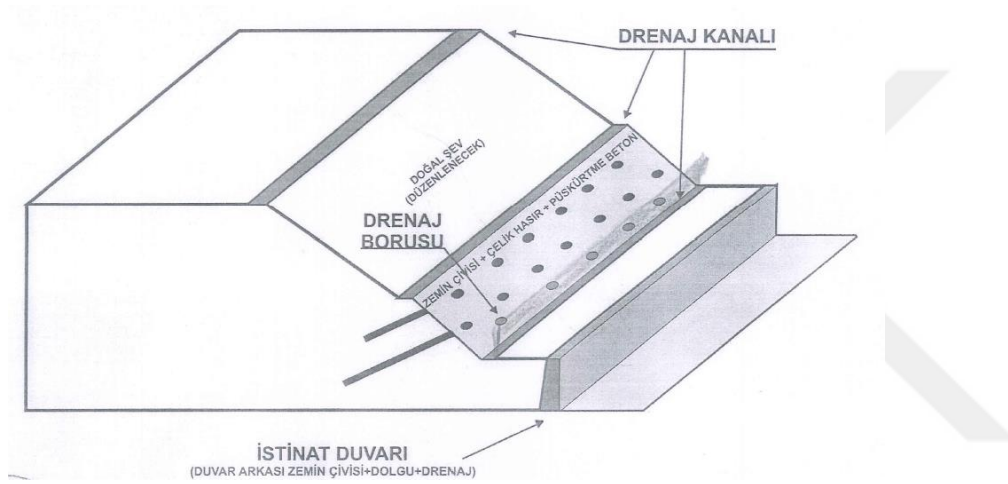
Şekil 3. 17 Şevden Alınan Numuneler ile Yapılan Laboratuvar Deneylerinin Sonuçları
(Mutlutürk, 2017)

Laboratuvar deneylerine göre zeminlerin su muhtevası %8-22 aralığında, likit limit değeri %24-40 aralığında, plastik limit değeri ise %17-25 aralığında değişmektedir. SK-1 12 m numunesiyle yapılan kesme kutusu deneylerinden elde edilen sonuca göre malzemenin kohezyon değeri 0,82 kg/cm² ve içsel sürtünme açısı ise 2 derece olarak belirlenmiştir. Ayrıca arazide gerçekleştirilen Standart Penetrasyon Deneyindeki vuruş sayılarından faydalanılarak ayrışma ve su bulunan kısımlarda mukavemet parametrelerinde azalışların oluşacağı; taban kısmındaki volkanik birimlerle parametrelerde artışların meydana geleceği belirtilmiştir.

3.3.3 Şev Stabilité Analizi

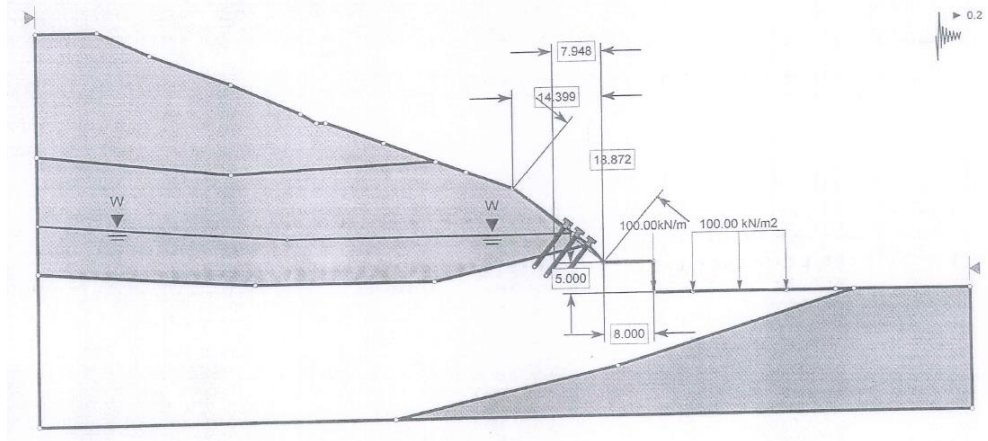
Saha deneylerine bağlı olarak inceleme alanının jeolojik yapıyı gösterir şematik kesitine raporda yer verilmiştir. Buna göre yamacın üst kısımlarında ayrışmış ofiyolit ve volkanik tabaka, orta kısımlarda ayrışmış ofiyolit alt kısımlarda ise volkanik malzeme ve kil bulunmaktadır. Volkanik malzemenin üzerinde eğim azaltma çalışmaları neticesinde ortaya çıkan hafriyat bulunmaktadır. Dolgunun hemen ön kısmında 123. Caddeye zeminin yağışlar ve gevşek zemin etkisiyle zeminin akmasını engellemek amacı ile bir taş duvar yapılması planlanmıştır.

Yapılan şev tasarımı şevin üst bölgesinde şevin eğiminin düşürülmesi ve palyelendirme çalışmalarının yapılması, şevin alt bölgesinde ise zemin çivisi, çelik hasır ve püskürtme betonla stabilize önlemlerinin alınması amaçlanmıştır. Ayrıca su akışlarının kontrol altına alınması için şevin üst kısmında orta kısmında ve alt kısmında olmak üzere üç kademeli yüzeysel drenaj sisteminin yapılması uygun görülmüştür. Şevin topuk kısmında gerçekleştirilecek yapı inşasının güvenli biçimde yapılması ve konutların ilerleyen zamanlarda oluşabilecek zemin akmalarından zarar görmesini önleyebilmek adına şevin topuk kısmına bir istinat yapısı tasarlanmıştır.



Şekil 3. 18 Şev Hareketini Önleme Amaçlı Önerilen Tasarım Projesi (Mutlutürk, 2017)

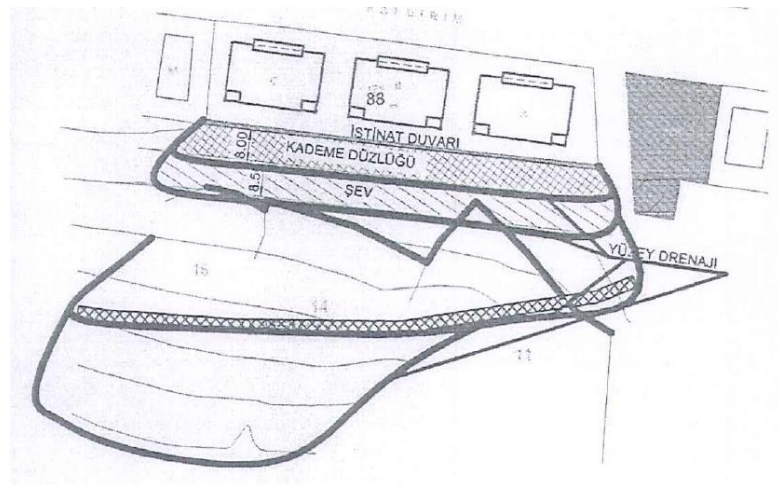
Sistemin stabilize analizlerini yaparken SLIDE v6.0 programından faydalanılmıştır. Ayırışmış volkanik ve ayırışmış ofiyolit tabakalarında genelleştirilmiş Hoek-Brown kırılma kriterinden faydalanılmıştır. Ayırışmış volkanik zemin tabakasının birim hacim ağırlığı 18 kN/m^3 , serbest basınç mukavemeti 600 kPa ; ayırışmış ofiyolit zemin tabakasının birim hacim ağırlığı 20 kN/m^3 , serbest basınç mukavemeti 3000 kPa olarak programa tanımlanmıştır. Ayırışmış kil ve kumlu kil tabakaları ise Mohr-Coulomb kırılma kriterine göre tanımlanmıştır. Ayırışmış karmaşık zemininin birim hacim ağırlığı 20 kN/m^3 , kohezyonu 85 kPa ve içsel sürtünme açısı 15 derece olarak sisteme tanıtılmıştır. Son olarak Kumlu kil zemininin birim hacim ağırlığı $19,9 \text{ kN/m}^3$, kohezyonu 82 kPa ve içsel sürtünme açısı ise ihmal edilerek analizlere dahil edilmiştir.



Şekil 3. 19 Destek Elemanlarıyla Yapılan Şev Stabilitesi Analizleri (Mutlutürk, 2017)

Yamaç hem statik olarak hem de dinamik yükler altında analize tabii tutulmuştur. Dinamik analizlerde sismik yük katsayısı olarak yatayda 0,2 değeri kullanılmıştır. Şevin topuk kısmında yapılacak konutların şev stabilitesine etkisini araştırmak adına 100 kPa büyüklüğünde ve 20 m uzunluğunda bir yayılı yük şev kesitinin topuk kısmında tanımlanmıştır.

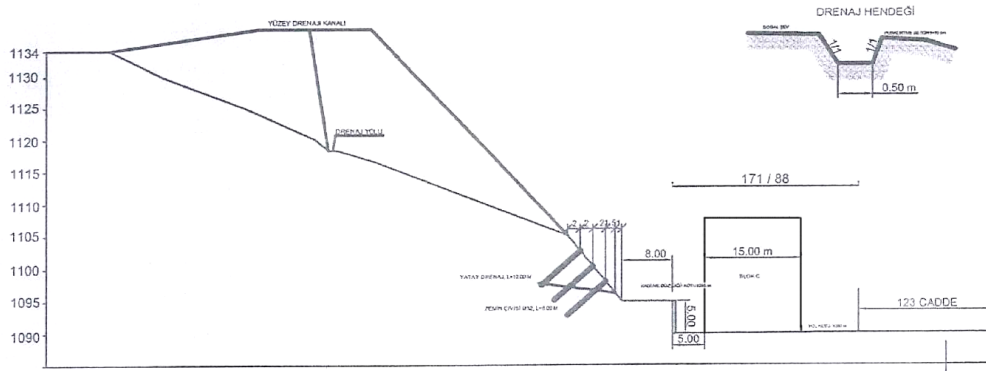
Zemin çivileri 32mm'lik 8m uzunluğunda olacak biçimde 2 m yatay 2 m düşey aralıklarla modellenmiştir. Bu imalat gerçekleştirildikten sonra üzerine Q317/317 hasır çelik serilmesi ve 10 cm kalınlığında BS20 standartında püskürtme beton uygulanması ile güvenlik tedbirlerinin alınması planlanmıştır. Stabilite analizleri bu tahkimat elemanları göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 20 Şev Hareketini Önleme Amaçlı Önerilen Tasarım Projesi Plan Görüntüsü (Mutlutürk, 2017)

İlgili parselin arka kısmında yüksek eğimli bir şev olduğu düşünüldüğünde sızıntı suyunun debisi özellikle ilkbahar aylarında artışa geçeceği ve zeminin kayma mukavemetini azaltıp şevin stabilitesini olumsuz yönde etkileyeceği düşünülmektedir. Bu yüzden arazide drenaj projesinin geliştirilip uygulamaya geçirilmesi oldukça önemlidir. Suyun uzaklaştırılması ile yamaçtan gelecek suyun konutların temeline dolması ve kayma eğiliminin azaltılması sağlanmalıdır.

Yeraltı suyunun etkilerinden korunmak adına hem yüzeysel hem de derin drenaj sistemleri modellenmiştir. Yüzeysel drenaj sistemlerinin yapımı esnasında drenaj yüzeyinin yüzey suyunu şev topuğuna kadar aktarabilecek niteliğe sahip olacak şekilde betonla kaplanması ve oluşturulacak drenaj hendeğinin 1/1 şev eğimine sahip 0,50 m derinliğinde yapılmasının gerekliliği ve derin drenaj sisteminin zemin çivilerinin olduğu kısımda 12 m olarak yapılmasının gerekliliği belirtilmiştir. Yatay olarak oluşturulacak bu sistemde açılacak deliklerin minimum 100 mm çapında olması, içine drenajı sağlayacak özellikteki perfore PVC boruların yerleştirilmesi ve boru çevresine tekstil sarılmasının gerekliliğine değinilmiştir.



Şekil 3. 21 Yapılması Planlanan Drenaj Projesi ve Hendeğin Detayları (Mutlutürk, 2017)

Şev tasarımının ardından yapılan stabilite analizleri sonucunda Basitleştirilmiş Bishop Metodundan faydalanılarak güvenlik sayısı elde edilmiştir. Buna göre sistemin kaymasını engelleyici momentlerinin toplamı 824360 kNm ve sistemin kaymasına imkan veren momentlerin toplamı 728610 kNm olarak bulunmuştur. Kaymayı engelleyici momentlerin kaymaya imkan tanıyan momentlere oranı 1.131420 bulunmuştur.

İlgili şev tasarımı ve heyelan önleme projesinin idare tarafından uygun görülmemesi ve projelendirme esnasında tekrar şevde hareketlenmelerin oluşmasından kaynaklı geometrinin değişmesi sebebi ile önlem projesi uygulamaya geçirilmemiştir.

3.4.1 Çalışma Amacı ve Kapsamı

Bu rapor Eylül 2017 tarihinde ilgili parsel çevresinde meydana gelen şev hareketlerinin incelenmesi ve önlem projesinin sunulması amacıyla Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği öğretim üyeleri ve özel bir firma tarafından hazırlanmıştır. Arazide geçmiş yıllarda bilinçsiz kazıların yapılması ve zeminin fiziksel yapısıyla ilişkili olarak heyelanlar meydana gelmiştir. Şevin topuk bölgesinde 3 blok konut ve 2 otoparktan meydana gelen yapı inşası gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için parsel içerisine dolan heyelan malzemesinin kaldırılması gerekmektedir.



Heyelan sonrası kayan zemin kütlesinin şevin topuk bölgesinde biriktiği gözlenmiştir. Şevin topuk bölgesinde konut inşasının yapılması için temel alt kotuna kadar kazı yapılması gerekmektedir. Kayan zeminin kaldırılmasıyla birlikte tekrar stabilite problemlerinin meydana gelmesi muhtemeldir. Bu nedenle şev stabilitesi analizlerinin yapılması ve önlem projesinin uygulanması önem arz etmektedir.

Bu çalışmada özel bir zemin firması tarafından şevin ilgili tarihteki mevcut stabilitesi değerlendirilmiş, ardından yapı inşası için yapılması gereken temel kazısı neticesinde şev stabilitesindeki değişim yorumlanmıştır. Ardından Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği öğretim üyeleri tarafından kazı öncesinde ve sonrasında alınması gereken önlemleri konu alan bir raporu hazırlanmıştır. Bu rapor ilgili idare tarafından onaylanmış ve yerinde uygulamaya geçirilmiştir.

3.4.2 İnceleme Alanında Yapılan Çalışmalar

İnceleme alanında şevin topuk bölgesinin başka bir deyişle temelin altındaki zeminin özelliklerinin belirlenmesi adına 2 adet 20 metre derinliğinde 2 adet 15 metre derinliğinde olmak üzere toplam 70,0 m derinliğinde dört adet sondaj çalışması yapılmıştır. Sondaj çalışmalarında her 1,5 metrede SPT deneyi yapıp örselenmiş numuneler alınmıştır. Bu numuneler özel bir zemin laboratuvarında deneylere tabii tutulmuştur.



Şekil 3. 23 Şevin Topuk Bölgesinde Yapılan SPT Deneyleri (Gürdal, 2017)

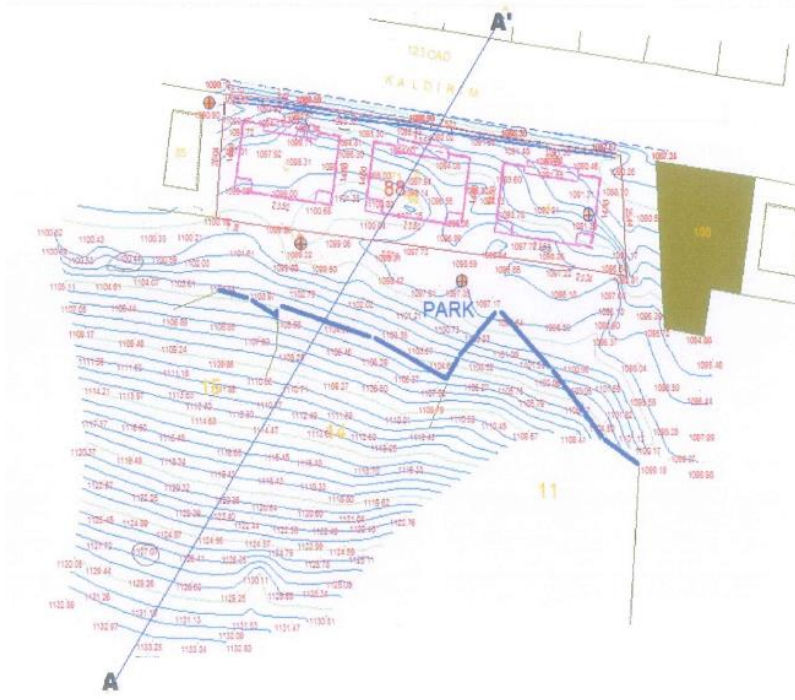
Yapılan sondaj çalışmalarında SK-1 ve SK-2 sondaj kuyularında yaklaşık ilk 10 metrede Ofiyolitik Melanj, alt kısımlarında ise Gölçük formasyonuna ait kum, kil ve pomza karışımı Tüf-Tüfit malzemeden meydana geldiği; SK-3 ve SK-4 sondaj kuyularında yaklaşık ilk 4 metrede Ofiyolitik Melanj, alt kısımlarında ise Tüf-Tüfit malzemeden meydana geldiği gözlenmiştir.

Numune				Elek Analizi Yüzde Geçen TS 1900-1			Hidrometre TS 1900-1		e Atterberg Limitleri TS 1900-1			SINIF (TS 1500 / ARALIK 2000)	Örgül Ağırlık TS 1900-1	Birim Hacim Kütlesine TS 1900-1	Su Muh. TS 1900-1	Serbest Basınç TS 1900-2	Uç Eksenli Kesme (UU) TS 1900-2	Direkt Kesme Testi TS 1900-2			
No	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	No:10 kalan %	No:200 geçen %	No:40 kalan %	Kil %	Silt %	LL %	PL %	PI %		Ge	17892.2 g/cm ³	W(n) %	qu kg/cm ²	C kg/cm ²	C kg/cm ²	φ derece	C kg/cm ²	φ derece
1	SK-1	SPT	3,00	19,5	45,0	39,2			NP	NP	-	SM		1,89	22,5					0,27	19
2	SK-1	SPT	6,00	54,2	23,0	65,7			NP	NP	-	GM		1,95	16,2					0,08	31
3	SK-1	SPT	9,00	16,0	38,6	37,3			54,8	26,5	28,3	SC		2,01	18,9					0,73	15
4	SK-1	SPT	12,00	6,5	67,5	14,7			52,1	23,9	28,2	CH		1,91	24,3					0,81	9
5	SK-1	SPT	15,00	24,0	32,9	46,5			NP	NP	-	SM		1,90	9,4					0,23	17
6	SK-2	SPT	4,50	37,6	28,4	53,8			NP	NP	-	GM		1,98	23,7					0,15	28
7	SK-2	SPT	7,50	24,2	46,6	37,8			55,3	24,6	30,7	SC		1,95	19,5					0,79	13
8	SK-2	SPT	10,50	17,2	46,6	33,5			53,4	23,9	29,5	SC		2,03	15,4					0,81	12
9	SK-2	SPT	13,50	22,1	48,2	33,8			43,0	20,6	22,4	SC		1,94	19,2					0,76	14
10	SK-2	SPT	16,50	73,8	11,1	82,7			NP	NP	-	GW-GM		2,07	10,6					0,03	35
11	SK-3	SPT	1,50	31,0	30,0	46,6			NP	NP	-	SM		1,93	18,0					0,32	18
12	SK-3	SPT	3,00	9,5	53,5	23,5			40,7	20,9	19,8	CI		1,90	19,1					0,69	8
13	SK-3	SPT	4,50	25,7	35,8	46,8			NP	NP	-	SM		1,79	27,9					0,30	17
14	SK-4	SPT	6,00	31,1	28,9	53,8			NP	NP	-	SM		1,78	35,9					0,21	20
15	SK-4	SPT	9,00	23,9	34,2	45,9			NP	NP	-	SM		1,88	13,8					0,23	21
16	SK-4	SPT	12,00	32,9	41,3	45,6			NP	NP	-	GM		2,01	17,2					0,28	19

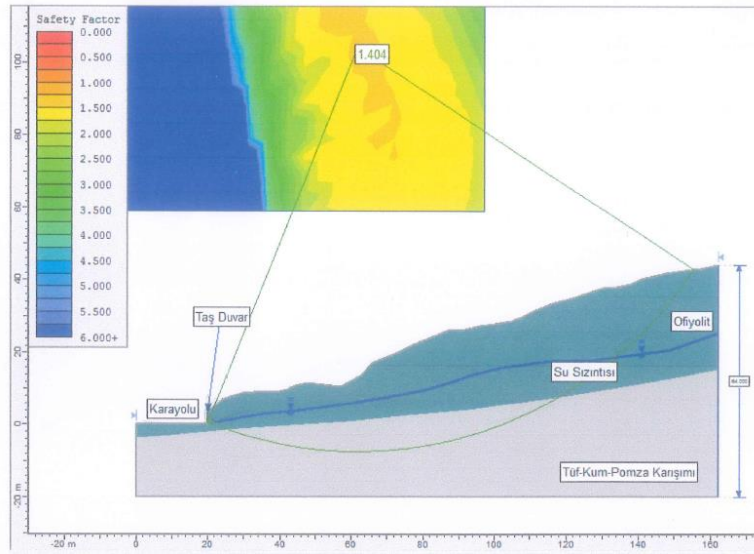
Şekil 3. 24 Şevin Topuk Kısmından Alınan Numunelerin Toplu Deney Sonuçları (Gürdal, 2017)

3.4.3 Şev Stabilitesi Analizleri

İnceleme alanında oluşan heyelanın ardından ilgili parsel kayan ofiyolitik malzeme ile dolmuştur. Bu sebeple ilgili parselin ve çevresinin değişen topografyasına bağlı olarak bölgenin kotları çıkarılmıştır. Şev stabilitesi analizini yapan firma önceki deney verileri ve şevin topuk bölgesinde gerçekleştirilen arazi deneylerinden faydalanıp çalışmasını gerçekleştirmiştir. Ayrıca sondaj çalışmaları ile kayan kütlenin kalınlığı belirlenmiştir. İnceleme sınırlarını kapsayan plan üzerinde en yüksek eğime sahip ve aynı zamanda konut inşasını tehdit eden kesit araştırılmış ve A-A' kesiti çıkarılmıştır. Bu kesit üzerinde stabilite analizleri gerçekleştirilmiş ve minimum güvenlik sayısına sahip kayma daireleri elde edilmiştir. Şevin topuk bölgesinde hafriyat alınmadan önce şevin güvenlik sayısı 1.404 olarak bulunmuştur. Bu şartlar altında mevcut durumda şeve hiçbir müdahale yapılmadığı takdirde stabilite problemi beklenmemektedir.



Şekil 3. 25 İnceleme Sınırı ve Şev Analizi Yapılan A-A' Kesit Doğrultusu (Gürdal, 2017)

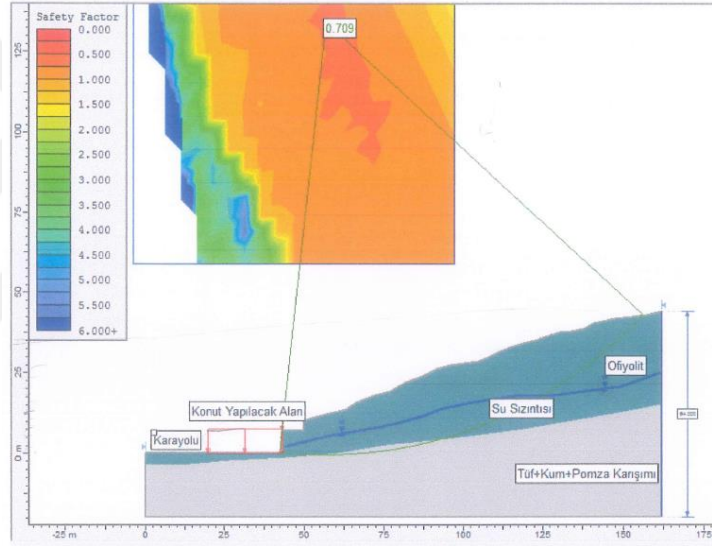


Şekil 3. 26 A-A' Kesiti İlgili Parsel ve Çevresinin Mevcut Hali (Gürdal, 2017)

İlgili parselde mevcut durumda herhangi bir kütle hareketi beklenilmemesine karşın yapılacak hafriyat çalışmaları ile şevin topuk bölgesi yol kotuna kadar indirildiğinde şevin stabilitesi bozularak duraysız hale gelmektedir. Meydana gelecek hareketleri önlemek amacıyla palyelendirme dahi yapılsa sızıntı

suyu ve mevsimsel yeraltı suyu akışlarının ofiyolitik malzeme içerisine sızmasıyla kayma eğilimi meydana gelmektedir. Bu durumda şevin güvenlik sayısı $GS=0,709$ olmaktadır.

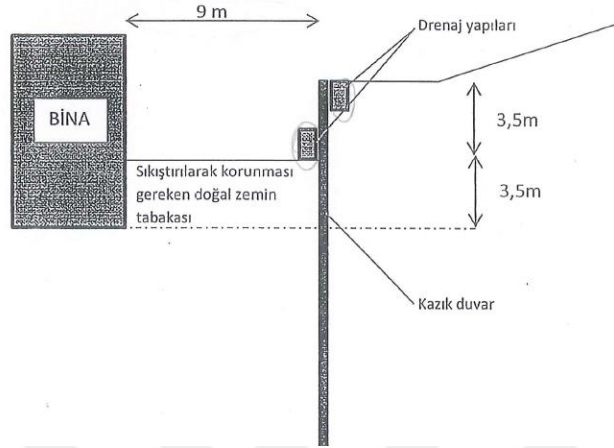
Hafriyat alınmasının ardından şevin güvenlik sayısının 1'in altına düşmesiyle birlikte ilgili parsel ve çevresinde tekrar kütle hareketlerinin meydana gelmesi beklenmektedir. Bu nedenle ilgili parsel ve çevresinde hafriyat çalışmalarına başlamadan önce gerekli hesaplamaların yapılması ve geoteknik projenin hazırlanmasının gerekliliği raporda belirtilmiştir. Hazırlanacak geoteknik projedeki iyileştirme metotlarına sadık kalınarak şevin stabilitesinin sağlanması ve ardından hafriyatın alınmasının gerekliliğine değinilmiştir.



Şekil 3. 27 A-A' İlgili Parsel ve Çevresinde Konut Yapımı İçin Hafriyat Alınmış Hali (Gürdal, 2017)

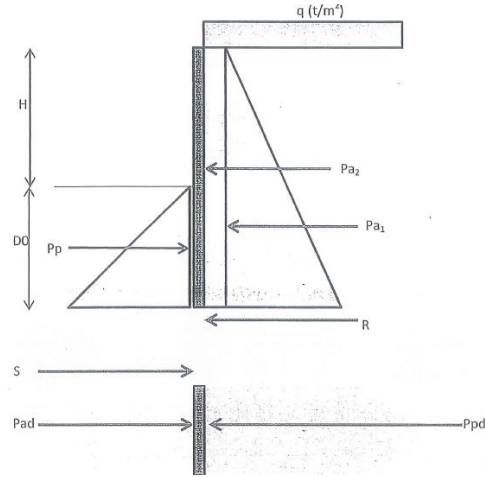
İlgili parselde özel zemin firmasının hazırlamış olduğu veri raporu ve şev stabilitesi tahkikleri göz önünde bulundurularak Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği öğretim üyeleri tarafından hafriyatın güvenli şekilde alınabilmesi ve arazinin genel güvenilirliğinin sağlanması adına şev iyileştirme projesi hazırlanmıştır. Hesaplamalarda kullanılacak olan zemin parametrelerinin seçiminde Aralık 2014, Mart 2017 ve Eylül 2017 çalışmalarından elde edilen arazi ve laboratuvar deneyi sonuçları kullanılmıştır. Hazırlanan raporda laboratuvar ve arazi deney sonuçlarında farklılıklar olduğu ve bu nedenle hesaplamalarda en kritik değerlerin kullanıldığı belirtilmiştir. Buna

göre bina ile kazık arasında 9 metrelik mesafe bırakılması planlanmıştır. Ara mesafenin konut inşasının ardından sıkıştırılarak korunması sağlanmasının; kazığın şev ve bina tarafında da olacak biçimde yüzeysel drenaj borularının yerleştirilmesinin gerekliliğine değinilmiştir.



Şekil 3. 28 Parselde Uygulanması Planlanan Kazı Kesiti (Keskin vd., 2017)

Raporda kalıcı duvarların boyutlandırılmasında drenajlı (efektif) kayma mukavemeti parametrelerinin kullanılması gerekliliği belirtilmiştir. Fakat Aralık 2014 Mart 2017 ve Eylül 2017 raporlarında üç eksenli CD deneyinin yapılmaması sebebiyle efektif kayma mukavemeti parametrelerine elde edilememiştir. Analizin doğruluğu adına önceki raporlarda verilen zemin profilleri dikkate alınarak literatür taranmış ve yapılan analizlerde içsel sürtünme açısının 25 derece, birim hacim ağırlığının 19 kN/m^3 alındığı belirtilmiştir. Yapılması planlanan kazıklar 80 cm çapında 18 metre uzunlukta, inşaat aşamasında 7 metresi; inşaat bitiminde ise 3,5 metresi konsol çalışacak biçimde projelendirilmiştir. Bu şartlar altında yapılan sonlu elemanlar analizleri neticesinde maksimum momentin kazık başına 764 kNm ve kesme kuvvetinin 420 kN olduğu hesaplanmıştır. Bu değerlerden faydalanarak betonarme hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 3. 29 Boyutlandırma Hesaplarında Kullanılan İdealize Edilmiş Tesir Kuvvetleri Diyagramı (Keskin vd., 2017)

Sistemde C30 betonu ve S420 çeliği kullanılması planlanmıştır. Kazıkların kayma ve eğilmeye karşı betonarme hesapları aşağıdaki bağıntılardan faydalanılarak yapılmıştır:

$$V_d = 420,00 \text{ kN/kazık} \quad (3.5)$$

$$V_{cr} = 0,65 * f_{ctd} * b_w * d = 0,58 * 0,35 * \frac{\sqrt{30}}{1,5} * 0,80 * 0,75 = 444,75 \text{ kN/kazık} \quad (3.6)$$

f_{ctd} birimi kN/m^2 olmak üzere, kesitin dairesel olmaması sebebiyle 0,65 yerine

$$0,65 * \frac{1,33}{1,5} = 0,58 \text{ alınmıştır.}$$

$V_{cr} = 444,75 \text{ kN/kazık} > V_d = 420,00 \text{ kN/kazık}$ olduğu için iksa sistemi kayma açısından güvenli bulunmuştur.

$$M_d = 784,00 \text{ kNm/kazık} \quad (3.7)$$

36 ϕ 16 donatısı seçilmesi durumunda $A_s = 7236 \text{ mm}^2$ çıkmaktadır.

$A_{s\ min}$ minimum donatı alanı, ρ_{min} minimum donatı oranı ve A_c betonarme kesit alanı olmak üzere;

$$A_{s\ min} = \rho_{min} * A_c = 0,01 * \frac{\pi * D^2}{4} = 5024\ mm^2 \quad (3.8)$$

$A_s = 7236\ mm^2 > A_{s\ min} = 5024\ mm^2$ olduğu için sistemde minimum donatı kuralı sağlanmaktadır.

Arazide yeraltı ve sızıntı sularının olumsuz etkilerinin önüne geçmek için kesişen (sekant) ya da teğet (tanjant) kazık tasarımı yerine aralıklı kazık tasarımı önerilmiştir. Kazıklar arası mesafenin merkezden merkeze 100 cm yapılması ve kazıkların birbiriyle bağlantısını sağlamak için kazık üst uçlarına 50 cm kalınlığında başlık kirişi imal edilmesi planlanmıştır.

Yapılması gereken proje ilgili idare tarafından onaylanmış ve uygulamaya geçirilmiştir. Bunun yanı sıra kazık duvarının arka ve ön cephesinde uygun drenaj sistemleri kullanılmalı ve suyun uzaklaştırılması gereklidir.

4. BÖLÜM GEVŞEK ZEMİNDEN MEYDANA GELMİŞ ŞEVLERİN TASARIMI VE PROJELENDİRİLMESİ ÜZERİNE VAKA ANALİZİ

4.1 Şevde Geçmişte Yapılan Çalışmalar ve Oluşan Heyelanlar

Geçmişte şevin topuk bölgesinde üç blok ve iki otoparktan meydana gelen konut inşası yapılması planlanmıştır. Bu çalışmanın şev açısından güvenli şekilde gerçekleştirilebilmesi için ilk olarak Ağustos 2014 döneminde özel bir zemin firması tarafından saha ve laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiş ve şev stabilitesi raporu hazırlanmıştır. Bu raporda şevin iyileştirme yapılmaksızın topuk bölgesinde kazı yapılırsa duraysız hale geleceği ve iyileştirme projesine ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Mal sahibinin izinsiz yapmış olduğu kazılar neticesinde mevsimsel olarak açığa çıkan sızıntı suyunun da etkisiyle şevde bölgesel hareketler meydana gelmiştir.

Oluşan hareketlerin ardından iyileştirme projesinin mecburiyet haline geldiği açık hale gelmiştir. Bu nedenle Aralık 2014 döneminde özel bir geoteknik firması tarafından şev stabilitesi ve şev tasarım raporu hazırlanmıştır. Bu rapora göre arazinin mevcut durumu değerlendirilmiş; ardından yapılacak iyileştirmeler sonrası şevin durumu analiz edilmiştir. Çalışmada heyelan bölgesi olarak tanımlanan bu şevin yaklaşık 43 metre yüksekliğe sahip olduğu belirtilmiştir. Şev topuğunda kazı yapılmasının ancak çift sıra kazık projesi ve drenaj çalışmalarının gerçekleştirilmesiyle mümkün olacağı belirtilmiştir. Proje ekonomik bulunmadığı için uygulamaya geçirilememiştir.

Şev üzerindeki üçüncü çalışma Mart 2017 döneminde Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği öğretim üyeleri tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada temel kazısı öncesi konut inşasının arka kısmında bulunan şevin duraylılığını sağlamak için zemin çivisi ve çelik hasırdan ayrıca drenaj sistemlerinden faydalanarak tahkimat yapılması tavsiye edilmiştir. Zemin çivilerinin şevin içerisinde bulunan andezit bloklara ankrajlanması hedeflenmiştir. İdare Ofiyolit Karmaşığı içerikli zemin içerisinde çivilerin efektif bir çalışmaya sahip olmayacağını öngörmüş ve bu proje uygulamaya geçirilememiştir.

Arazide sızıntı sularının stabiliteyi azaltıcı etkisinden ötürü 2014-2017 yılları arasında birçok bölgesel hareket oluşmuştur. Bu hareketlenmeler neticesinde şevin üst kısmında bulunan parsellerde çekme çatlakları ve kayma hareketleri meydana gelmiştir.

Eylül 2017 döneminde Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri tarafından kazıklı iksa duvarı ve drenaj projesi hazırlanmıştır. Kayan zeminin de üzerinde bulunduğu 44 metre yüksekliğindeki şevin stabilitesinin sağlanması adına 18 metre derinliğinde kazıklı duvar şeklinde bir iksa yapısının projelendirilmesi yapılmıştır. Projenin aslında üstyapı ve kazık hattı arasında pasif direnç oluşturacak biçimde yatayda 9 metrelik mesafe bırakılmıştır.

Sahada kazıkların imalat projesine uygun başlatıldığı fakat projede belirtilen kazık hattına sadık kalınmayıp eğri bir hat üzerinde imalatın devam ettirildiği gözlenmiştir. Başka bir deyişle projedeki 9 metrelik pasif direncin oluşacağı alana uygun imalat yapılmamıştır. Ayrıca projede var olmamasına rağmen kazıkların 1 metresinin istinat duvarı amacıyla kullanılmak üzere duvar haline dönüştürülerek konsol çalışan kısmın derinliğinin artırıldığı gözlenmiştir. Temel kazısından çıkarılan toprağın kazığın üst kısmına yığılmasıyla birlikte projelendirme dışında bir yükleme durumu söz konusu olmuştur.

Kazık imalatı sonrasında pasif direnci yok edecek şekilde kazıkların tam önünden temel kazısına başlanmıştır. Projelendirme safhasında kazığın en fazla 3,5 metre konsol çalışacağına dair hesaplamalar yapılmasına rağmen sahada kazıkların ön bölgesi olması gerekenden 3 ile 4 metre daha fazla kazılmıştır. Yapılan hatalı uygulamalar neticesinde kazıkların 4 ile 6 metre derinlikte kesme kırılmasına maruz kaldığı gözlenmiştir. Kazıklarda meydana gelen bu olay şevde büyük bir kütle hareketi meydana getirmiştir.



Şekil 4. 1 2019 Yılında Yapılan Kazıkların Temel Kazısı Sonrası Kırılması (Batı Yönü)
(Pala, 2019)



Şekil 4. 2 2019 Yılında Yapılan Kazıkların Temel Kazısı Sonrası Kırılması (Doğu Yönü)
(Pala, 2019)

Bununla birlikte proje sahasının batısında bulunan betonarme karkas yapının taşıyıcı sisteminde ve yapı temelinde çatlama veya yatayda kayma durumu gözlenmemiştir. Aynı şekilde meydana gelen heyelan ile birlikte proje alanı önünde bulunan yolda bir kabarma veya çatlama oluşmamıştır. Bu durumlar göz önüne alındığında şevde oluşması muhtemel kayma dairesinin, yapı temellerinin inşa edileceği kısma ulaşmadığı sonucu çıkarılabilir. Kaymalar kazıkların kırılması sonrası yüzeydeki zayıf malzemenin hareketinden kaynaklanmış ve şev içerisinde gerçekleşmiştir.

Arazinin düzenlenmesi ve tekrar inşaat yapılabilmesi için güvenli ve müsait bir hale getirilebilmesi için Eylül 2020’de projelendirme çalışmaları yapılmıştır. Mevcut durumdaki şevi düzenlemek ve palyelendirmek üzerine hafriyat çalışmaları gerçekleştirmiştir. Sahada temel alt kotuna kadar kazı gerçekleştirilmiş fakat kırılan kazıkların alt kısmının görev yaptığı düşüncesiyle temizleme yoluna gidilmemiştir. Ayrıca kırılan kazık hattının arka bölgesine stabiliteyi korumak amacıyla 6 ile 8 metre arasında değişen genişliğe sahip palyelendirme çalışması yapılmıştır.

Sahada önceden yapılan arazi deneyleri de göz önüne alındığında şevi meydana getiren, kaymaya müsait Ofiyolitik Melanj içerikli zeminin temel kotunda sona erdiği gözlenmektedir. Yapılan gözlemlerle birlikte arazide mevcut durumda toptan göçme riski bulunmadığı tespit edilmiş fakat 43 metre yüksekliğe sahip şevin temel kazısı yapılması durumunda meydana gelecek stabilite kayıplarını önlemek adına ek tahkimatların yapılmasının gerekliliğine kanaat getirilmiştir.

Çalışmanın sonraki bölümlerinde şevle alakalı önceden yapılmış çalışmalardan da faydalanarak meydana gelen toprak kaymaları sonrasındaki mevcut durumun stabilitesi incelenmiş ve şevin topuk bölgesinde gerçekleştirilmesi planlanan konut inşasının güvenli şekilde yapılabilmesi için arazinin şev tasarımı ve projelendirilmesi sağlanmıştır.



Şekil 4. 3 2019 Yılı Heyelan Sonrası Şevin Üstten Görünümü (Kuzeybatı Yönü) (Pala, 2019)



Şekil 4. 4. 2019 Yılı Heyelan Sonrası Şevin Üstten Görünümü (Kuzeydoğu Yönü) (Pala, 2019)

4.2 Şevin Güncel Zemin Koşulları

4.2.1 Şevin Geometrisi

Sahada malzeme ve geometri yönünden en kritik görülen kesimden alınan A-A' kesiti hazırlanmış ve analizler bu kesit üzerinden gerçekleştirilmiştir. İncelenen şevin eğimi % 0-35° arasında değişmektedir. En yüksek 1132,00 m ve en düşük kotu 1089,00m dir. Toplam şev yüksekliği yaklaşık 43,00 metredir. Şevin kritik kesiti ve drone görüntüsü incelendiğinde yapılan hafriyat çalışmaları sonrasında şevin 30-35 derece eğime kadar yatırılıp palyelendirilerek düzenlendiği gözlenmektedir.

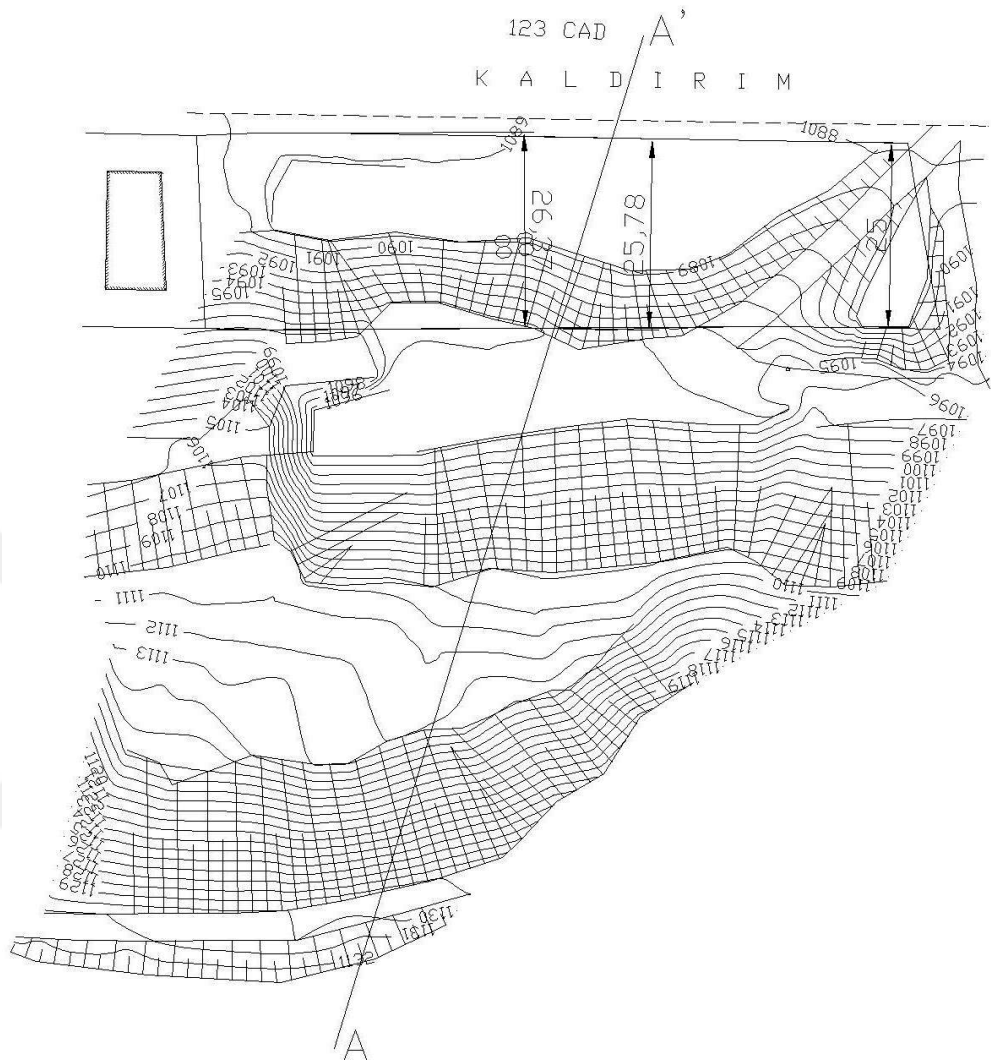
Proje çalışmaları devam ederken mal sahibi sonbahar döneminde yağışlar artışa geçmeden şevin topuk bölgesinin düzenlenmesi adına sahadaki kazılara devam etmeyi tercih etmiştir. İlk durumda 18 metre olarak ön tarafta imal edilen kazıklar, güncel durumda 4 metresinin kırılması neticesinde zemin içerisinde 14 metre boyunda kalmıştır.



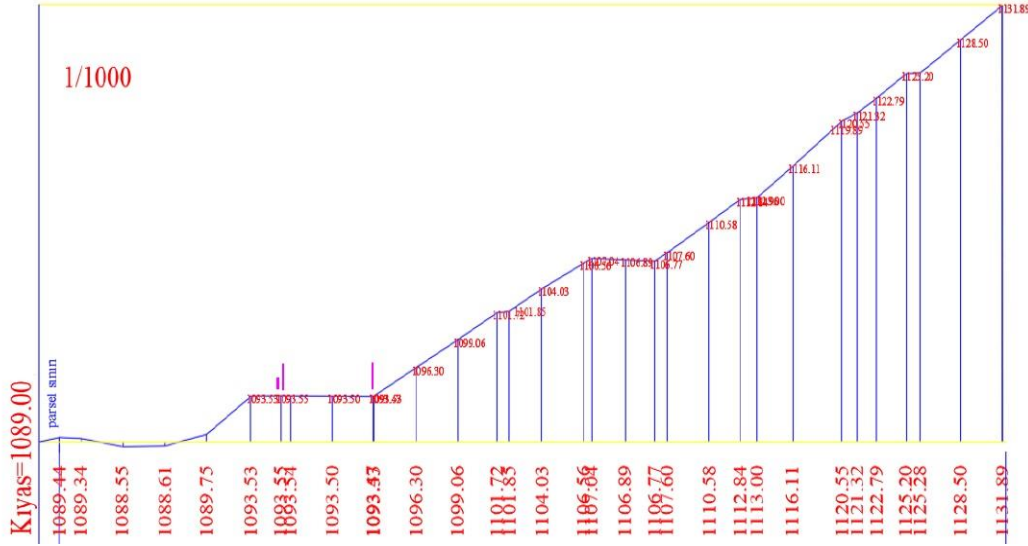
Şekil 4. 5 Drone ile Çekilmiş Şevin Eylül 2020 Görüntüsü (Kuzeydoğu Yönü) (Pala, 2020)

Mevcut kazıkların arkasına ise +3,5 metre kotunda bulunan palyede önlem amaçlı tuf tabakasına soketlenecek 9 metre uzunluğunda, 62 adet, 100 santimetre

çapında, merkezden merkeze 1,30 metre aralıklı fore kazık hattının yapılması öngörülmüştür. Şev stabilitesi analizleri bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 6 Analizleri Gerçekleştirilecek Şevin Plan Görüntüsü



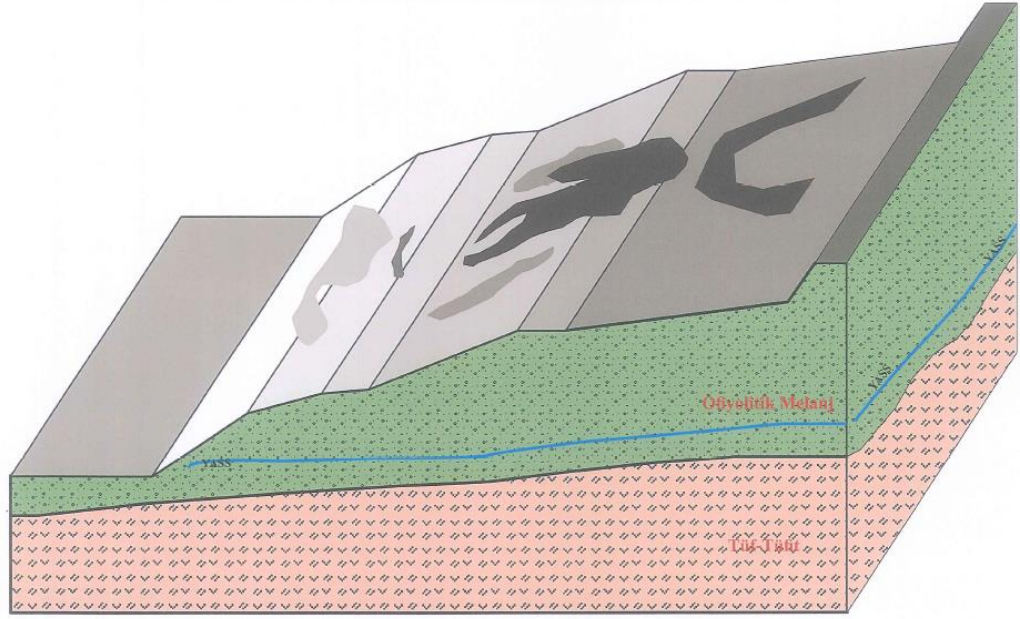
Şekil 4. 7 Şevin Kritik Kesiti (A-A' kesiti)

4.2.2 İnceleme Alanının Jeolojisi

4.2.2.1 İnceleme Alanında Yapılan Saha Deneyleri

İnceleme alanındaki zemin formasyonunun ve mekanik özelliklerinin tespiti için geçmişte birçok arazi ve laboratuvar deneyi yapılmıştır. Ağustos-Eylül 2014 döneminde 16,00-27,00 metre derinliğinde 7 adet sondaj çalışması, Mart 2017 döneminde toplam şevin topuk ve orta kısmında 93 metre derinliğinde 4 adet, aynı şekilde şev topuğunda ek olarak 2 adet 15 metre derinliğinde sondaj çalışması, Eylül 2017 döneminde 15 metre derinlikte 9 adet sondaj çalışması yapılmıştır.

Şevin stabilitesinin değerlendirilebilmesi için toplamda yaklaşık 400 metrelik sondaj çalışması yapılmış ve hesaplamaların yapılabilmesi için şevin jeolojik kesiti oluşturulmuştur. Buna göre proje sahasında jeolojik olarak şevin üst kısmından itibaren ayrılmış serpantin, radyolorid, volkanik siltli kil, serpantin olarak tanımlanan birimler bulunmaktadır. Bu birimlerin altında ise temel kotu seviyesinden başlayan Gölcük volkanizmasına ait tüf tüfit ve pomza yerleşmiştir. Şevde ofiyolit karmaşığı içerisinde sızıntı şeklinde bulunan yeraltı suyu şevin topuk bölgesine açığa çıkmaktadır. Yağış miktarının artışı geçtiği dönemlerde açığa çıkan sızıntı suyu artış göstermektedir.



Şekil 4. 8 Heyelan Riskli Bölgenin Jeolojik Kesiti (Mutlutürk, 2017)

4.2.2.2 İnceleme Alanının Bölgesel Jeolojik Özellikleri

İlgili parsel mevcut imar planında Isparta ilinin, Emre Mahallesiinde bulunmaktadır. İnceleme konusu olan alan jeolojik olarak Isparta Ofiyolitik Karmaşığı olarak bilinen birim yer almaktadır. Bu birim üzerinde ise ova alüvyonları ile Gölcük volkanizmasına ait tuf, tüfit ve pomzalar gelir. Isparta Ofiyolitik karmaşığı, içerisinde değişen boyutta kaya birimlerini blok olarak bulunduran, kuvvetli tektonikle karışmış, çok renklilik sunan, genelde yeşil rengin hakim olduğu, yer yer olistostromal özellikler gösteren, bazik-ultrabazik kayalardan oluşmaktadır. Bu kayalar başlıca radyolarit, çört, serpantinit, gabro, diyabaz, konglemera ile kireçtaşı bloklarından oluşur ve bol çatlaklı, makaslanmış ve ileri derecede kıvrılmıştır. Serpantinitler açık ile koyu yeşilimsi, kaygan yapılı, yaygın makaslama yüzeylidir.

Ofiyolitik karmaşık (Of) tanımı ve yayılımı incelendiğinde birim, araştırma sahasının dışında Isparta-Burdur arasındaki Gökçebağ'dan "Gökçebağ karmaşığı" olarak tanımlanmıştır (Sariz, 1985). Daha sonra (Yalçinkaya, 1989) ve (Karaman, 1994) tarafından "Isparta ofiyolit karmaşığı" ismi uygun görülmüştür. (Görmüş ve Özkul, 1995) ise karışık teriminin melanj karakterindeki kayalar için

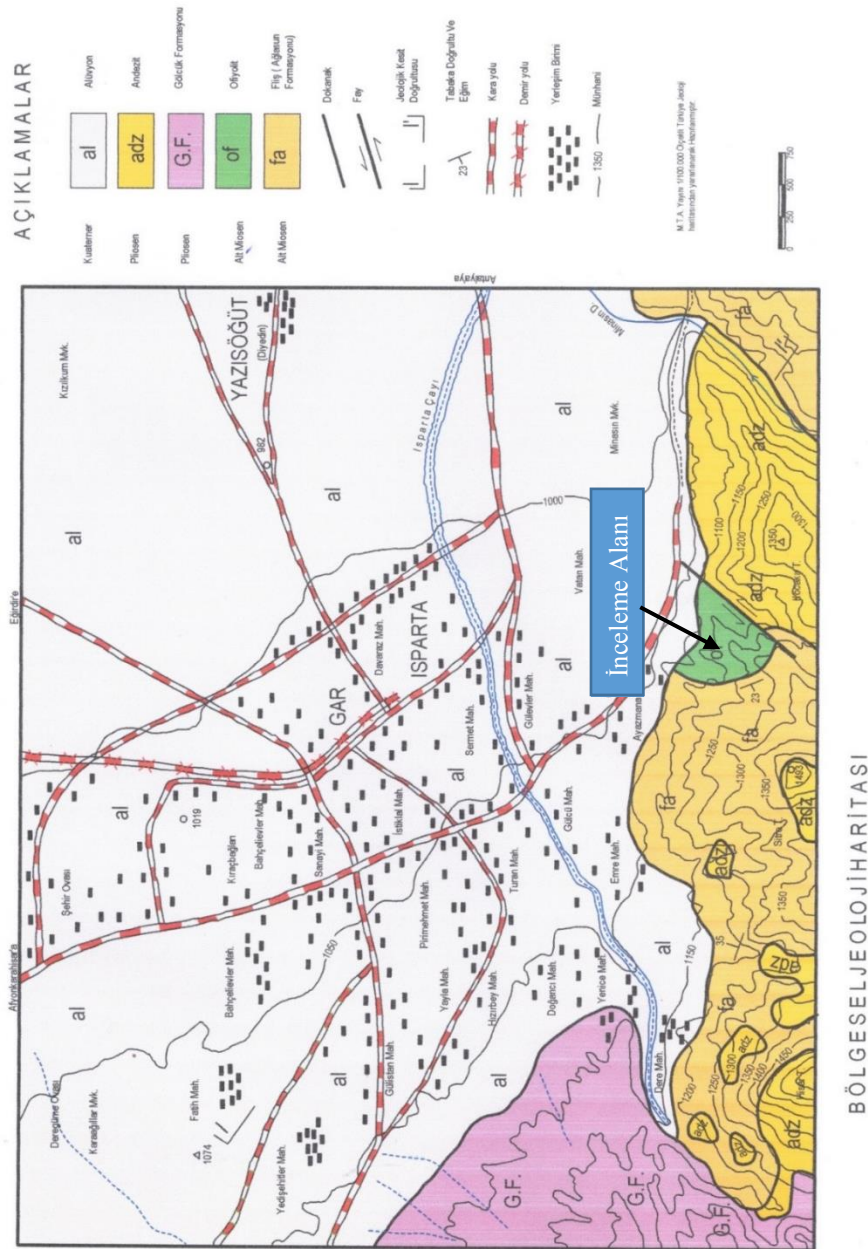
kullanıldığını düşünerek birimi “Gökçebağ karışığı” şeklinde adlandırmışlardır. Litolojik özellik olarak Serpantinitle, radyolaritler, volkanitler ve kireçtaşları gibi değişik kökenli kayalardan oluşmuş olup, bunlar karışık bir şekilde gözlenmektedir. Dokanak ilişkisi bakımından Gökçebağ karışığı’nın altında Eosen ve Miyosen yaşlı filişler bulunmaktadır. Birimin üstüne Plio-Kuvaterner yaşlı volkanoklastikler ile volkaniklerin uyumsuz olarak gelmektedir (Görmüş ve Özkul, 1995). Kalınlığın 500 metre’den fazla olduğu tahmin edilmektedir (Köse ve Yeşilot, 2000). Yaş bakımından birim içerisindeki kireçtaşı bloklarında bulunan fosiller Triyas-Üst Kretase zaman aralığını gösterdiğinden, bu fosillere göre oluşum yaşının Mesozoyik olduğu; stratigrafik konumuna göre de yerleşim yaşı ise Paleosen-Geç Miyosen olarak verilmektedir (Görmüş ve Özkul, 1995).

Gölcük Formasyonu (Gf) Tanımı ve yayılımı incelendiğinde (Kazancı ve Karaman, 1988) ile (Yıldız ve Toker, 1991) “Gölcük volkanitleri” ismini kullanmışlardır. Litolojisine bakıldığında Gölcük volkanitleri volkanoklastikler ile trakitik, andezitik volkanik kayalardan oluşmuştur (Bilgin vd., 1990). Dokanak ilişkisi olarak Volkanikler alttaki birimleri uyumsuz olarak örter. Bu ilişki Gölcük ve Isparta dolaylarında, Dereboğazı mevkiinde açıkça görülür. Yaş özellikleri bakımında (Görmüş ve Özkul, 1995) tarafından kampüs çevresindeki yamaç birikintileri ile ilişkileri göz önüne alındığında yaş Plio-Kuvaterner’dir. (Kazancı, 1993) tarafından piroklastiklerin yaşını K-Ar yöntemiyle Erken Pleistosen olabileceğini belirtilmiştir. Ortam özelliği bakımından Volkanikler karasal ortamın ürünleridir (Kazancı ve Karaman, 1988). Keza, paleo-vadi içerisine yayılımları, nehir ve göl sedimantasyonuna ait sedimantolojik özellikler ile karasal ortama kütleli dağılımlar Gölcük, Isparta çevresinde belirgin olarak görülür.

Andezit (Pliosen) (Adz) Gölcük Formasyonunun tabanında bir üye olarak ayırtlanan birim harita alanında başlıca Gölcük Volkan Gölünün iç çeperleri ile Pilâv tepede daha doğuya doğru, Hisar tepe, Kara tepe, Gıllık kaya tepe ve Karakaya tepe civarında yüzeylemektedir. Birim egemen olarak andezitik, traki-andezitik lâv akıntılarıdır. Andezitler sahada koyu gri renkli ince dokulu andezit ve açık gri renkli, sanidin fenokristalleri içeren, porfirik dokulu traki andezitlerle temsil edilir (Görmüş ve Özkul, 1995).

Alüvyon (Qal) (Qym) Tutturulmamış kil, silt, kum ve çakıl malzemeden meydana gelmektedir. Eski göl, nehir, yamaç döküntüleri, sel çökelleri gibi değişik fasiyeslerde gelişmiş tüm Kuvaterner istifi ayrımlanmadan alüvyon şeklinde haritalanmıştır (Görmüş ve Özkul, 1995).

Fliş Birimi (Fa) Formasyonunun adı, ilk kez Isparta çevresindeki filiş çökelleri için (Gutnic vd., 1979) tarafından kullanılmıştır. Daha sonraki çalışmalarda “istif”, (Yalçınkaya vd., 1986) Batı Toroslarda Yavuzlar ve “Garipçe formasyonu”, (Karaman vd.,1989) ve (Karaman, 1994) tarafından Keçiborlu-Isparta arasında “Kayıköy formasyonu”, (Koçyiğit, 1984) tarafından ise Senirkent civarlarından “Dereköy formasyonu” olarak tanımlanmıştır. Litolojisi incelendiğinde formasyon killi kireçtaşı, kiltası, silttaşı, kumtaşı ve konglomera ardalanmasından oluşur. Genellikle açık - koyu gri, yeşilimsi gri, kırmızımsı, kahverengimsi, yeşilimsi sarı, sarımsı renklerde gözlenir. Killi kireçtaşları yüzeyde kırmızımsı gri, pembe ve gri ayrışma renkli olup, çatlaklıdır. Kumtaşları ve konglomeralar sarımsı renklidir. Radyolarit, çört taneleri az oranda olup, kaya kırıntılarının çoğunu kireçtaşı parçaları oluşturur. Silis yumrularının da gözlendiği bu ara tabakalar sarımsı renkli orta kalınlıkta tabakalanmalara sahiptir. 2-3 metre tabaka kalınlığına ulaşan konglomeralar da bentik foraminiferler içerir. 2-3 cm gibi ince kalınlıkta tabakalara sahip kumtaşı ara tabakaları da kiltaları ile ritmik gelişmiştir. Filişin egemen litolojisini oluşturan kiltalarında ise baskın organizmalar planktik foraminiferlerdir. Yeşilimsi renkli kiltalarının tabaka kalınlıkları orta kalınlıkta ve genelde 20-30 cm arasındadır (Görmüş ve Özkul, 1995).



Şekil 4. 9 Isparta ve Çevresinin Bölgesel Jeolojik Haritası (MTA, 2021)

4.2.3 Analizlerde Kullanılacak Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi

4.2.3.1 Kısa ve Uzun Dönem Analizi Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi

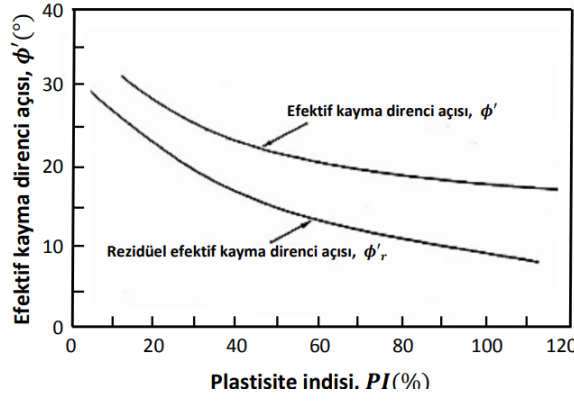
Proje sahasında şev başından itibaren Ofiyolitik Karmaşığı olarak bilinen killi siltli melanj birim yer almaktadır. Geçmişte meydana gelen şev hareketleri bu birim içerisinde oluşmuştur. Fakat temel kötü seviyesinden başlayan Gölcük

volkanizmasına ait t f-t f t ve pomza içerisinde hareket gözlenmemiştir. Ofiyolitik Karma ı ında kısa (drenajsız) ve uzun (drenajlı) dönem kayma mukavemeti parametreleri yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri göz önüne alınıp literatür çalışmalarından da faydalanarak belirlenmiştir. T f-t f t ve pomza zemini için sadece uzun dönem kayma mukavemeti parametrelerinin belirlenmesi yeterli görülmüştür.

 evi meydana getiren Ofiyolitik Karma ı ı biriminde Mart 2017’de yapılan laboratuvar deneyleri neticesinde bu birimin CL-ML sınıfına sahip düşük plastisiteye sahip kil ve siltten meydana geldiği ortaya konmuştur. Yapılan SPT deneyi sonucunda bu birimdeki ortalama SPT-N değerleri 25-30 arasında elde edilmiştir. Sondaj Kuyusu-1’de 12 metreden alınan numune üzerinde yapılan direkt kesme deneyi neticesinde zeminin drenajsız kayma mukavemeti 82 kPa ve içsel sürtünme açısı 2 derece olarak belirlenmiştir. Malzemenin yapılan deneyler sonucunda birim hacim ağırlığı $19,9 \text{ kN/m}^3$ bulunmuştur. Analizlerde 20 kN/m^3 kullanılması uygun görülmüştür.

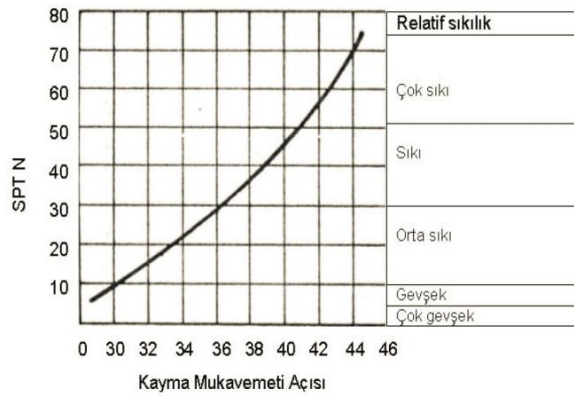
Bu malzemenin uzun dönem stabilitesini değerlendirmek için mukavemet parametrelerinin belirlenmesinde Mart 2017 ve Eylül 2017 raporlarının arazi ve laboratuvar verilerinden faydalanılmıştır. Mart 2017 raporunun laboratuvar sonuçlarından faydalanarak  evi oluşturan melanj birimin plastisite indisi ortalama %15 olduğu belirlenmiştir. Malzemenin uzun dönem içsel sürtünme açısının belirlenmesinde (Gibson, 1953) kriterinden faydalanılmıştır. Buna göre %15 plastisite indisine bağlı efektif içsel sürtünme açısı 28 derece olarak belirlenmiştir.

Eylül 2017 raporu laboratuvar sonuçlarına göre 28 derecelik içsel sürtünme açısına karşılık gelen kohezyon değeri Sondaj Kuyusu-2’de 4,5 metre numunesi üzerinde yapılan kesme kutusu deneyinden faydalanarak 15 kPa kabul edilmiştir.



Şekil 4. 10 Efektif İçsel Sürtünme Açısı ile Plastisite İndisi İlişkisi (Gibson, 1953)

Şevin topuk bölgesini ve yapılması planlanan konutların alt zeminini oluşturan tüf-tüfit ve pomza zeminin kayma mukavemeti parametreleri belirlenirken bu kısımda kaymanın meydana gelmeyeceği öngörülerek sadece uzun dönem parametreleri tahkik edilmiştir. Eylül 2017 raporu arazi verilerinden faydalanarak bu zeminin ortalama SPT-N değerlerinin 30-40 arasında olduğu gözlenmiştir. Genellikle kohezyonsuz özellik taşıyan bu birimde güvende kalınarak içsel sürtünme açısı SPT-N₁₋₆₀ değeri 20 için (Peck et al., 1974) referansı kullanılarak 33 derece alınmıştır. Zemin kohezyonsuz olarak kabul edilmesine karşın stabilite analizini yapan programların hata vermemesi açısından 1 kPa kabulü yapılmıştır. Malzemenin birim hacim ağırlığının 17 kN/m³ kullanılması uygun görülmüştür.



Şekil 4. 11 SPT-N Vuruş Sayısı ve Kayma Mukavemeti Açısı İlişkisi (Peck et al., 1974)

Sonlu Elemanlar Yönteminden faydalanarak şevin stabilite analizlerini yapmak adına Ofiyolitik Karmaşığı ve Tüf-Tüfit Pomza malzemelerinin elastisite

modüllerinin ve poisson oranlarının belirlenmesi gerekmektedir. Zeminlerin SPT-N verileri göz önünde alınıp elastisite modülü Ofiyolitik Karmaşığı tabakası için 50000 kPa, Tüf-Tüfit-Pomza tabakası için 100000 kPa seçilmiştir.

Çizelge 4. 1 Zeminlerin Tipik Efektif Elastisite Modülleri (USACE 1110-1-1904, 1990)

Zemin Tipi	Elastisite Modülü (tsf)
Killer	
Çok Yumuşak Kil	5-50
Yumuşak Kil	50-200
Orta Kıvamlı Kil	200-500
Katı Kil, Siltli Kil	500-1000
Kumlu Kil	250-2000
Kiltaşı	1000-2000
Kumlar	
Gevşek Kum	100-250
Sıkı Kum	250-1000
Sıkı Kum ve Çakıl	1000-2000
Siltli Kum	250-2000

Mart 2017’da yapılan jeofizik çalışmalar neticesinde Ofiyolitik Karmaşığının iki ayrı sıklıkta zondan oluştuğı ortaya konmuştur. Üstte yer alan gevşek sıklığa sahip zonun kalınlığı 5 metre dolaylarındadır. Burada belirlenen iki farklı zonun poisson oranı 0,10-0,33 arasında değişmektedir. Hesaplamalarda poisson oranı her iki zemin için de 0,30 kabul edilerek analize dahil edilmiştir.

Çizelge 4. 2 Mart 2017 Raporu Jeofizik Çalışmalarından Elde Edilen Poisson Oranları

Profiller	Tabakalar	Poisson Oranı	Sıklık
1. Profil	1. Tabaka	0.19	Katı
	2. Tabaka	0.33	Gevşek
2. Profil	1. Tabaka	0.25	Sıkı Katı
	2. Tabaka	0.32	Gevşek
3. Profil	1. Tabaka	0.1	Katı
	2. Tabaka	0.14	Katı

Çizelge 4.3 Hesaplamalarda Kullanılacak Zemin Parametreleri

	1. Tabaka Ofiyolitik Karmaşığı (Kısa Dönem)	1. Tabaka Ofiyolitik Karmaşığı (Uzun Dönem)	2. Tabaka Ayrıışmış Tüf-Tüfit ve Pomza
Kohezyon (kPa)	82	15	1
İçsel Sürtünme Açısı (°)	2	28	33
Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	20	20	17
Bünye Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
Elastisite Modülü (kPa)	50000	50000	100000
Poisson Oranı (ν)	0,3	0,3	0,3

4.2.3.2 TBDY 2018'e Göre Sismik Şev Stabilité Hesaplamaları ve Parametrelerin Belirlenmesi

Doğal veya yapay şevlerin yakın bölgesinde inşa edilecek yapıların tasarım deprem etkisinde güvenilirliğinin ve işleyişinin korunabilirliği adına şevin deprem yükleri etkisi altında stabil kalacağını yapılacak hesaplamalarla doğrulanması önemli bir husustur. Kazıklar, ankrajlar veya zemin çivileri gibi yapısal elemanlarla desteklenmesi planlanan şevlerde zemin ve yapı elemanlarının rijitlik farklılıklarının hesaplamalara dahil edildiğı yapı zemin etkileşimi analizlerinin yapılması gerekmektedir (TBDY, 2018).

Deprem yükleri altında şevlerin stabilitesi incelenirken zemin türüne uygun bir göçme modeli kabul edilerek zemin veya kaya kütesinin dengesi araştırılmalıdır. Stabilitenin sağlanması için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğı 2018'in 16.13.4 maddesi sağlanmalıdır (4.1). Buna göre bağıntıdaki E_t kaymaya zorlayan etkiler toplamı R_t kaymaya karşı koyan etkiler ve $\gamma_{Rk} \geq 1.0$ kaymaya karşı tasarım güvenlik sayısı olarak tanımlanmaktadır. Deprem etkisi altında şevlerin duraylılığı kontrolü; eşdeğer statik limit denge yönteminden, sonlu elemanlar yönteminden veya zaman alanında gerçekleşebilecek dinamik davranış analizlerinden faydalanarak yapılabilir. (TBDY, 2018)

$$E_t \leq \frac{R_t}{\gamma_{Rk}} \quad (4.1)$$

Şevin stabilitesinin dilim yöntemine bağlı eşdeğer statik denge analizlerinde kritik kayma yüzeyinin belirlenmesi ve güvenlik sayısının iteratif olarak hesaplanmasında statik durum analizleri için (4.2) ve dinamik durum için (4.3) dikkate alınmalıdır.

$$\gamma_{Rk} = \frac{1}{\sum W_s \sin \alpha} * \sum c' * b + \left[\frac{1}{m_\alpha} \left(W_s - \frac{c' * b * \sin \alpha}{\gamma_{Rk}} - u * b \right) \right] * \tan \varphi' \quad (4.2)$$

$$\gamma_{Rk} = \frac{1}{\sum W_s * (1 - k_v) * \sin \alpha + k_h * W_s * (\cos \alpha - \frac{H_c}{R_d})} * \sum c' * b + \left[\frac{1}{m_\alpha} \left(W_s * (1 - k_v) - \frac{c' * b * \sin \alpha}{\gamma_{Rk}} - u * b \right) \right] * \tan \varphi' \quad (4.3)$$

Denklemlerde yer alan ifadeler incelendiğinde; W_s şev diliminin ağırlığını, α şev diliminin açısını, c' ve φ' zeminin efektif mukavemet parametrelerini, b şev diliminin genişliğini, u su basıncını, H_c dilim tabanının orta noktasından dilim merkezine olan düşey mesafeyi, R_d şevin dairesel göçme yüzeyinin yarıçapını, $k_h = 0,2 * S_{DS}$ ve $k_v = \pm 0,5 * k_h$ sırasıyla yatay ve düşey eşdeğer deprem katsayısını ifade etmektedir. Bağıntıdaki m_α ifadesi (4.4)'e eşittir.

$$m_\alpha = \cos \alpha * \left(1 + \frac{\tan \alpha * \tan \varphi'}{\gamma_{Rk}} \right) \quad (4.4)$$

Kaymaya karşı güvenlik sayısı (γ_{Rk}) ardışık yaklaşımlarla elde edilmektedir. Başka bir deyişle en düşük güvenlik sayısının elde edilmesi için şev üzerinde birçok kayma dairesi analiz edilmeli ve içlerinden en düşük güvenlik sayısına sahip kayma dairesi belirlenmelidir. Stabilitenin belirlenmesinde özel risk durumları haricinde $\gamma_{Rk} \geq 1.1$ toptan kayma karşı yeterli güvenlik düzeyi olarak kabul edilebilir (TBDY, 2018).

Şevin sismik parametrelerini elde etmek için Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının hazırlamış olduğu Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması'ndan faydalanılmıştır. Enlem 37.751196 ve Boylam 30.558216 olarak tanımlanmıştır. Arazinin jeofizik ölçümlerinde üstte yer alan 5 metre kalınlığındaki gevşek zonun yüzey dalgası hızının $V_s=205-272$ m/s ve bu zonun altında yer alan orta sıkı zonun yüzey dalgası hızının $V_s=306-358$ m/s çıkması sebebiyle zemin sınıfı web sitesinde ZD olarak tanımlanmıştır. Deprem düzeyi olarak DD-2 (Tekrarlama periyodu 475 yıl olan depremler) olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 4. 4 Çalışma Sahasının AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritalarından Alınmış Sismik Büyüklükleri (AFAD, 2021)

Çıktı İsmi	Çıktı Büyüklüğü
Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı (S_S)	0,729
1,0 Saniye Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı (S_1)	0,168
Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	0,887
1,0 Saniye Periyot İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{D1})	0,380
En büyük yer ivmesi (PGA) (g)	0,309
En büyük yer hızı (PGV) (cm/sn)	15,988

Limit denge yöntemi analizlerinde pseudo statik analizlerin yapılabilmesi için yatay ve düşey eşdeğer deprem katsayılarını Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine uygun hesaplamak gerekmektedir. Bu hesaplamalar (4.5) ve (4.6) bağıntılarıyla verilmiştir.

$$k_h = 0,2 * S_{DS} = 0,2 * 0,887 = 0,1774 \quad (4.5)$$

$$k_v = \pm 0,5 * k_h = 0,1774 * 0,5 = 0,0887 \quad (4.6)$$

4.3 Şevde Yapılan İyileştirme Çalışmaları

Yapılan hesaplamalar neticesinde şevlerin stabiltesinin yönetmeliklerde verilen güvenlik sayılarını sağlayamaması ve şevde oluşacak deformasyonların olması gerekenden fazla çıkması durumunda şevlerde çeşitli iyileştirme yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Şevlerdeki hareketlerin önüne geçilebilmek için hareketi meydana getiren etkilerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu etkiler şev geometrisi veya zemin parametreleriyle ilişkili olabilir. Yapılması gerekli, tahkikler gerçekleştirildikten sonra şev hareketinin önlenmesi amacıyla kullanılması gereken etkili iyileştirme yöntemi araştırılmalıdır. Daha sonrasında analiz ve tasarımları yapılmalı ve proje sahasında doğru şekilde uygulanmalıdır. Yapılacak iyileştirme çalışmaları yapısal veya yapısal olmayan alternatifler göz önünde bulundurularak şev üzerinde etkitilebilir (Popescu and Sasahara, 2009).

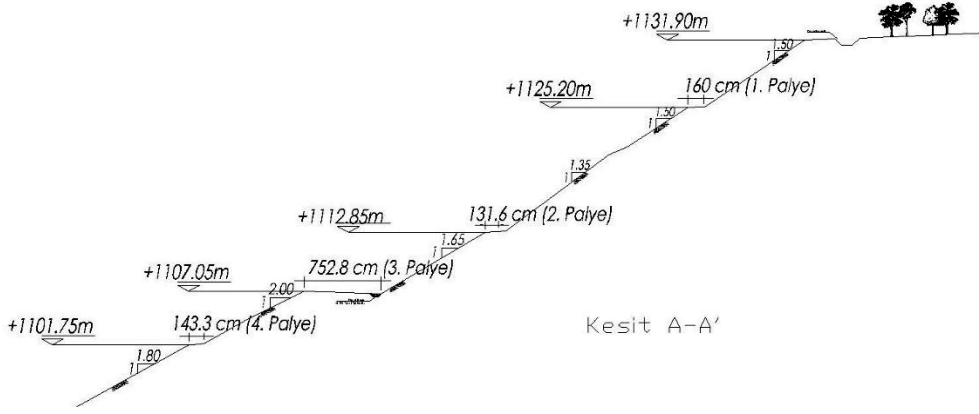
Şevlerde yapılması planlanan iyileştirme alternatifleri arasında doğru seçimi gerçekleştirmek stabilite açısından oldukça önemlidir. Alternatifler arasında seçim

işleminde; şevlerde meydana gelecek kaymanın şekli, yeraltı suyu koşulları, müsaade edilebilir parsel sınırlarının aşılmaması, malzemelerin temininin imkanı, projenin gerçekleştirilmesi için gereken zaman ve maliyet koşulları doğru iyileştirme metodunun seçimi açısından önemli bir husustur (Duncan, 2014).

Geçmiş dönemde inceleme alanında bulunan şevin iyileştirilmesi hafriyatın alınması ile şevin ağırlığının azaltılması, yüzeysel drenaj sistemleri ve kazıklarla sağlanmıştır. Fakat hatalı uygulamalar neticesinde bu çalışmalar başarıya ulaşamamış ve kazıkların kırılmasıyla birlikte sahada kütle hareketleri meydana gelmiştir. Vaka analizi kapsamında yapılan iyileştirme çalışmaları yük kaldırılması ve palyelendirme çalışmaları, drenaj çalışmaları, istinat duvarı çalışmaları, kazık çalışmaları ve bitkilendirme çalışmaları olarak beş farklı şekilde projelendirilmiş ve sahada uygulaması sağlanmıştır.

4.3.1 Yük Kaldırılması ve Palyelendirme Çalışmaları

Bir şevin yüksekliğinin veya eğiminin azaltılması şeklinde yapılacak düzenleme çalışmaları yapısal olmayan iyileştirme yöntemlerinin en etkili ve ekonomik olanlarından bir tanesidir (Popescu and Sasahara, 2009) Bu işlemle birlikte potansiyel kayma yüzeyleri üzerinde meydana gelebilecek kaydırıcı etkiler yani kayma gerilmeleri azaltılmış olmaktadır. Dolayısıyla güvenlik sayısında artış sağlanacaktır. Şevin stabilitesinin yapılacak hafriyat kaldırma ve palyelendirme işlemleri ile sağlanabilmesi için; şevin tepesindeki alanın belirli bir bölgesinin gözden çıkarılması, şev sahasının inşaat araçlarının girişine müsait duruma getirilmesi ve kazılan malzemenin aktarılması için müsait bir alanın bulunması gerekmektedir (Duncan, 2014)



Şekil 4. 12 Şevin Palyelendirilmiş Kesiti

Yapılan hafriyat çalışmalarının ardından palyelendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tasarım ve projelendirme safhasında şev, dört farklı kot üzerinde palyelendirilmiştir.

Şevin birinci palyesi +1125,20 metre kotunda 1,6 metre genişliğinde, ikinci palyesi +1112,85 metre kotunda 1,316 metre genişliğinde, üçüncü palyesi +1107,05 metre kotunda 7,528 metre genişliğinde ve dördüncü palyesi +1101,75 metre kotunda 1,433 metre genişliğinde tasarlanmıştır. Yapısal iyileştirme çalışmasına geçmeden önce şev üzerindeki düzenleme çalışmaları ile hem bölgesel hem de genel olarak şevin stabilitesinin sağlanması hedeflenmiştir. Yaz mevsiminde, yağışların en düşük dönemde olduğu dönemde bu çalışmalar yapılmasına rağmen şevin topuk bölgesinde sızıntı şeklinde su çıkışları gözlenmektedir.



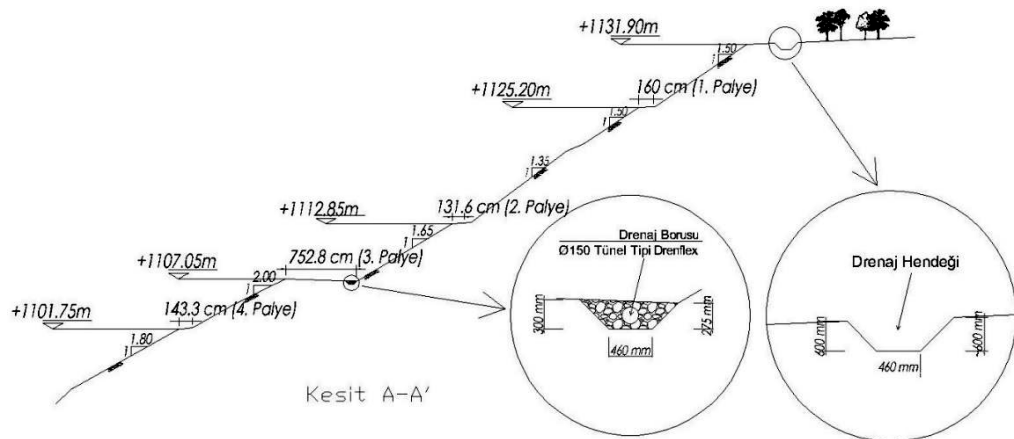
Şekil 4. 13 Şevin Drone ile Çekilmiş Palyelendirilmiş Hali (Pala, 2020)

4.3.2 Drenaj Çalışmaları

Drenaj çalışmaları şevlerin iyileştirilmesinde en çok tercih edilen yöntemlerin başında gelmektedir. Şevlerde meydana gelen kütle hareketleri çoğu zaman yeraltı suyu seviyesinin artışa geçmesi veya gözenek basınçlarında meydana gelen ani değişimler neticesinde oluşmaktadır (Duncan, 2014). Bu nedenle boşluk suyu basıncının düşürülmesi şevlerin iyileştirilmesinde etkili bir yöntem olmaktadır. Bununla birlikte drenaj vasıtasıyla iyileştirme yapılması diğer stabilizasyon işlemlerine göre daha ekonomiktir (Popescu and Sasahara, 2009).

Yüzey sularının şev üzerinde birikmesini ve şevi oluşturan zemine sızmasını önlemek, yüzey akışının şev bölgesinden uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla yüzey drenajları uygulanmaktadır. Bu işlem kaplamalı hendeklerin veya kanalların yapımı, şevde yapılacak düzenlemeler ile suların birikmesinin engellenmesi veya kısa dönemde zeminin plastikle örtülmesi; uzun dönemde bitkilendirme çalışmaları ile sağlanabilmektedir (Duncan, 2014).

Zeminde ofiyolit karmaşığı birimi içerisinde sızıntı şeklinde su bulunmakta ve şevin topuk bölgesinden akışa geçmektedir. Bu durum zemini yumuşatıp kayma eğiline geçirmektedir. Bundan dolayı inceleme alanındaki sızıntı suyunu kontrol altına almak için gerekli drenaj çalışmaları yapılmasına karar verilmiştir.



Şekil 4. 14 Şevde Yapılacak Yüzeysel Drenaj Sistemleri

Mevsimsel yağışlar sebebiyle yüzeysel akışların kontrolünü sağlamak için teraslama ve yüzey drenaj hendeklerinin yapılması uygun görülmüştür. Şevin üst bölgesi olan +1131,90 metre kotuna 60 santimetre derinliğinde bir drenaj hendeği yapılmıştır. Şevin +1107. 05 metre kotunda bulunan en geniş palyede ise yüzeysel drenaj projelendirilmiştir. Yapılacak drenaj çalışmaları yüzey sularını ve ofiyolit birimi içerisinde sızma ihtimali olan suların tamamını şevden uzaklaştıracak biçimde sahayı kaplamalıdır. Ardından iyileştirmenin yapılacağı her iki palyeye de drenaj boruları vasıtasıyla toplanan sular şev kenarından yol kotuna tahliye edilmelidir.

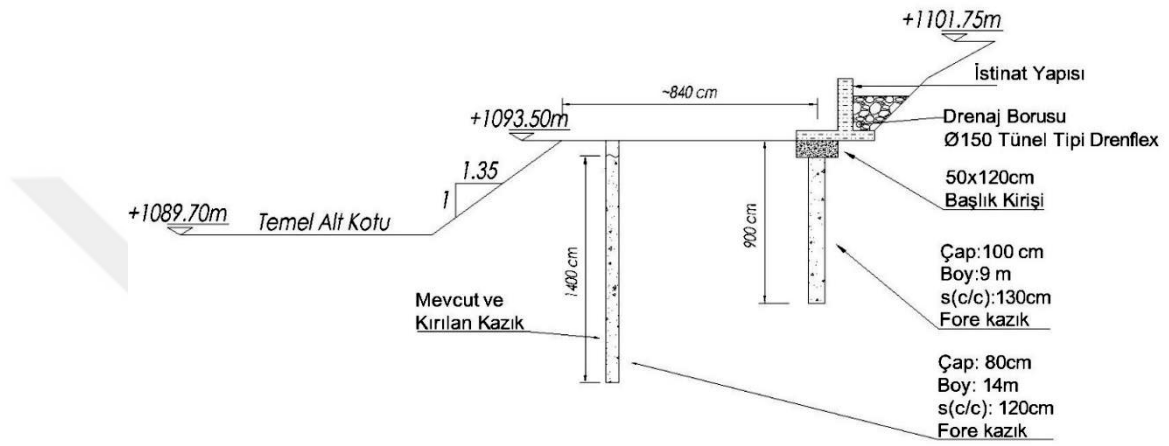
4.3.3 Fore Kazık Çalışmaları

Şevlerin stabilitesinin artırılmasına dair etkili yöntemlerden bir tanesi fore kazıklar ile yapılan iyileştirmelerdir. Kayma dairesinin geçilip alttaki stabilitesi daha yüksek olan zemine ulaşınca dek kazık inşası gerçekleştirilebilir. Kazıklar yatayda şevin hareketini sınırlamak amacıyla şevin tepesine paralel bir veya birden fazla hat üzerinde inşa edilirler (Duncan, 2014)

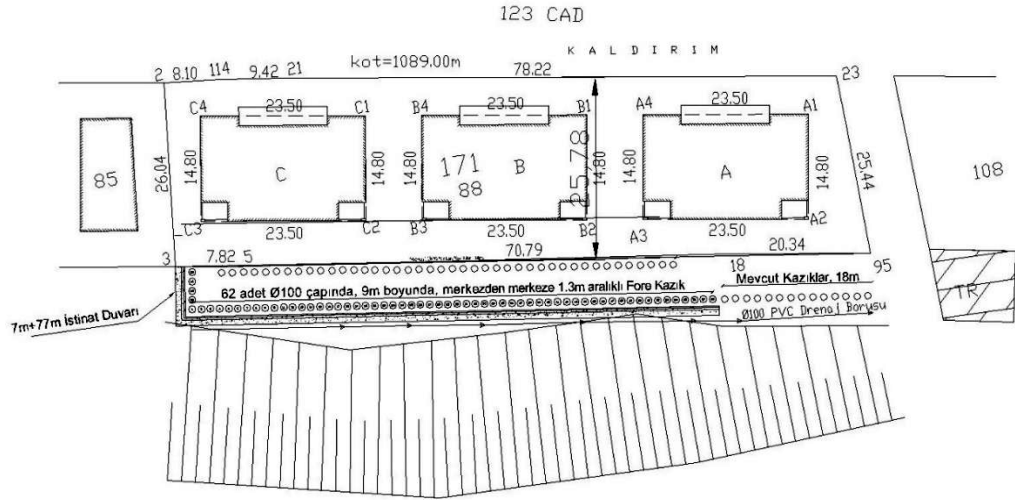
Kazıkları aralarından zemin akamayacak sıklıkta yerleştirmek önem arz etmektedir. Aksi halde kaymaya karşı bir önlem niteliği olmayacaktır. Merkezden merkeze uzaklık genellikle iki veya dört kazık çapı kadar alınmaktadır (Poulos, 1995). Şevin stabilitesinin sağlanması adına az sayıda fakat büyük çaplı kazıkların kullanılması; çok sayıda fakat küçük çaplı kazıkların kullanılmasına göre daha etkilidir (Poulos, 1995). Kazık yapımının ardından oluşacak kayma yüzeylerinin kazığı tamamen içine almaması toptan göçme probleminin yaşanmaması için önemlidir. Bundan dolayı kazıklar, güvenlik sayısının tatmin edici değerleri sağlaması için uygun derinliğe kadar indirilmelidir.

Arazide inşası 2017’de gerçekleştirilen kazıklar 18 metre boyunda imal edilmiş, oluşan heyelanlar neticesinde 4 metresinin kırılması sonucunda 14 metre boyunda kalmıştır. Mevcutta kalan kazıkların arka kısmında +3.5 metre üzerindeki kotunda tuf tabakasına soketlenmesi planlanmış yeni bir kazık hattı yapılması öngörülmüştür. Kazık hattı boyunca 100 santimetre çapında 9 metre derinliğinde 62 adet kazık bulunmaktadır. Kazıklar arası merkezden merkeze

mesafe 1,30 metredir. Bu mesafenin dar tutulmasının sebebi ofiyolitik malzemenin gevşek yapısı ve topuk bölgesindeki su çıkışlarının kontrol altına alınması talebidir. Kazıkların yatay yükler altında birlikte çalışabilmesi için 50 santimetre yüksekliğinde ve 120 cm genişliğinde bir başlık kirişi yapılmıştır. Ayrıca başlık kirişi yapılacak istinat duvarına bağlanmış ve kazıklar ve istinat duvarının birlikte çalışması sağlanmıştır. Şev stabilitesi tahkikleri bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 15 Mevcut ve Yapılması Planlanan Kazıkların Kesiti



Şekil 4. 16 Kazık ve İstinat Projesinin Kesit Görşeli

4.3.4 İstinat Duvarı Çalışmaları

Bitişik zemin yüzeylerini farklı seviyelerde dengede tutabilen ve koruyabilen yapı elemanlarına istinat duvarı denir (Coduto, 2006). Şevlerde istinat duvarları geçici veya kalıcı şekilde projelendirilebilmektedir. Bu yapıların şevler üzerinde inşa edilmesiyle topuk bölgesindeki ağırlığın artırılması ve potansiyel kayma yüzeylerinde meydana gelecek kayma gerilmelerinin azaltılması amaçlanmaktadır (Duncan, 2014).

Şevin tasarımında topuk bölgesine yerleştirilen istinat yapısı 1,50 metre yüksekliğinde ve 84 metre uzunluğunda tasarlanmıştır. Hem topuk bölgesinde oluşan sızıntı sularının toplanması hem de zeminde oluşabilecek akmalara kontrolünün sağlanması ve şevin topuk bölgesine inşa edilecek konutları tehdit etmemesi için projelendirilmiş ve yerinde uygulanmıştır.

Projelendirilen istinat yapısının, 9 metre derinliğinde inşa edilecek kazıklarla birlikte çalışması planlanmıştır. Bundan dolayı kazıkların birlikte çalışmasına imkan tanıyan başlık kirişi, istinat yapısının temeli ile birleştirilmiştir. Böylece istinat yapısının arkasındaki zemin yükleri altında devrilme ve kayma ihtimali oldukça azaltılmıştır.



Şekil 4. 17 Şevin Topuğunda Yapılmış Kazıklar ve İstinat Duvarının Ampatman Kalıpları



Şekil 4. 18 Şevin Topuğuna Yapılan İstinat Duvarı

İstinat duvarının şevden yana olan kısmında zemin suyunun drenajını sağlayabilmek için geçirimli kırmataş dolgu teşkil edilmiş ve alt kısmına 150 milimetre çapında perfore boru yerleştirilmiştir. Duvarı üzerine 2 metre aralıklarla yapılacak barbakanlardan vasıtasıyla duvarda su basınçlarının oluşması engellenmiştir.

4.3.5 Bitkilendirme Çalışmaları

Şev üzerinde ve topuk bölgesinde uygulanılacak en son iyileştirme işlemi bitkilendirme çalışmaları olacaktır. Bitkilendirme vasıtasıyla ofiyolit karmaşığı tabakasında meydana gelebilecek sığ kaymaların önlenmesi ve stabilizasyonun sağlanması, mevsimsel su akışlarının şevde meydana getireceği negatif etkinin azaltılması, şevin daha estetik bir görünüme sahip olması amaçlanmaktadır.

Derin kökleri olan ağaçların dikilmesiyle yeşillendirilip güçlendirilen bir şevin donatılı zemin davranışı gösterdiği söylenebilir (Karikari and Agyei, 2000). Bununla birlikte köklerin şevin içesindeki suyu çekmesiyle zemindeki boşluk suyu basıncı azalmaktadır. İstenilen bitkilendirmeyi şevde uygulamak ve devamlılığını sağlayabilmek adına sulama sistemlerinin yerleştirilmesi gerekmektedir. Burada dikkat edilecek husus, yapılacak sulamanın şevin boşluk suyu basıncını artışa geçirmemesi, sadece bitkiler üzerinde etkili olmasıdır.

Kurulacak sulama sisteminde yapılacak bir hata şevin boşluk suyu basıncını büyük oranda artırıp stabilite problemlerine sebep olabilmektedir. (Coduto, 2006)

4.4 Şev Stabilitesi Analizleri

4.4.1 Sonlu Elemanlar Yöntemine Bağlı Şev Stabilitesi Analizleri

4.4.1.1 Sonlu Elemanlar Yönteminin Esasları

Sonlu elemanlar yöntemi, günümüzde mühendislik çalışmalarında aktif olarak kullanılan, karmaşık hesaplamaları basitçe gerçekleştirip hassas sonuçlar sunabilen başarılı bir yöntemdir. İlk kez 1956 yılında uçak gövdelerinin gerilme hesaplamalarını yapabilmek için geliştirilmiş olan bu yöntem daha sonraki yıllarda birçok mühendislik disiplini için kullanılabilir hale gelmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bilgisayar destekli tasarımlarla yapıp sadece girdilerin değiştirilmesiyle özel problemler çözüme kavuşturulabilir (Arıkan, 1991).

Sonlu elemanlar yönteminin geoteknik mühendisliğinde kullanımı son zamanlarda oldukça yaygın bir hal almıştır. Bu duruma zemin problemlerinin çözümünde karşılaşılan karmaşık yapı ve belirsizlik halleri neden olmuştur. Yapılacak doğru modelleme ve hesaplamalarla birlikte zemin problemlerinin çözümünde gerçeğe oldukça yakın sonuçlar elde edilebilmektedir (Berilgen, 2016).

Sonlu elemanlar yöntemi büyük bir sistemi sonlu eleman ismi verilen daha küçük bileşenlere ayırtmaktadır. Her bir eleman için ayrı ayrı analizler gerçekleştirilir ve her bir elemanın sonucunun birleştirilmesiyle sistem hakkında yorum yapılabilmektedir.

Bilgisayar destekli sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analiz yapmak için ilk aşama modellemenin gerçekleştirilmesidir. Zemin formasyonlarının derinliğe bağlı çizimi, yapı elemanlarının çizimi ve gerekli olması halinde yapı-zemin etkileşiminin tanımlandığı arayüz elemanlarının çizimi modelleme safhasında oluşturulur. Çizim işleminin tamamlanmasının ardından zemin ve yapı elemanlarının parametreleri programda tanımlanmaktadır. Sınır koşullarının belirlenmesiyle birlikte modelin sonlu elemanlar ağı (mesh) meydana getirilir. Modelin mesh sıklığı analizi gerçekleştirilen kişi tarafından ayarlanabilir. Sonlu elemanlar ağının sık bir yapıya sahip olması daha detaylı hesaplamalar yapabilmeye imkan tanımaktadır.

Şevlerin sonlu elemanlar yönteminin bir yaklaşımı olan mukavemet azaltım yaklaşımı Adikari-Cummins tarafından 1985'te ortaya konmuştur. Bu yöntemle göre şevlerin güvenlik sayısı belirlenirken o şevde kaymanın gerçekleşmesi için zeminin kayma mukavemetinin ne oranda azaltılması gerektiği düşünülmektedir.

4.4.1.2 PLAXIS v8.2 Programı ile Şev Stabitesinin Hesaplanması

PLAXIS v8.2, geoteknik mühendisliğinde deformasyon ve stabilitenin iki boyutlu analizi için tasarlanmış bir sonlu elemanlar yazılımıdır. Geoteknik uygulamalar, zeminlerin veya kayaların doğrusal olmayan, zamana bağlı ve anizotropik davranışlarının simülasyonu için gelişmiş yapısal modeller gerektirmektedir. Programın şev stabilitesine yönelik hesaplamalarda aşağıda verilen özelliklerden faydalanılmaktadır:

Program ile zemin katmanlarının, yapıların, inşaat aşamalarının, yüklerin ve sınır koşullarının oluşturulması için geometri kesitinin detaylı biçimde modellenmesine izin veren eden bilgisayar destekli tasarım çizim ilkelerine dayanmaktadır. Tasarlanan geometri modeline bağlı olarak iki boyutlu sonlu elemanlar ağı kolaylıkla oluşturulmaktadır. Otomatik olarak oluşturulabilen sonlu elemanlar ağı vasıtasıyla yüksek hassasiyete sahip hesaplamalar yapılabilmektedir. Oluşacak deformasyonları ve gerilmeleri modellemek için 6 veya 15 düğüm noktasından meydana gelmiş üçgen elemanlardan faydalanılmaktadır (PLAXIS Referance Manual, 2002).

Yapısal elemanların modellenmesi ve hesaplamalarında Plate elemanından sıklıkla faydalanılmaktadır. Plate; iksa yapılarının, tünel kaplamalarının, kabuk elemanların eğilme davranışlarının modellenmesinde kullanılan kiriş elemanıdır. Bu elemanın davranışı eğilme rijitliği, eksenel rijitlik ve nihai eğilme momenti kullanılarak tanımlanmaktadır. Malzeme modeli olarak plastik veya elastoplastik malzeme kullanılabilir (PLAXIS Material Models Manual, 2002).

PLAXIS v8.2 programında çeşitli zemin modellerinden faydalanarak analizler gerçekleştirilebilir. Bu modellerden en çok tercih edileni Mohr-Coulomb modelidir. Basit ve doğrusal olmayan model ile dayanma yapılarına gelen basınçların ve temeller için nihai yüklerin hesaplanmasında kullanılabilir. Buna ek olarak program içerisinde birçok gelişmiş zemin modeli bulunmaktadır. Hardening Soil modeliyle elastoplastik bir hiperbolik model türü mevcuttur. Normal konsolide yumuşak zeminlerin zamana bağlı ve logaritmik sıkıştırma davranışını doğru bir şekilde modellemek için Soft Soil modelinden; eklemlili kayanın anizotropik davranışını analiz etmek için Jointed Rock modelinden faydalanılabilir.

Program vasıtasıyla şevlerin güvenlik sayıları hesap edilebilir. Bunun için Phi-C Reduction yönteminden faydalanılmaktadır. Şevlerdeki kırılma yükünün çalışma yüküne oranlanmasıyla bu hesaplamalar gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte plastic hesap yönteminden faydalanarak şevlerdeki gerilme-deformasyon davranışı tahkik edilebilmektedir.

4.4.1.3 PLAXIS v8.2 Programı ile Veri Girişi ve Modellemenin Yapılması

Vaka analizine konu olan şevde 2019 yılında gerçekleşen heyelanın sebepleri ve sonuçları PLAXIS v8.2 yazılımı ile tahkik edilmiştir. Bu kapsamda çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Öncelikle Eylül 2017 döneminde Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği öğretim üyeleri tarafından hazırlanan teknik rapora göre şev stabilitesi değerlendirilmiştir. İkinci aşamada ise hazırlanan teknik rapora sadık kalınmadan arazide yapılan hatalı uygulamalar neticesinde oluşan heyelan PLAXIS v8.2 yazılımı ile hesaplanmış ve gerçekte

karşılaşılan sonuçlar ile kıyası sağlanmıştır. Hesaplamalarda öncelikle şevde meydana gelen gerilme ve deformasyon ilişkileri belirlenmiş ve ardından şevin güvenlik sayısının yorumu yapılmıştır.

Program ilk açıldığında New Project seçeneği ile yeni bir proje oluşturulması için ilgili menüye yönlendirilir. Genel ayarlamalar menüsünde başlık ve model ayarlamaları yapılır. Şevde detaylı bir analiz gerçekleştirebilmek adına 15 düğüm noktasına sahip elemanlar kullanılmıştır. Ardından uzunluk birimi olarak metre, kuvvet birimi olarak kilonewton ve zaman birimi olarak gün seçilmiştir. Modelin çalışma ekranına sığması için sağa doğru 200 metre, yukarı doğru 100 metrelik bir ölçülendirme yapılmıştır.

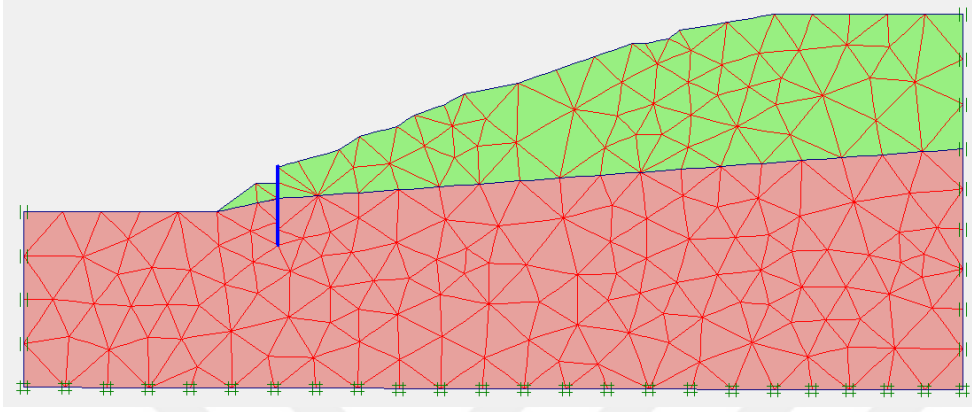
Şevin kesitinin koordinatları vasıtasıyla tanımlanmasıyla genel şev modeli meydana getirilmiştir. Ardından ara sınır tanımlaması yardımıyla Ofiyolit Melanj zemini ile Tüf-Tüfit zemini birbirinden ayrılmıştır. Malzeme sınırlarının tanımlanmasının ardından malzeme özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Materials Sets seçeneğiyle Soil&Interfaces seçilir. New seçeneği yardımıyla zemin özelliklerinin tanımlaması yapılmaktadır. Buna göre her iki zeminin de malzeme modeli Mohr-Coulomb olarak ayarlanmış ve meydana gelen heyelanın inşaat aşamasında oluşması sebebiyle kısa dönem mukavemet parametrelerinden faydalanılmıştır. Malzemelerin tanımlanmasının ardından ilgili yerlere ataması sağlanmıştır.

Kazığın malzeme özelliklerinin tanımlanmasında Plate özelliğinden faydalanılmıştır. Kazıklarda meydana gelen kesme kırılmalarının doğru şekilde yorumlanması adına elastoplastic malzeme modelinden faydalanılmıştır. Kazığın rijitlikleri aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanmıştır. Kazık tanımlamasının yapılmasının ardından şevde tasarımı gerçekleştirilmesi planlanan kısımda modellenmiş ve malzeme ataması sağlanmıştır.

$$EA = 32 * 10^6 * 0.8 * 18 = 4.608 * 10^8 \frac{kN}{m} \quad (4.7)$$

$$EI = 32 * 10^6 * \frac{18 * 0.8^3}{12} = 2.458 * 10^7 \frac{kN}{m^2} \quad (4.8)$$

Şev geometrisinin ve girdi parametrelerinin tanımlanmasının ardından sonlu elemanlar ağı modeli oluşturulmuştur. Kabalık derecesine göre beş farklı mesh oluşturulması mümkündür. İnce bir ağ oluşturulması için “fine” modeli tercih edilmiştir. Ardından Update seçeneğiyle bu menüdeki işlemler tamamlanmıştır.



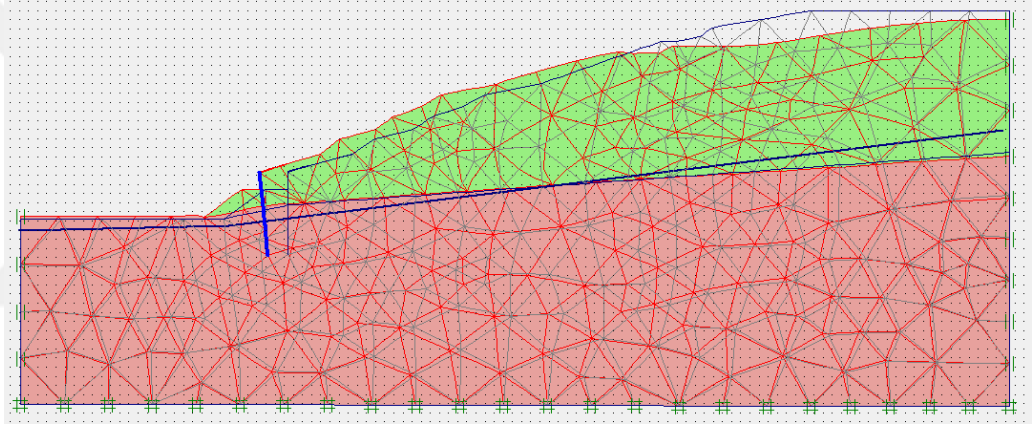
Şekil 4. 19 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Öncesi Analizin Genel Geometrisi ve Sonlu Elemanlar Ağı

Şevin ilk durumdaki özelliklerinin tanımlanması adına Initial Conditions seçeneğine tıklanır. Buradan şevdeki su seviyesinin tanımlanması, gözenek basınçlarının ve efektif gerilmelerin hesaplanması sağlanır. Bu işlemlerin ardından Calculate seçeneğinden faydalanarak hesap yöntemlerinin ve hesap fazlarının belirleneceği ekrana geçiş yapılır.

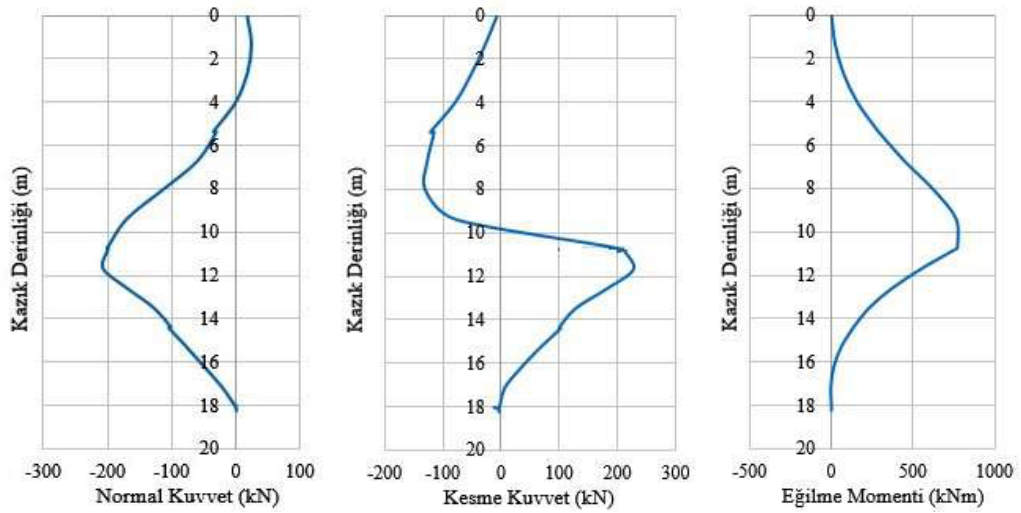
PLAXIS v8.2 vasıtasıyla Plastic, Consolidation, Phi/c Reduction ve Dynamic Analysis olmak üzere dört çeşit hesap yapmak mümkündür. Şevde gerilme ve deformasyon değerlerinin elde edilmesi adına plastic hesap yönteminden faydalanılmıştır. Hesaplamalar tek fazda gerçekleştirilmiştir. Ardından şevin genel güvenlik sayısının hesaplanması adına Phi/c Reduction hesaplamasından faydalanılmıştır. Maksimum gerilmelerin oluşması tahmin edilen kazıkların olduğu bölüme referans nokta atanmasıyla güvenlik sayısı grafikleştirilmiştir.

4.4.1.4 PLAXIS v8.2 Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

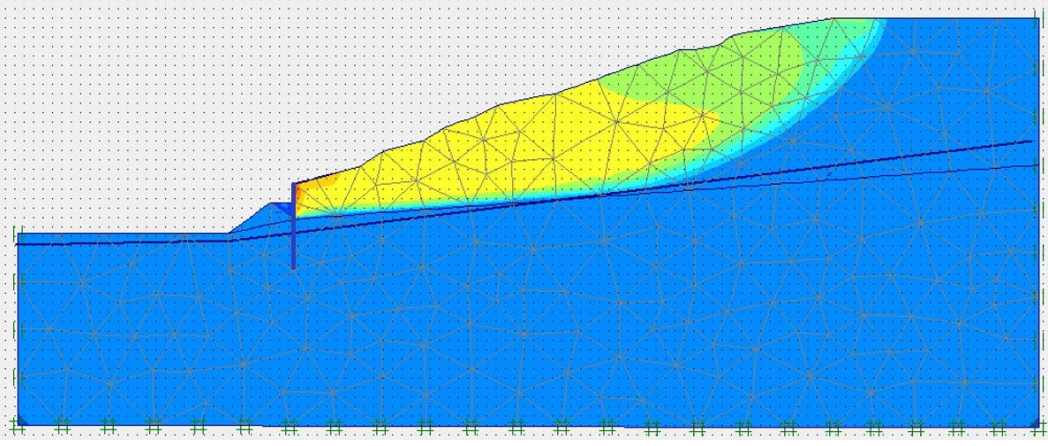
Hazırlanan teknik rapora göre yapılan şev stabilitesi analizlerinde şevdeki toplam deformasyon değerinin 23 santimetre mertebelerinde olduğu gözlenmiştir. Bu yer değiştirme değerinin büyük kısmı şevin üst kısımlarında meydana gelmektedir. Bu şartlar altında kazığa gelen en büyük kesme kuvvetinin 229.34 kN ve en büyük eğilme momentinin 776.60 kNm olduğu belirlenmiştir. Teknik raporda kazıkların dayanabileceği en büyük kesme dayanımının 444.75 kN ve kazıkların dayanabileceği en büyük eğilme momentinin 784 kNm olduğu hesaplanmıştır. Buna göre kazıkların ve şev geometrisinin analizlere göre sahada uygulanmış olması halinde kazıklarda stabilite problemleri açığa çıkmayacaktır.



Şekil 4. 20 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Öncesi Analizin Sonlu Elemanlar Ağındaki Değişimi

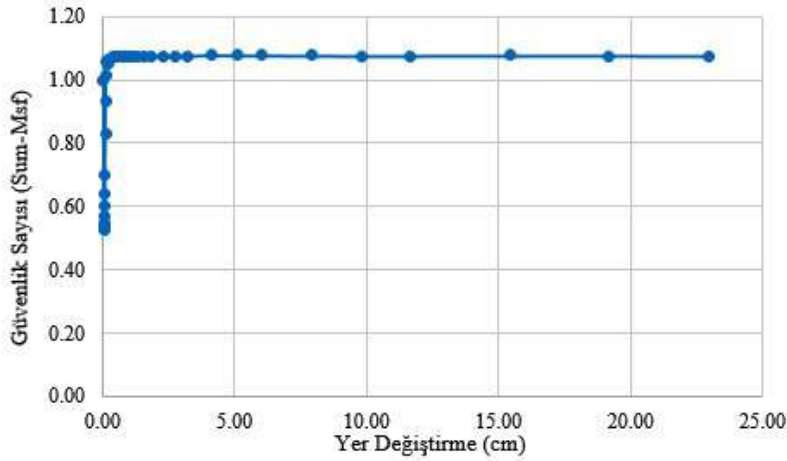


Şekil 4. 21 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Öncesi Analiz Neticesinde Kazık Tesirleri



Şekil 4. 22 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Öncesi Analizi Neticesindeki Kayma Dairesi

Şev stabilitesi analizlerinin Phi/c Reduction yöntemiyle yapılması halinde şev sistemindeki en büyük gerilmelerin kazıkların arka kısmında olduğu gözlenmektedir. PLAXIS Curves modülünden faydalananarak sistemin güvenlik sayısı belirlenmiştir. Buna göre sistemin güvenlik sayısının 1.10 mertebelerinde olduğu gözlenmektedir. Şevin güvenlik sayısının 1 değerini aşmış olması inşaat aşamasında şevin güvenilir olduğu anlamına gelmektedir. Başka bir deyişle teknik rapora uygun yapılmış bir uygulama ile inşaat aşaması başarılı şekilde tamamlanabilmektedir.

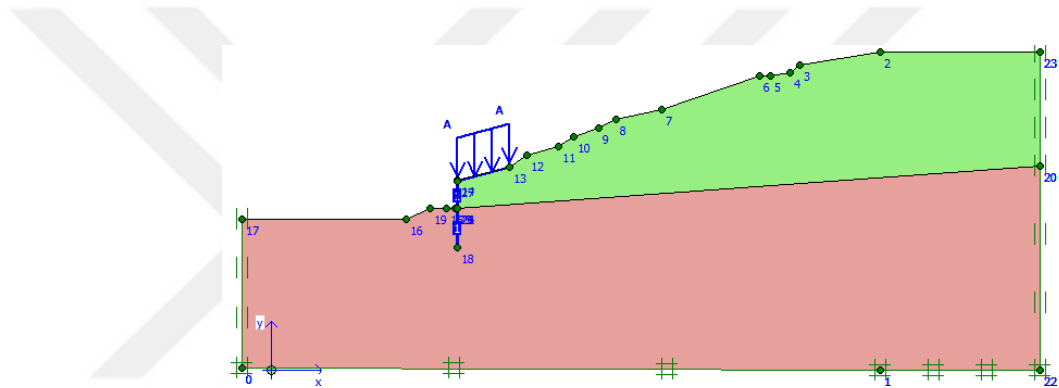


Şekil 4. 23 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Öncesi Analiz Neticesindeki Güvenlik Sayısı

Sahada gerçekleştirilen uygulamalar yukarıda belirtilen esaslara bağlı kalmadan gerçekleştirilmiştir. Buna göre kazıkların konsol olarak çalışması planlanan kısmın derinliği yaklaşık 4 metre daha artırılmış, kazıkların arka

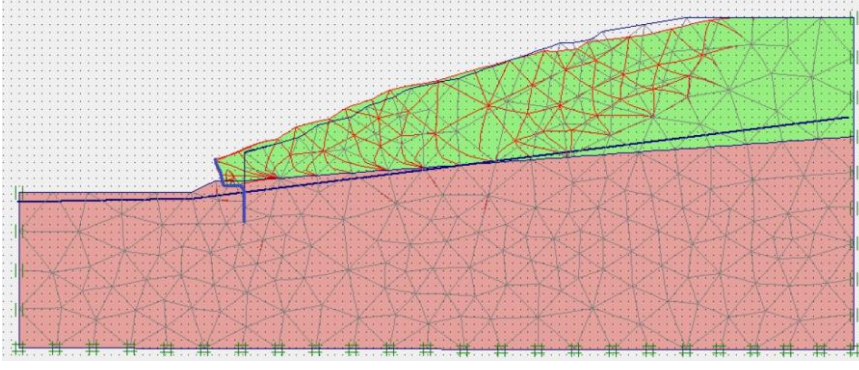
kısmına hafriyat yığılmış, yapı ve kazıklar arasında bırakılması gereken 9 metre uzunluğunda pasif toprak basıncının olacağı bölge ortadan kaldırılmış ve kazıkların üstüne projede olmayan bir istinat duvarı yapılmıştır. Böylece şevde heyelan açığa çıkmıştır.

Meydana gelen heyelanın sebeplerinin PLAXIS v8.2 programı ile araştırılmasında, önceki analizde kullanılan malzeme modellerinden faydalanılmış ve uygulamada yapılan hatalar geometri üzerinde modele aktarılmıştır. Buna göre iksa kazıklarının önü 4 metre açılmış, kazıkların arkasına 60 kN/m yükleme yapılmış, pasif basınç oluşturulması planlanan bölge ortadan kaldırılmıştır. Bu şartlar altında analizler tekrarlanmıştır.

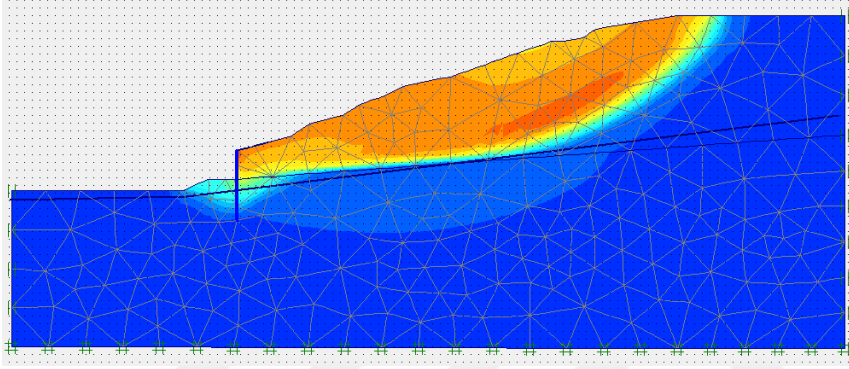


Şekil 4. 24 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Sonrası Analizi Şev Geometrisi

Hazırlanan teknik rapora uyulmaksızın yapılan uygulamalar neticesinde şev stabilitesi hesaplamalarına göre sonlu elemanlar modeline toplam yükün %94'ü uygulandığında zeminde çökmeler meydana gelmiştir. Buna göre şevde en büyük toplam deformasyon değerinin 140 santimetre mertebelerinde olduğu hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar modelinde meydana gelen yer değişikliklerinin büyük kısmının kazıkların arkasında olduğu görülmektedir. Yapılan yüklemeler altında kazığa gelen en büyük kesme kuvvetinin 986.99 kN ve en büyük eğilme momentinin 2850 kNm olduğu belirlenmiştir.

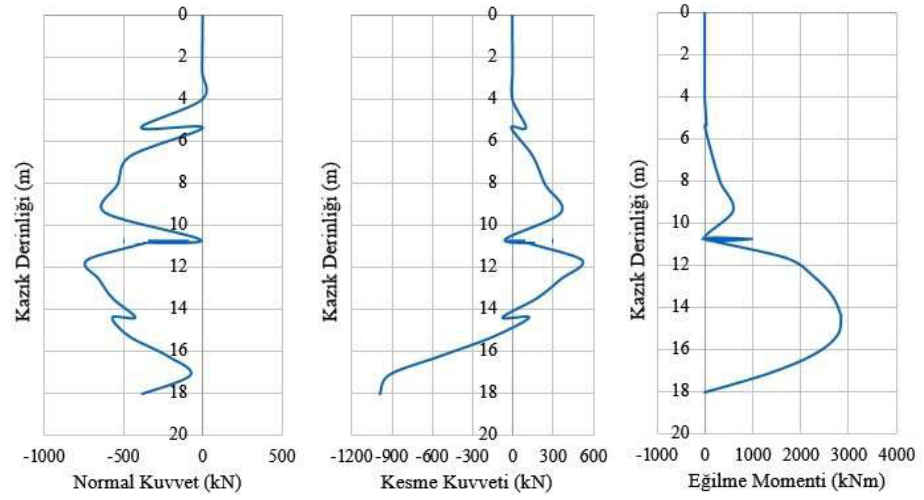


Şekil 4. 25 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Sonrası Analizin Sonlu Elemanlar Ağındaki Değişimi



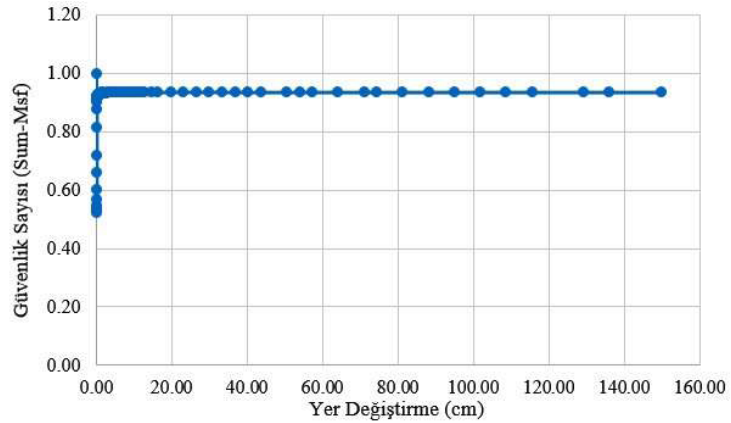
Şekil 4. 26 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Sonrası Analizi Neticesindeki Kayma Dairesi

Kazıkların dayanabileceği en büyük kesme dayanımının 444.75 kN ve kazıkların dayanabileceği en büyük eğilme momentinin 784 kNm olduğu düşünüldüğünde bu kesit tesirlerine dayanması mümkün olmayacaktır. Haliyle kazıklarda ve şevde stabilite problemlerinin meydana gelmesi muhtemeldir.



Şekil 4. 27 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Sonrası Analiz Neticesinde Kazık Tesirleri

Şev stabilitesi analizlerinin Phi/c Reduction yöntemiyle yapılması halinde şev sistemindeki en büyük gerilmelerin ve yer değiştirmelerin kazıkların arkasında olduğu gözlenmektedir. PLAXIS Curves modülünden faydalanarak sistemin güvenlik sayısı belirlenmiştir. Buna göre sistemin güvenlik sayısının 0.90 mertebelerinde olduğu gözlenmektedir. Şevin güvenlik sayısının 1 değerinin altında kalmış olması şevde hareketlerin açığa çıkacağı anlamına gelmektedir. Yapılan hatalı uygulamalar neticesinde meydana gelmiş heyelan ve kazıklardaki kırılmalar sonlu elemanlar yazılımı ile doğrulanmıştır.



Şekil 4. 28 PLAXIS v8.2’de Yapılan Heyelan Sonrası Analiz Neticesindeki Güvenlik Sayısı

4.4.1.5 MIDAS GTS NX Programı ile Şev Stabilitésinin Hesaplanması

MIDAS GTS (Geotechnical and Tunneling System) NX, yüzeysel ve derin temellerin, kazıların, tünel yapılarının, baraj yapılarının statik ve dinamik yüklemeler altında deformasyonunun incelenmesinde geoteknik tasarımlarını yapabilmek amacıyla hazırlanmış bir sonlu elemanlar analiz yazılım paketidir. Programda zemin modellerinin yanı sıra yapısal elemanlar da modellenip sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilebilmektedir.

Şevlerin stabilitésinin sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesinde MIDAS GTS NX dünya çapında en çok tercih edilen programlardan bir tanesidir. Şevlerde kayma gerilmeleri, kayma mukavemetini aşacak olursa şev hareketleri oluşmaktadır. Bu hareketlerin oluşma durumunu ve şevin kararlılığını kontrol etmek amacıyla sayısal yöntemlerin sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yapmak ve gerekli ise uygun güçlendirme elemanlarının da modellenip elemanlara gelen yüklerin bulunması ve buna göre boyutlandırılması önem arz etmektedir.

MIDAS GTS NX yazılımında zeminin her bir noktasında kuvvet dengesini ve sınır koşullarını karşılayan çözümleri, şevde meydana gelmesi muhtemel deformasyon şekillerinin simülasyonunu mümkün kılmaktadır. Ayrıca kaymaya karşı minimum güvenlik sayısını belirlemek için saha koşullarını yansıtmaktadır. Kayma düzleminin önceden varsayılmasına gerek yoktur. Program bunu otomatik olarak araştırabilir. Programda mukavemet azaltma yönteminden faydalanan kayma mukavemeti kademeli olarak azaltılır. Bir noktadan sonra kayma gerilmeleri, kayma mukavemetini aşacaktır. Bu durumda şevde kırılmaların olduğu varsayılır ve maksimum mukavemet azaltması oranı şev için minimum güvenlik sayısı olarak kabul edilebilir (MIDAS GTS NX User Manual, 2019).

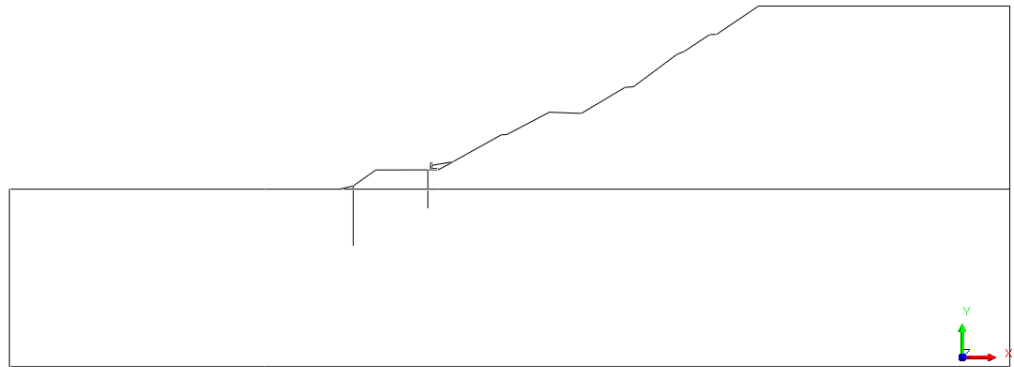
4.4.1.6 MIDAS GTS NX ile Veri Giriş ve Modellemenin Yapılması

Programda çalışma aşamaları; geometrinin modele aktarılması, malzeme özelliklerinin tanımlanması, sonlu elemanlar ağı (mesh) oluşturulması, sınır

koşullarının tanımlanması, dış yüklerin tanımlanması, inşaat aşamalarının tanımlanması ve analizlerin yapılıp sonuçların yorumlanması şeklindedir.

Programda ilk olarak modelleme çalışmasının model tipi ve kullanılacak birimler seçilmelidir. Şev kesiti iki boyutlu olarak çıkarıldığı için model tipi 2D olarak seçilmelidir. İki boyutta çalışılacağı için program yerçekiminin yönünü Y yönü olarak otomatik seçmektedir. Metrik birim sistemi kullanılmak üzere; kuvvet birimi olarak kilonewton (kN), uzunluk birimi olarak metre (m), ısı birimi olarak joule (J) ve zaman birimi olarak saniye (sec) seçilmiştir. Yerçekimi ivmesi $9,80665 \text{ m/sn}^2$ ve ekrana dik eksenin kalınlığı 1 metre seçilmiştir. Ardından analiz ayarları onaylanarak çıkıldığında modelin çizim ekranı XY ekseninde oluşturulmuş olmaktadır.

Model, program içerisindeki çizim araçlarından faydalanılarak çizilebildiği gibi herhangi bir çizim programında oluşturularak içeri aktarılabilir. Şev modelinin programda oluşturulması için AutoCAD ortamında geometrisi oluşturulmuş ve dxf. uzantılı çizim, program içerisine aktarılmıştır. Böylece şevi meydana getiren zeminlerin, kazıkların, istinat yapısı ve dolgu tabakası çizim ekranına getirilmiştir. Şev geometrisi düzgün biçimde oluşturulmuş görünmesine rağmen malzemelerin ilgili alanlara nizami biçimde yerleştirilmesi ve sonlu elemanlar ağının meydana getirilmesinde bir problem meydana gelmemesi amacıyla Intersection aracı ile geometrisinin kontrolü sağlanır.



Şekil 4. 29 Çizim Modelinin Programın İçerisine Aktarılması

Malzemeleri tanımlamak ve model içerisinde ilgili yere atamak için sonlu elemanlar ayarlarının yapıldığı mesh menüsü içerisinde materials'e tıklanır.

Herhangi yeni bir malzemenin oluşturulması için create'e tıklanır. Ardından açılan pencerede malzeme özellikleri tanımlanır. Modelin oluşturulabilmesi için dört adet malzemenin tanımlanması gerekmektedir. Bunlar; Ofiyolitik Karmaşığı (melanj), Tüf-Tüfit-Pomza Karışımı (tüf), beton ve dolgu malzemesidir.

General menüsü içerisinde zemin veya yapı elemanına dair genel ayarlamalar yapılmaktadır. Buna göre, analizlerin gerçekleştirilmesi için elastisite modülü, poisson oranı, zeminin doğal birim hacim ağırlığı, sukunet halindeki toprak katsayısı parametrelerinin tanımlanması gerekmektedir. Zeminlerde malzeme tipi olarak Mohr Coulomb, betonda ise Elastic modelden faydalanılmıştır. Beton malzemesinin tanımlamaları yapılırken C30 betonunun karakteristik parametreleri üzerinden girdiler sağlanmıştır. Buna göre C30 betonunun 28 günlük dayanımı neticesinde oluşan elastisite modülü olarak 32000 MPa ve poisson oranı olarak 0,1 seçilmiştir. Malzeme özelliği olarak bir yapı elemanı olduğunu belirtmek amacıyla structure seçeneğinin işaretlenmesi gerekmektedir.

Porous penceresi altında zeminin geçirgenliğine yönelik parametrelerin tanımlanması gerekmektedir. Malzemenin doygun birim hacim ağırlığı, boşluk oranı ve drenaj koşulları bu pencerede tanımlanır. Uzun dönem parametreleri üzerinden sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirildiği için malzemeler drenajlı olarak tercih edilmiştir.

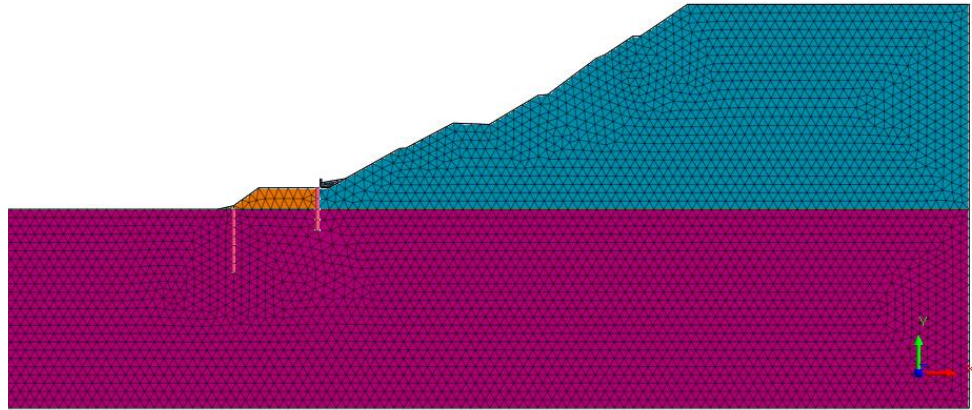
Non-Linear penceresi altında ise zeminin kayma mukavemeti parametrelerinin tanımlanması gerekmektedir. Yapılan saha ve laboratuvar çalışmaları ve literatür bilgilerinden elde edilen kohezyon ve içsel sürtünme açısı parametreleri bu menüde tanımlanmaktadır.

Zeminlerin ve yapı elemanlarının tanımlanmasının ardından sonlu elemanlar ağının oluşturulabilmesi için malzemelerin model üzerindeki niteliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Bunun için property menüsüne giriş yapılır. Burada create menüsü altından malzemenin kaç boyutta davranışa sahip olduğu işaretlenir. Zemin elemanları için düzlemsel davranış göstereceği için iki boyutlu Plane-Strain modelinden faydalanılmıştır. Kazıklar ise kesme kuvvetlerine karşı

geleceği için bir boyutlu model olarak kiriş (beam) özelliğinden faydalanarak tanımlanmıştır. Kazıkların kesit alanı, efektif kesme alanı ve eksenlere bağlı atalet momenti hesaplamaları program tarafından otomatik yapılmaktadır. Bunun için Beam menüsü altından Section seçeneğinin seçilmesi, Solid Round işaretlenmesi ve kazık çapının girilmesi yeterlidir.

Geometrinin oluşturulması, zemin ve yapı elemanı özelliklerinin tanımlanmasının ardından sistem sonlu elemanlar ağının oluşturulması için hazırdır. Bunun için tanımlanan malzemelerin oluşturulan geometri üzerine atanması gerekmektedir. Kazık elemanları, Generate 1D Mesh Automatically seçeneği ile oluşturulmaktadır. Kazık elemanının ilgili yere atanması için geometri üzerinde kazığın atanacağı yerde bulunan çizgi elemanı seçilir ve property seçeneği altından kazığın niteliği seçilir. Ardından apply'a tıklanır ve kazıklar model üzerinden oluşturulmuş olur.

Zeminler ise Generate 2D Mesh Automatically seçeneği ile atanmaktadır. Sonlu elemanlar ağını oluşturmak için en kolay yöntemlerden bir tanesi Auto-Area seçeneğidir. Bu seçenek yardımıyla sonlu elemanlar ağının türü ve boyutu ayarlandıktan sonra malzeme atamasının yapılacağı alanı seçmek ve Apply'a tıklamak yeterlidir.



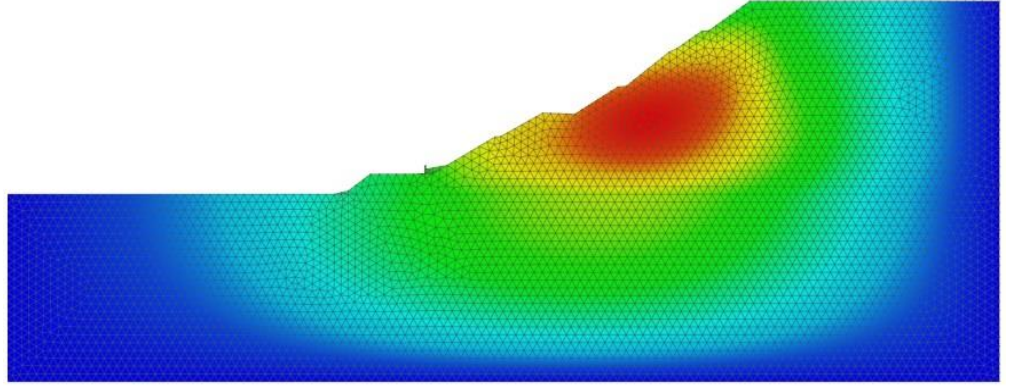
Şekil 4. 30 MIDAS GTS NX ile Şev Modelinin Oluşturulması

Oluşturulan sonlu elemanlar modelinde kenar bölgelere gelen gerilmelerin sıfırlanacağı ve bunun sonucu olarak deformasyonun oluşmayacağı var sayılır. Bundan ötürü modelin kenar bölgelerinde mesnetlerin atanması gerekmektedir. Mesnetleri oluşturmak için Constraint seçeneğinden faydalanılır. Mesnetler Basic ve Advanced seçenekleri ile modeli oluşturan mühendis tarafından oluşturulabildiği gibi Auto seçeneği ile de oluşturulabilir. Auto seçeneği modelin kenar noktalarını algılamakta ve mesnetlerini atamaktadır.

Analizin başlaması için Analysis seçeneğine tıklanır ve perform penceresi açılır. Şevde oluşacak deformasyonların ve kazıklara gelen kuvvetlerin hesabı için Non-Linear Static (NL) seçeneği ve şevin güvenlik sayısının yorumlanması için Slope Stability Strength Reduction Method (SRM) aktif edilir. Ardından OK'a tıklanır ve hesaplamalar başlatılır.

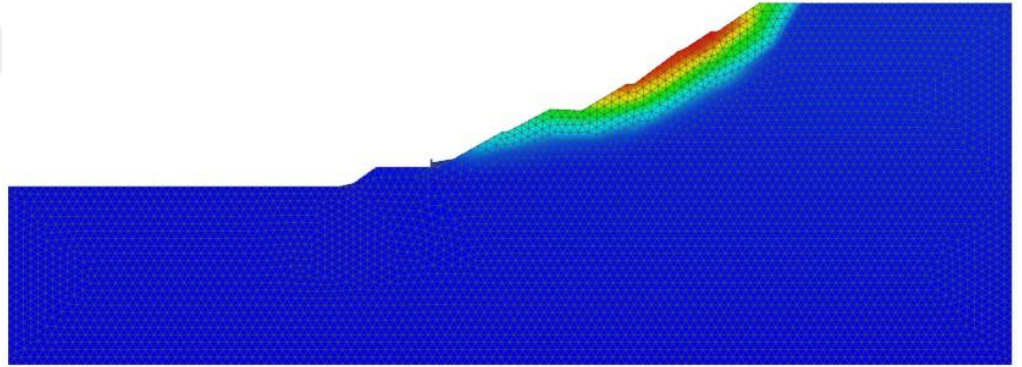
4.4.1.7 MIDAS GTS NX Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

Yapılan analizlerde mevcut denge halinde şevde beklenen en büyük yatay yer değiştirmeler şevin orta bölümünde oluşmakta olup ortalama 10 santimetre mertebesinde 17 santimetre mertebesine kadar yükselmektedir. Bu durum statik denge halinde şevde ofiyolitik karmaşığı içerisinde gevşek olan kısımlarda bölgesel akmaların olacağını fakat mevcut şevde toptan göçme hareketinin oluşmayacağını göstermektedir. Kazıkların kesme kuvveti diyagramı incelendiğinde -2,15 kN ve +1,67 değişimin meydana geldiği görülmektedir. Buna bağlı oluşturulan eğilme momenti değerleri ise -2,06 kNm ve +2,80 kNm arasındadır.



Şekil 4. 31 MIDAS GTS NX ile Yatay Deplasmanların Hesaplanması

Program destekli yapılan hesaplamalar neticesinde mukavemet azaltma yöntemine göre şevin genel güvenlik sayısı $GS=1,51875$ bulunmuştur. Buna göre dengenin bozulduğu ve sonlu elemanlar ağının deformasyonları tutamadığı duruma gelene kadar gerilme tabanlı hesap yöntemi ile mukavemet parametreleri düşürülmüştür. Böylece elde edilen birim deformasyon değişimi vasıtasıyla şevdeki kayma dairesi net olarak görülebilmektedir.



Şekil 4. 32 MIDAS GTS NX ile Şevde Oluşan Kayma Dairelerinin Hesaplanması

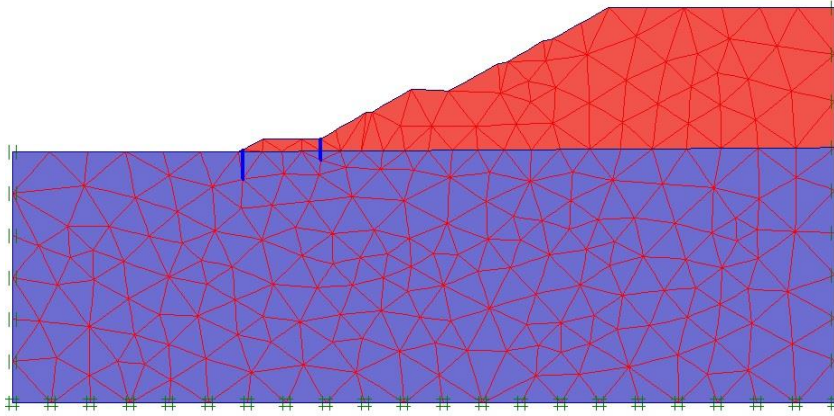
Kazıklara gelen kesme kuvvetleri ve eğilme momentlerinin yeni yapılması planlanan kazıklarda yoğunlaştığı görülmektedir. Buna göre yeni yapılacak kazıkta maksimum kesme kuvveti 39,63 kN olarak meydana gelmiştir. Eğilme momentinin ise maksimum değeri 30,93 kNm ve minimum değeri ise -12,11 kNm'dir. Oluşan maksimum kesit tesirleri ofiyotik karmaşığı ve tuf-tüfit-pomza tabakalarının geçiş bölgesinde meydana gelmiştir. Kazığın betonarme hesabının yapılmasında gelen maksimum kuvvetler ve eğilme momentlerinden

faydalanılmıştır. Böylece kazıklar olası bir kayma durumunda gelecek maksimum yükleri karşılayabilecek ve kaymanın oluşması engellenmiş olacaktır.

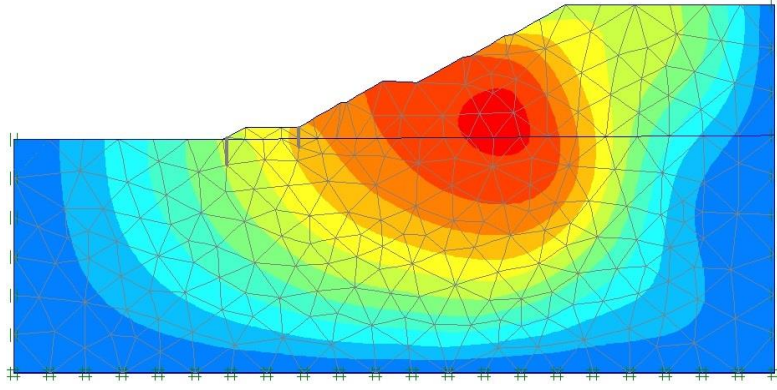
4.4.1.8 MIDAS GTS NX ve PLAXIS v8.2 Analiz Sonuçlarının Kıyası

Şevin sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesinde MIDAS GTS NX ve PLAXIS v8.2 yazılım paketlerinin sonuçlarının kıyası gerçekleştirilmiştir. Buna göre MIDAS GTS NX yazılımında yapılan non-linear analizlerinde maksimum deformasyon 17 cm mertebesinde iken PLAXIS V8.2 ile yapılan plastic analizlerde 21 cm mertebesinde elde edilmiştir.

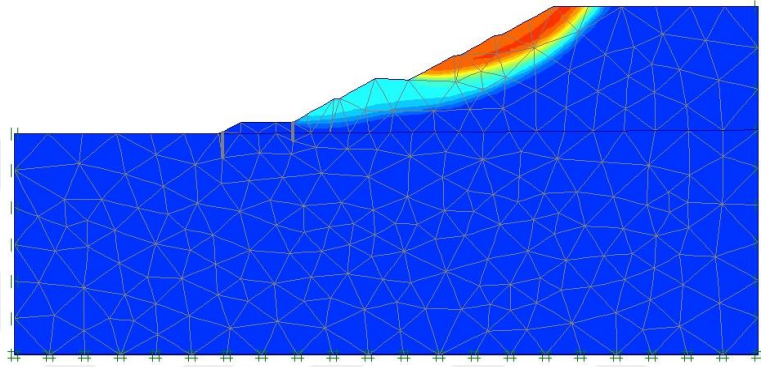
Güvenlik sayılarının tahkikinde ise MIDAS GTS NX yazılımında yapılan Strenght Reduction Method ile yapılan analizlerde şevin kaymaya karşı güvenlik sayısı 1.518 mertebelerinde iken PLAXIS v8.2 yazılımında yapılan Phi-C Reduction analizlerinde güvenlik sayısı 1.590 mertebelerinde elde edilmiştir. Yapılan deformasyon ve güvenlik sayısı analizleriyle birlikte her iki yöntemin de yakın sonuçlar verdiği tahkik edilmiştir. Ayrıca deformasyon bölgelerinin ve kayma dairelerinin yaklaşık olarak aynı bölgelerde olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4. 33 PLAXIS v8.2 ile Şev Modelinin Oluşturulması



Şekil 4. 34 PLAXIS v8.2 ile Yatay Deplasmanların Hesaplanması



Şekil 4. 35 PLAXIS v8.2 ile Şevde Oluşan Kayma Dairelerinin Hesaplanması

4.4.2 Sonlu Farklar Yöntemine Bağlı Şev Stabilitesi Analizleri

4.4.2.1 Sonlu Farklar Yönteminin Esasları

Sonlu farklar yöntemi A. Thom tarafından 1920’li yıllarda karelemeye yönelik bir yöntem olarak geliştirilmiştir. Bu yöntemde çözüm yapılacak kısım ızgara sistemlerine bölünmektedir. Tanımlanan malzeme modellerine bağlı olarak diferansiyel denklemler sonlu fark denklemlerine eşdeğer bir yaklaşım kullanılarak çevrilmektedir. Ortaya çıkan denklemler bir noktadaki bağımlı değişkenler cinsinden ifade edilmektedir. Ardından denklemlerin belirlenen sınır veya başlangıç koşulları kullanılarak çözümü gerçekleştirilir (Bayıroğlu, 2015).

Sonlu farklar yöntemi; sonlu elemanlar yöntemine göre çok yakın tasarımsal özellikler göstermektedir. Temel denklemler kümesinde yer alan gerilme, yer değiştirme gibi değişkenleri cinsinden yazılmış bir cebirsel ifade ile doğrudan yeri değiştirilmektedir. Bu değişkenler başka yerlerde tanımsızdır. Buna karşılık sonlu elemanlar yöntemi, parametreler tarafından yönetilen belirli fonksiyonları kullanarak her eleman boyunca önceden belirlenmiş bir gerilme deformasyon değişimine yönelik merkezi bir gereksinime sahiptir. Sonlu elemanlar yöntemiyle genellikle eleman matrisleri bir rijitlik matrisiyle birleştirilir. Fakat sonlu farklar yönteminde her adımda sonlu fark denklemini yeniden oluşturmak nispeten daha verimli olmaktadır (Bayıroğlu, 2015).

Geoteknik tasarım problemlerinin çözümlenmesinde 1960'lı yılların sonlarında Dr. Peter Cundall belirli kısıtlamalar dahilinde daha uygun sayısal modelleme tekniklerinin geliştirilmesinin gerekliliğini belirtmiştir. Sonlu farklar yöntemi bu yıllardan itibaren geoteknik mühendisliği için önem arz eden metotların başında gelmiştir (Fairhurst, 2015).

4.4.2.2 FLAC Slope v8.1 Programı ile Şev Stabilitésinin Hesaplanması

FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua) mühendislik mekaniği hesaplaması için iki boyutlu, açık bir sonlu fark sayısal programıdır. İlk olarak 1986 yılında özellikle Microsoft Windows sistemlerinde çalışan mikrobilgisayarlarda analizler yapmak için geliştirilmiştir. Bugün, yazılım, birkaç bin eleman içeren model ızgaralarının yüksek hızlı hesaplanması için çok çekirdekli işlemenin avantajlarından yararlanmak üzere tasarlanmıştır. FLAC başlangıçta geoteknik ve maden mühendisleri için geliştirilmiştir ve o zamandan beri bu çok yönlü program çeşitli inşaat, madencilik ve makine mühendisliği alanlarında temel bir analiz ve tasarım aracı haline gelmiştir (Fairhurst, 2015).

FLAC Slope v8.1 modülüyle şev mekaniğindeki karmaşık sorunların çözümünde oldukça gerçekçi sonuçlar vermektedir. Malzemeler kullanıcı tarafından modellenecek nesnenin şekline göre ayarlanan bir ızgara modeli içerisinde temsil edilmektedir. Izgara modelinde oluşturulan her bir eleman uygulanan kuvvetlere veya sınır kısıtlamalarına cevap niteliğinde önceden

belirlenmiş bir doğrusal/doğrusal olmayan gerinim yasasına göre davranmaktadır. Şev geometrisine bağlı olarak malzemelerde deformasyon hareketi görüntülenip ve güvenlik sayısını yorumlanabilmektedir. FLAC, büyük yer değiştirmelerin ve malzeme çökmelerini modellemek için uygun olan "Lagrange" hesaplama şemasına dayanmaktadır. Jeolojik veya benzer malzemeleri temsil eden yüksek düzeyde doğrusal olmayan, geri döndürülemez tepkileri simüle etmek için çeşitli yerleşik kurucu modeller mevcuttur (Fairhurst, 2015).

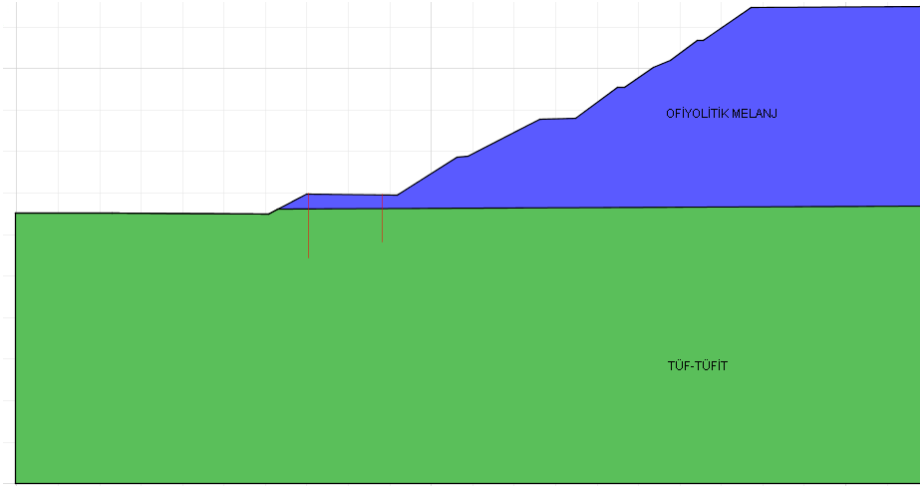
4.4.2.3 FLAC Slope v8.1 Programı ile Veri Girişi ve Modellemenin Yapılması

FLAC Slope v8.1 programı açıldığında ilk olarak model ayarlamalarının yapılacağı ekran kullanıcıyı karşılamaktadır. Bu menüde kullanılacak birim ayarlamaları; yapısal elemanların, su tablasının, yapı zemin ara yüzlerinin, standart yerçekimi ivmesinin kullanılıp kullanılmayacağı sorulmaktadır. Ardından OK seçeneğiyle çizim ekranı aktif hale getirilir.

Şev geometrisinin oluşturulmasında Bound seçeneğinden faydalanılmaktadır. Programda tanımlı olan şev modelleri kullanıldığı gibi kullanıcıya koordinatların girilmesi vasıtasıyla da şev oluşturma şansı verilmektedir. Bu durum çok palyeli veya karmaşık geometriye sahip şevlerin modellenmesinde oldukça faydalı bir çözüm sağlamaktadır. Şevin dış geometrisinin tanımlanmasının ardından ara katmanların ve malzeme sınırlarının oluşturulmasında Layers seçeneğinden faydalanılır. İlgili sınırların tanımlanmasının ardından zemin modellemesi tamamlanmış olmaktadır.

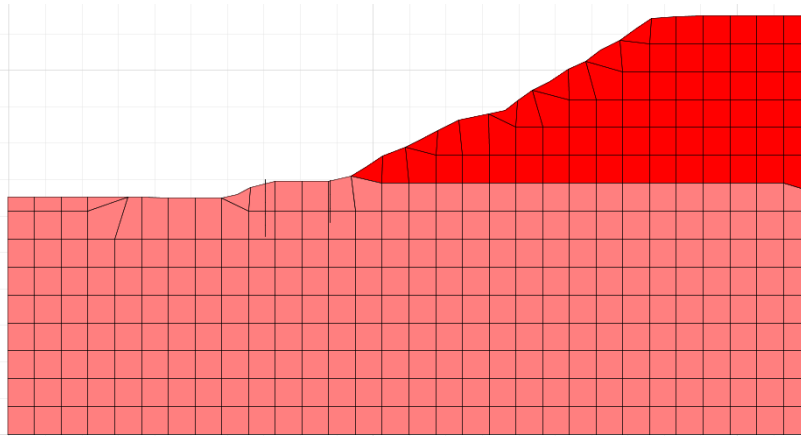
Şevi meydana getiren zeminlerin özelliklerinin tanımlanmasında Material seçeneğinden faydalanılmaktadır. Burada Ofiyolitik Melanj ve Tüf-Tüfit zeminleri; Mohr Coulomb malzeme modelinden faydalanarak malzemenin birim hacim ağırlığının, porozitesinin, kohezyonunun, içsel sürtünme açısının, dilatansi açısının ve varsa zemin çekmesinin tanımlanmasıyla oluşturulmuştur. Ardından malzeme atamaları ilgili kısımlara yapılmıştır.

Kullanılan kazıkların modele aktarılması ve özelliklerinin tanımlanmasında Reinforce seçeneğinden faydalanılmıştır. Bu seçenek aktif edildiğinde açılan menüde kazıklar ilgili koordinatlarda tanımlanmıştır. Ardından elastisite modülü, dayanım parametreleri ve malzeme kalınlığı değerleri programda tanımlanmış ve malzeme atamaları sağlanmıştır.



Şekil 4. 36 FLAC Slope v8.1 ile Analiz Öncesi Şev Geometrisinin Tanımlanması

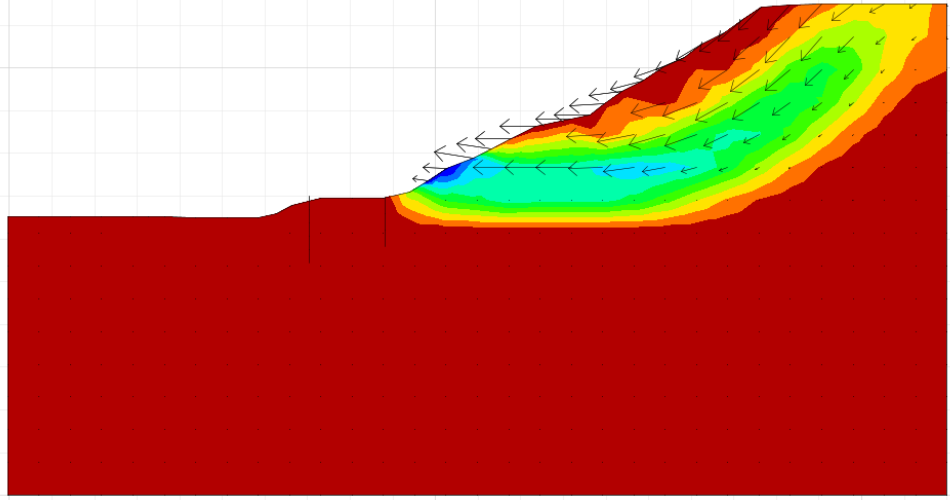
Geometrinin oluşturulması, malzeme atamalarının yapılmasının ardından Solve seçeneğiyle ızgara sisteminin oluşturulması sağlanır. Programda sıklık derecesine bağlı olarak Coarse (Kaba), Medium (Orta), Fine (Sıkı) üç adet ızgara sistemi bulunmaktadır. Hesaplamaların pratik biçimde gerçekleştirilebilmesi adına kaba tip ızgara modelinden faydalanılmıştır. Ardından Solve FoS seçeneğiyle sistemin güvenlik sayısı ve birim kayma deformasyon miktarları tahkik edilmiştir.



Şekil 4. 37 FLAC Slope v8.1 ile Sonlu Farklar Ağıının Tanımlanması

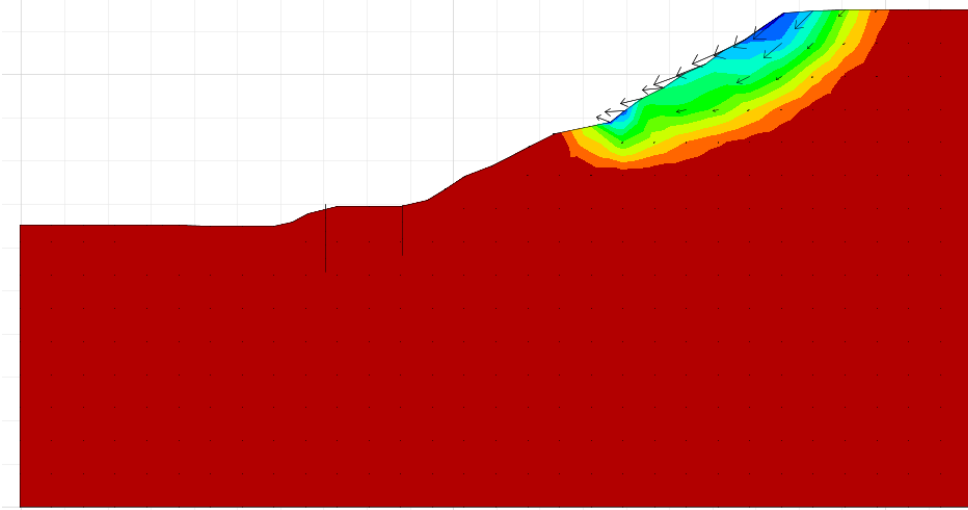
4.4.2.4 FLAC Slope v8.1 Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

FLAC Slope v8.1 programıyla kısa ve uzun dönem mukavemet parametrelerinin kullanılmasıyla iki farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Kısa dönem analizlerinde şevde meydana gelmesi muhtemel olan hareketin şevin üst kısımlarından başlayıp yeni yapılması planlanan kazıkların hemen arkasında son bulduğu görülmektedir. Kısa dönem analizlerinde şevin güvenlik sayısının 1.393 mertebelerinde olduğu belirlenmiştir. Kazıkların hemen arka kısmında birim kayma deformasyonlarının yoğunlaştığı ve maksimum değerinin $5.0000E-05$ olduğu gözlenmiştir. Hesaplama 4420 adımda gerçekleştirilmiştir. Kısa dönem zemin parametreleri ve yapılacak kazık imalatlarına bağlı olarak şevin güvenli olduğu sonucu çıkmaktadır.



Şekil 4. 38 FLAC Slope v8.1 Kısa Dönem Analizi Sonuçları

Programda uzun dönem parametrelerinin kullanılmasıyla yapılan analizler neticesinde şevin güvenlik sayısının 1.545 mertebelerinde olduğu belirlenmiştir. Uzun vadede şevdeki hareketlerin şevin üst kısımlarında yoğunlaştığı ve en büyük birim kayma deformasyonlarının $2.2000E-4$ olduğu hesaplanmıştır. Hesaplama 5525 adımda gerçekleştirilmiştir. Kazık imalatının gerçekleştirilmesi ve şevde ilgili palyelendirme çalışmalarının yapılması neticesinde şevin güvenli olacağı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4. 39 FLAC Slope v8.1 Uzun Dönem Analizi Sonuçları

4.4.3 Limit Denge Yöntemine Bağlı Şev Stabilitesi Analizleri

4.4.3.1 Limit Denge Analizi Yöntemlerine Genel Bakış

Şev stabilitesi analizlerinde Limit Denge Yönteminin kullanımının yaklaşık bir asırlık geçmişi bulunmaktadır. İsveç Demiryollarının meydana gelen şev kaymalarını incelemek adına görevlendirdiği Geoteknik Komisyonunun 1922 yılında ortaya koyduğu ve günümüzde İsveç Kayma Yöntemi olarak bilinen yöntem, limit denge analizlerinin atasıdır. Bu yöneme bağlı olarak şevlerin kayma hareketlerinin dairesel bir kayma yüzeyine sahip olduğu ortaya konmuştur.

Fellenius, 1927’de İsveç Dilim Yöntemi veya Fellenius Yöntemi olarak geçen çalışmalarını ortaya koymuştur. Bu yöntemde dairesel olduğu kabul edilen kayma dairesi düşeyde dilimlere ayrılmaktadır. Her dilimin şev stabilitesine olan etkisi ayrı ayrı tahkik edilmekte ve ardından şevin genel stabilitesi hakkında yorum yapılabilmektedir. Bu yöntemin dezavantajı ise dilimlerin birbiri arasında oluşan kuvvetlerin sönümlendiğini kabul etmesidir. Böylece şev stabilitesinin gerçekten stabilize değerlerinden sapma ihtimali artmaktadır. Bunun bir sonucu olarak güvenlik sayısı diğer yöntemlere göre düşük çıkmaktadır. Ayrıca yüksek gözenek basınçlarının var olduğu düz şevlerde kullanımı uygun değildir.

Bishop 1955'te Fellenius yöntemini geliştirerek dilimler arası normal kuvvetleri de oluşturduğu yöntemine dahil etmiştir. Böylece güvenlik sayılarının gerçeğe daha yakın biçimde hesaplanması sağlanmıştır. Basitleştirilmiş Bishop yöntemi olarak geçen çalışma düşey denge ve moment dengelerine göre analiz gerçekleştirebilmektedir. Yatay denge hali hesaplamalara katılmadığı için tam bir denge yöntemi olarak incelenememektedir.

Janbu 1957'de dilimler arası normal kuvvetleri hesaplamalarına dahil ettiği şev stabilitesi hesap yöntemini geliştirmiştir. Ancak bu yöntemle göre yatay ve düşey kuvvet dengeleri gözletilmektedir. Moment dengesini kapsamayan bir yöntemdir. Dairesel veya dairesele olmayan kayma yüzeylerinin hesaplanmasında kullanılabilir. Dilimler arası yatay kuvvetlerin eğimleri aynı olabilir veya farklılıkların olduğu varsayılabilir.

Morgenstern ve Price 1965'te hem yatay ve düşey kuvvetlerin hem de moment dengesinin şev stabilitesi tahkiklerine dahil edebildiği yöntemini geliştirmiştir. Kuvvet ve moment dengelerinin bir arada kullanılması önceki yöntemlere göre daha gerçeğe yakın sonuçların elde edilebilmesini sağlamaktadır. Dilimler arasında oluşacak normal ve kayma kuvvetleri arasında sabit bir oran olmadığını varsaymakta ve bu değişken vasıtasıyla stabilite çözümü karmaşık bir hale bürünmektedir. Morgenstern ve Price bilgisayar destekli modelleme programları ile analiz edilebilmektedir.

Spencer 1967'de Morgenstern ve Price yöntemine oldukça benzer yöntemini sunmuştur. Spencer Yöntemi, Morgenstern ve Price Yönteminden farklı olarak dilimler arasında oluşacak normal ve kayma kuvvetleri arasında sabit bir oran olduğu varsaymakta ve hesaplamalara bu şekilde dahil etmektedir. Yöntem hem dairesele hem de dairesele olmayan kayma yüzeyleri için geçerlidir.

Fredlund 1981'de Genelleştirilmiş Limit Denge yöntemini geliştirmiştir. Moment, düşey ve yatay kuvvet dengesine bağlı hesaplama yapabilen bu yöntem hem dairesele hem de dairesele olmayan kayma yüzeylerinin stabilite tahkiklerinde kullanılabilir.

4.4.3.2 SLIDE v6.0 Programı ve Şev Stabilitesinin Hesaplanması

Slide v6.0, Rocscience firması tarafından geliştirilen iki boyutlu şev stabilitesi analizleri yapabilen bir programdır. Slide v6.0 programıyla doğal şevlerin, insan yapımı (tasarlanmış) şevlerin veya madencilik, sanayi sektörlerinden elde edilen yan ürünlerin, atık yığınlarının stabilite tahkikleri için kullanılabilir. Ayrıca stabilitenin yetersiz gelmesi halinde program vasıtasıyla kazık, ankraj, zemin çivisi, geotekstil gibi güçlendirme çalışmaları modellenabilir ve sonuçları yorumlanabilir.

Program ile hem dairesel hem de dairesel olmayan bileşenlere sahip kompozit kayma yüzeylerinin hesaplaması yapılabilir. Dairesel olmayan kırılma yüzeylerinin analiz edilmesinde ve minimum dairesel olmayan kayma yüzeyini araştırma yeteneğine sahiptir. Slide v6.0 kullanımı kolay bir grafik arayüze sahiptir. Bu sayede çok çeşitli modelleme ve veri yorumlama işlevleri sağlamaktadır. Bishop, Janbu, Spencer, Corps of Engineers, Lowe-Karafiath ve Morgenstern-Price (Genelleştirilmiş Limit Denge Analizi) yöntemleri gibi yaygın olarak kullanılan bir dizi limit denge analizi yaklaşımını kullanarak dairesel ve dairesel olmayan eğim göçme yüzeyleri için güvenlik sayılarını hesaplar.

Kullanımı kolay model oluşturma ve düzenleme araçları, sağlam geoteknik mühendisliği uygulamasının altında yatan parametrik çalışmaları gerçekleştirmek için çok uygun araçlar sağlar. Grafik veri yorumlayıcı, kullanıcılara model sonuçlarını görüntülemek ve analiz etmek için zengin bir araç seti sunmaktadır.

Slide v6.0 ile belirtilen koşullar altında şevlerin stabilitesinin değerlendirilmesi, şevlerin göçme olasılıklarının değerlendirilmesi, şev üzerinde önerilen değişikliklerin etkisinin belirlenmesi, alternatif iyileştirme veya önleyici tedbirlerin etkinliğinin karşılaştırılması, geometri, malzeme özellikleri ve yeraltı suyu koşulları gibi kritik parametrelerdeki değişikliklerin şevlerin stabilitesi üzerindeki etkisini değerlendirmek için duyarlılık analizleri gerçekleştirilebilmektedir.

Halihazırda meydana gelen kaymaların analizi ile heyelanlar yorumlanabilir. Bu, kayma mekanizmalarının anlaşılmasına ve yerinde malzeme özelliklerinin elde edilmesine yardımcı olur. Ayrıca program ile deprem gibi istisnai yüklerin yamaçlar ve setler üzerindeki etkilerinin değerlendirilebilmektedir.

Slide v6.0 şevlerde bir yeraltı suyu probleminin kolayca tanımlanmasına ve analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Yeraltı suyu seviyesinin yalnızca bir kez tanımlanması yeterlidir. Böylece tanımlanan su hem şev stabilitesi analizlerinde hem de suyun sızma analizlerinde kullanılabilir.

4.4.3.3 SLIDE v6.0 Programı ile Veri Girişi ve Modellemenin Yapılması

Şevin SLIDE v6.0 programı ile limit denge analizlerinin gerçekleştirilmesinde ilk adım proje ayarlarının yapılmasıdır. Analysis seçeneğinin seçilmesinin ardından Project Settings'e girilir. Ardından General penceresinden şevin genel stabilite ayarları yapılmaktadır. Gerilme birimi olarak metrik sistem, zaman birimi olarak gün, geçirgenlik birimi olarak metre/saniye seçilmiştir. Programa modeli aktarılacak şevde kaymalar sağ taraftan sol tarafa doğru gerçekleşecektir. Bundan dolayı Failure Direction seçeneği Right to Left olarak seçilmiştir.

Analizlere dahil edilecek yöntemler Methods penceresi altında seçilmektedir. Buna göre şevin stabilite tahkikleri Basitleştirilmiş Bishop, Basitleştirilmiş Janbu, Fellenius (İsveç Dilim Yöntemi) ve Spencer yöntemlerinden faydalanılarak yapılmıştır. Şevdeki sızıntı sularının incelenmesinde Groundwater seçeneğinin aktif edilmesi gerekmektedir. Suyun birim hacim ağırlığı $9,810 \text{ kN/m}^3$ olarak ayarlanmıştır.

Şev modeli program içerisinde manuel olarak Boundaries menüsü altında Add External Boundary komutu ile şevin köşe koordinatlarından faydalanarak çizimi gerçekleştirilebilir. Pratiklik sağlaması adına şevin dış sınırları AutoCAD ortamında oluşturulup program içine aktarılmıştır. Şevde kaymanın

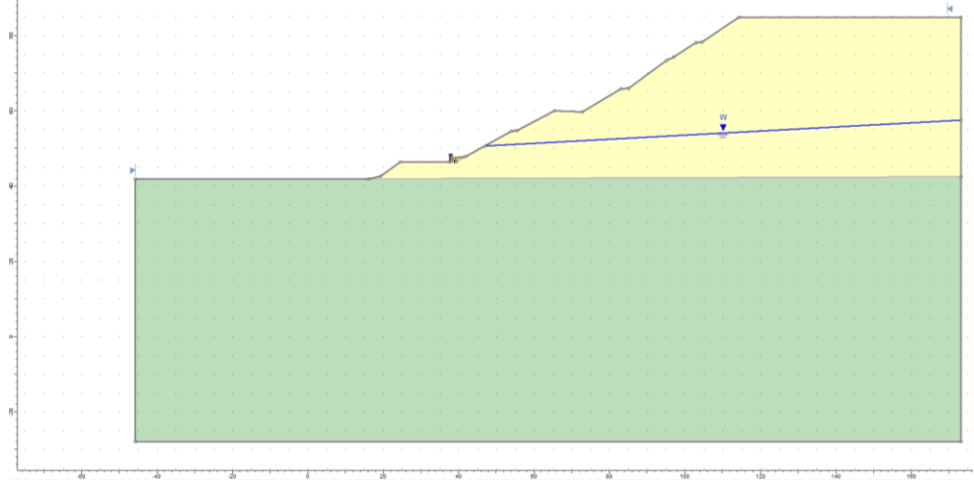
gerçekleşeceği yönün detaylı olarak oluşturulması için Surfaces menüsü altından Slope Limits seçeneğinden faydalanılmaktadır.

Zeminlerin ve yapı elemanlarının özelliklerinin tanımlanması için Properties menüsünün altından Define Materials seçeneği seçilir. Açılan pencerede ilgili tanımlamalar yapılır. Malzemelerin bünye modelleri Mohr-Coulomb'a bağlı olarak oluşturulmuştur. Buna göre yapılan saha çalışmaları, laboratuvar deneyleri ve literatür çalışmalarına bağlı elde edilen parametreler analizlere dahil edilmiştir.

Zemin modellerinin yanı sıra kullanılacak istinat duvarı ve duvar arkasındaki taş dolgusunun özellikleri de programda tanımlanmıştır. Duvarda betonarme malzeme davranışına en yakın model Infinite Strength'dir. Buna bağlı olarak duvarın birim hacim ağırlığı 24 kN/m^3 tanımlanmıştır. Taş dolguda Mohr Coulomb malzeme modeli kullanılmış ve birim hacim ağırlığı 21 kN/m^3 , içsel sürtünme açısı 35 derece ve kohezyonu 1 kPa seçilmiştir.

Şev üzerinde tanımlanması gereken zeminlerin ve yapı elemanlarının özelliklerinin tanımlanmasının ardından model üzerinde malzeme sınırlarının oluşturulması ile devam edilir. Bunun için Boundaries menüsü altında bulunan Add Material Boundary seçilir ve zemin ve yapı elemanlarının sınırları oluşturulur. Böylece Ofiyolitik Karmaşığı (melanj), Tüf-Tüfit-Pomza, istinat yapısı ve taş dolgunun sınırları model üzerinde oluşturulmuş ve malzeme atamalarına hazır hale getirilmiştir.

Malzemelerin ilgili yerlere atanması için Properties menüsü altından Assign Properties seçeneği seçilir. Önce malzemenin isminin üzerine sonra model üzerinde malzemenin atanacağı yere tıklanır ve ilgili kısma malzeme atanmış olur. Ayrıca bu aşamada sızıntı suyunun da ataması gerçekleştirilebilir. Bunun için Boundaries menüsünün altından Add Water Table seçilir ve yeraltı suyunun geçmiş olduğu bölgenin sınırları oluşturulur.



Şekil 4. 40 Yeraltı Suyunun tanımlanması ve Malzemelerin Atanması

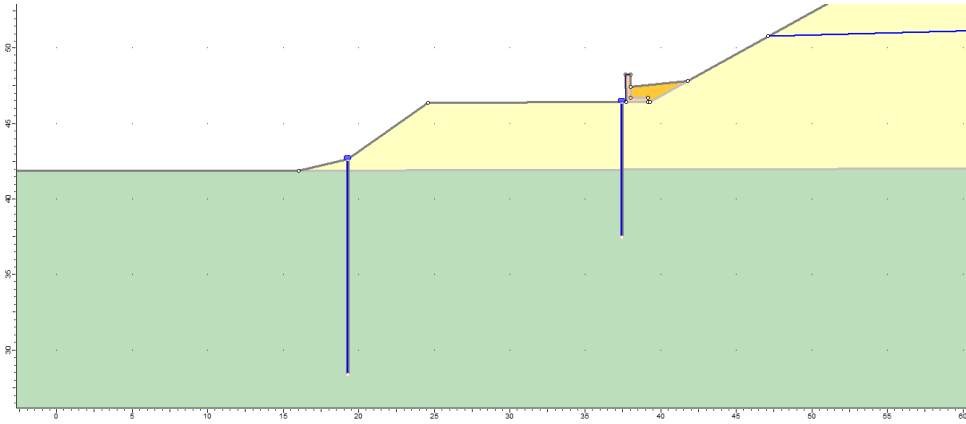
Kazıkların özelliklerinin tanımlanması için Properties menüsü altında Define Support seçeneği ile destek elemanları tanımlanabilir. SLIDE v6.0 programı ile şevler; ankrajlar, zemin çivileri, geosentetikler ve kazıklar vasıtasıyla güçlendirilebilir.

Destek tipi olarak Micro-Pile seçilmiştir. Kazıkların merkezleri arası arası mesafe olarak 1,3 metre olduğu için Out of plane spacing seçeneği bu biçimde tanımlanmıştır. Pile Shear Strength değeri (4.7) bağıntısına göre hesaplanmıştır. Bu ifadede V_{cr} kesitin kesme kuvvetine karşı çatlama dayanımı, f_{ctd} betonun tasarım çekme dayanımı, b_w kazığın kesit genişliği ve d çekme yönünde paspayının ihmal edildiği kesit genişliğidir. Malzemenin çalışma yönü olarak parallel to surface seçilmiştir.

$$V_{cr} = 0,65 * f_{ctd} * b_w * d \quad (4.7)$$

$$V_{cr} = 0,65 * 1,28 * 1 * 0,95 * 1000 = 790,4 \text{ kN} \quad (4.8)$$

Kazıkların modele aktarılması için Support seçeneğinden Add Supporta tıklanır ve geometri üzerinde çizimi gerçekleştirilir. Oluşturulan çizime malzeme ataması yapmak için kazık elemanına sağ tıklanır ve Assign Support seçeneği ile malzeme seçilir. Kazık çaplarının birbirine yakın olmasından ötürü iki kazık için tek bir malzeme tanımlanmış ve modele atanmıştır.



Şekil 4. 41 Kazıkların Çizimi ve Özelliklerinin Modele Atanması

Limit denge analizlerinde farklı kayma dairelerinin farklı merkezlerine sahip olmasından dolayı bir ızgara sistemi tanımlanmakta ve bu ızgara sisteminin her düğüm noktasında analiz gerçekleştirilip en düşük güvenlik sayısına sahip olan düğüm noktası program tarafından ızgara sistemi üzerinden seçilmektedir.

Bu işlem için Surface menüsü altından Surface Options seçilir. Kayma dairesinin tipinin Circular olduğu varsayılmıştır. Radius Increment'ın 10 seçilmesiyle ızgara sistemi üzerinde tek düğüm noktasında aynı merkeze farklı yarıçaplara sahip 10 adet analiz yapılmaktadır.

Izgara sisteminin 20x20 aralıklarla seçilmesiyle her iki yönde de 21'er adet düğüm noktası oluşturulmuştur. Toplamda 441 adet düğüm noktası üzerinde her düğüm noktasında 10 adet analiz yapılacağı için toplamda 4410 adet kayma dairesi program tarafından tahkik edilecek ve içlerinden en düşük güvenlik sayısına sahip olan kayma dairesi seçilecektir.

Analizlerden önceki son adım sismik yüklerin ayarlanmasıdır. Program tarafından sismik kuvvetler, dilim ağırlığıyla sismik yük katsayısının çarpımı olarak hesaplamalara dahil edilmektedir. Sismik yük katsayıları, Loading menüsü altından Seismic Load seçilir. Yatay deprem yükü olarak $k_h=0,1774$ ve düşey deprem yükü olarak $k_v=0,0887$ değerleri ilgili yerlere tanımlanır.

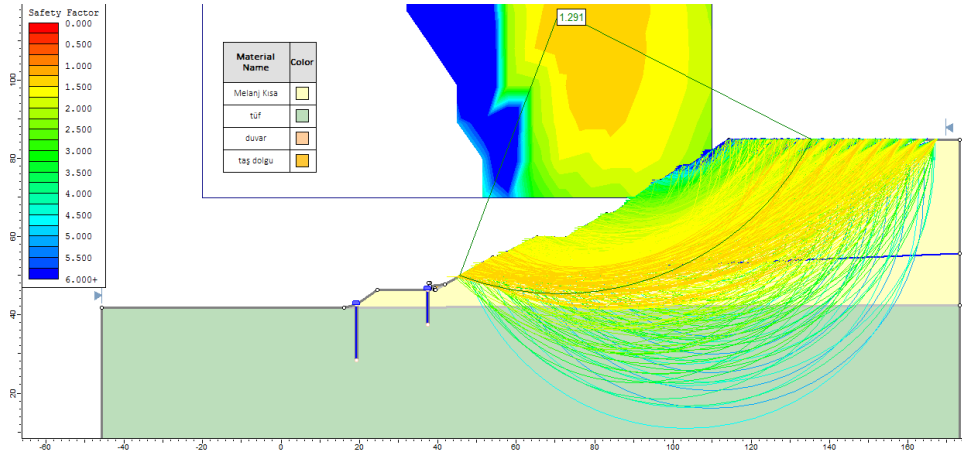
4.4.3.4 SLIDE v6.0 Programı Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

Yapılan analizler neticesinde güvenlik sayısının minimum olduğu kritik kayma dairesi volkanik içerikli ayrıışmış serpantin, volkanik siltli kil karmaşığı içerisinde kaldığı görölmüştür. Yaklaşık 30 derece eğimle yatırılan şevin kaymasını engellemek amacıyla yapılacak kazık projeleriyle birlikte şevin minimum güvenlik sayısı kısa dönem analizlerinde 1,291 mertebesinde bulunmuştur. Bununla beraber 43 metrelik şevin genel güvenlik sayısı 1,489 mertebesinde dir.

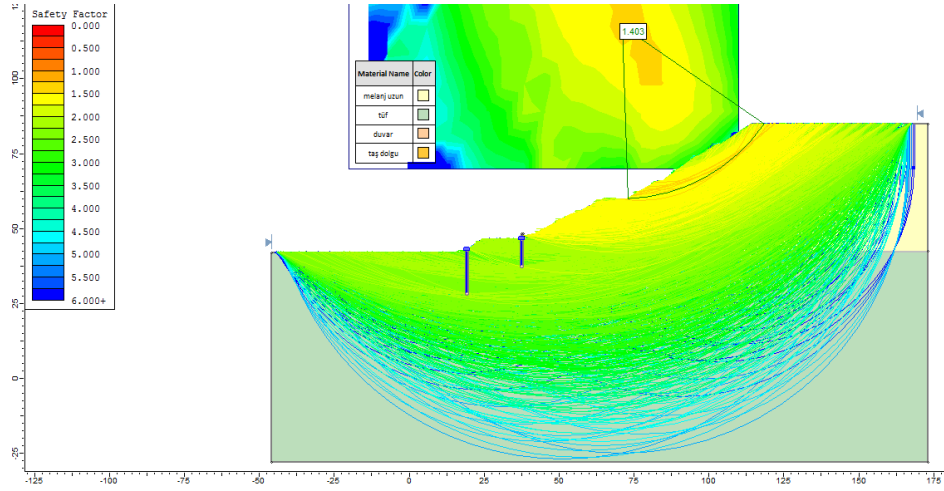
Analiz çıktılarının görselinden de göröldüğü üzere kısa dönem analizlerinde minimum güvenlik sayısına sahip kayma dairesi kazıklara ulaşmamış ve şevin içerisinde kalmıştır. Şevin kısa dönem içerisinde konut inşasının gerçekleştirileceğı zaman dilimi boyunca stabilite kaybına uğramayacağı varsayılmaktadır.

Uzun dönem analizleriyle birlikte oluşan kayma daireleri şevin içerisinde ve topuk bölgesinde yoğunlaşmıştır. Güvenlik sayısının yüksek olduğu kayma daireleri oldukça büyük yarıçaplara sahiptir. Minimum kayma daireleri ise şevin üst palye kısımlarında yoğunlaşmıştır. Buna göre şevin minimum güvenlik sayısı 1,291 mertebelerinde elde edilmiştir. Kazıklarla temas halinde olan kayma dairelerinin güvenlik sayıları 1,923 dolaylarındadır. Yapılan hesaplamalara göre statik durumda uzun dönem şev güvenilirliği yeterlidir.

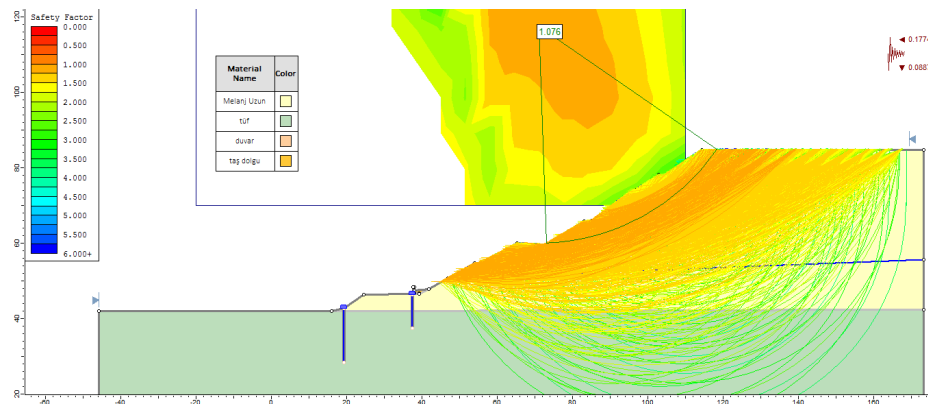
AFAD Türkiye Deprem Haritalarından alınan parametrelere bağılı olarak yapılan sismik analizler neticesinde şevin güvenlik sayısı 1,076 mertebesinde çıkmıştır. Bu durum olası bir deprem anında şevin üst bölgesinde akmaların olabileceğini göstermektedir. Toptan kaymaya karşı elde edilen güvenlik sayısı $G.S. > 1,05$ izin verilebilir niteliktedir.



Şekil 4. 42 Limit Denge Yöntemine Göre Kısa Dönem Analizi Sonuçları



Şekil 4. 43 Limit Denge Yöntemine Göre Uzun Dönem Analizi Sonuçları



Şekil 4. 44 Limit Denge Yöntemine Göre Sismik Analiz Sonuçları

Çizelge 4. 5 Limit Denge Yöntemi ile Şev Stabilitesi Analizi Sonuçları

Yöntem İsmi	Güvenlik Sayısı Türü	Kısa Dönem Şev Stabilitesi Analizi	Uzun Dönem Şev Stabilitesi Analizi	Sismik Şev Stabilitesi Analizi
Fellenius Yöntemi	Bölgesel Akmaya Karşı	1,234	1,343	1,020
(İsveç Dilim Yöntemi)	Genel Kaymaya Karşı	1,462	1,567	1,148
Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi	Bölgesel Akmaya Karşı	1,291	1,403	1,076
Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi	Genel Kaymaya Karşı	1,489	1,594	1,172
Basitleştirilmiş Spencer Yöntemi	Bölgesel Akmaya Karşı	1,191	1,333	1,011
Basitleştirilmiş Morgenstern-Price Yöntemi	Genel Kaymaya Karşı	1,442	1,563	1,145
	Bölgesel Akmaya Karşı	1,288	1,400	1,077
	Genel Kaymaya Karşı	1,489	1,594	1,171
	Bölgesel Akmaya Karşı	1,288	1,397	1,076
	Genel Kaymaya Karşı	1,493	1,593	1,174

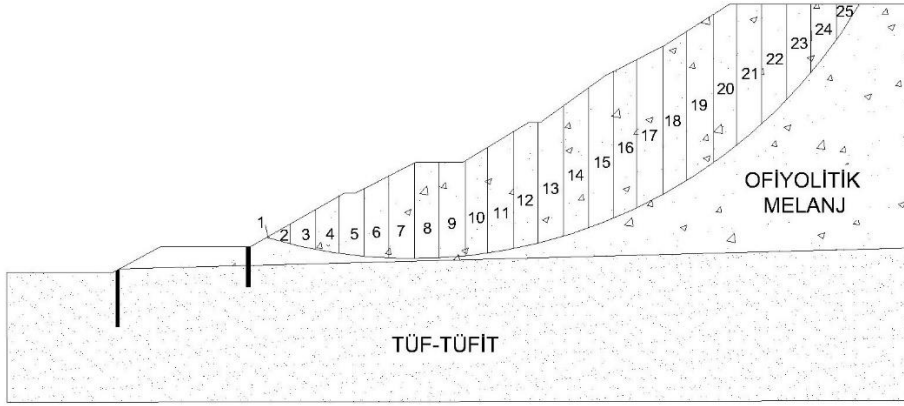
4.4.3.5 MS Excel İle Şev Stabilitesi Hesaplamaları

Limit denge yöntemine yönelik şev stabilitesi hesaplamalarında MS Excel tabanlı bir yazılım oluşturulmuştur. Bu yazılım vasıtasıyla Fellenius, Basitleştirilmiş Bishop ve Basitleştirilmiş Janbu yöntemlerine bağlı analizler yapılabilmektedir. Fellenius göre analizi gerçekleştirilecek şevin dilim sayısı, dilimlerin alanları, zeminin birim hacim ağırlığı, dilimlerin yatayla yaptığı açı ve zeminin mukavemet parametrelerini tanımlamak yeterli olmaktadır. Girdi değerlerine bağlı olarak şevin kaymasını engelleyici kuvvetlerin şevi kaydıran kuvvetlere oranlanması sağlanarak güvenlik sayısı elde edilmektedir.

Şev stabilitesi hesaplamalarının gerçekleştirilmesinde SLIDE v6.0 programından kısa dönem analizi sonuçlarından elde edilmiş minimum güvenlik sayısına sahip kayma daireleri kullanılmıştır. Dilimlerin ağırlıkları, boyutsal özellikleri ve yatayla yaptığı açılar da aynı programdan temin edilmiştir.

Şevin ilk yedi dilimi incelendiğinde yatay ile yapmış oldukları açının negatif işaretli olduğu görülmektedir. Buna göre şevin ilk yedi diliminin kaymayı engelleyici bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Geriye kalan on sekiz dilim ise kaymayı destekleyici özellik göstermektedir.

Hesaplamaların en sonunda yer alan şevin kaymasını engelleyici kuvvetler her dilim için; $F_{Engelleyici} = c * \frac{b}{\cos\alpha} + (W_n * \cos\alpha * \tan\varphi)$ bağıntısı yardımıyla hesaplanmaktadır. Kısa dönem analizi yapılmasından ötürü efektif mukavemet parametreleri kullanılmamıştır. Şevin kaymasına sebep olan kuvvetler her dilim için $F_{kaydırıcı} = W_n * \sin\alpha$ bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 4. 45 Analizi Gerçekleştirilen Şevin Kayma Dairesi ve Dilimleri

MS Excel tabanlı oluşturulan yazılım ile yapılan analizler neticesinde şevin kaymasına engel olan toplam kuvvet değerinin $\sum F_{engelleyici} = 13927.359kN$ şevin kaymasına neden olan toplam kuvvet değerinin $\sum F_{kaydırıcı} = 11002.619$ kN olduğu tespit edilmiştir. Şevin kaymasını engelleyici kuvvetler, şevin kaymasına neden olan kuvvetlere oranlandığında güvenlik sayısı G.S.=1.265 olarak hesaplanmıştır. Aynı problemin SLIDE v6.0 programı ile çözümlenmesinde elde edilen sonuç G.S.=1.234 mertebelerindedir. Aynı metodun iki farklı analizinde 0.031 fark ile yaklaşık olarak aynı sonuçlar elde edilebilirliği ispatlamıştır.

Çizelge 4. 6 Fellenius Yöntemine Göre Şev Stabilitesi Analizi Verileri

Dilim No	Dilim Alanı (m ²)	Dilim Ağırlığı (kN)	Dilim Tabanı Açısı (α)	sinα	cosα	F _{engelleyci} (kN)	F _{kaydırıcı} (kN)
1	0.080	1.609	-16.518	-0.284	0.959	51.867	-0.458
2	6.453	129.053	-14.891	-0.257	0.966	356.072	-33.164
3	18.742	374.843	-12.088	-0.209	0.978	394.812	-78.500
4	30.314	606.272	-9.315	-0.162	0.987	432.668	-98.135
5	39.522	790.448	-6.564	-0.114	0.993	463.455	-90.357
6	48.110	962.199	-3.828	-0.067	0.998	492.866	-64.236
7	56.946	1138.910	-1.101	-0.019	1.000	523.704	-21.874
8	61.506	1230.110	1.624	0.028	1.000	539.805	34.868
9	60.143	1202.850	4.353	0.076	0.997	535.278	91.293
10	62.845	1256.900	7.091	0.123	0.992	545.280	155.165
11	69.765	1395.290	9.846	0.171	0.985	570.091	238.600
12	75.284	1505.680	12.624	0.219	0.976	589.933	329.080
13	78.175	1563.500	15.433	0.266	0.964	600.685	416.070
14	84.952	1699.030	18.281	0.314	0.950	624.487	532.936
15	90.681	1813.620	21.176	0.361	0.932	644.437	655.132
16	93.256	1865.110	27.152	0.456	0.890	655.475	851.148
17	95.417	1908.340	30.260	0.504	0.864	664.435	961.651
18	93.845	1876.900	33.470	0.551	0.834	663.110	1035.097
19	94.654	1893.080	36.804	0.599	0.801	670.499	1134.092
20	93.148	1862.960	40.290	0.647	0.763	673.835	1204.703
21	82.365	1647.290	43.969	0.694	0.720	657.644	1143.656
22	68.316	1366.320	47.893	0.742	0.671	643.050	1013.661
23	52.263	1045.250	52.144	0.790	0.614	639.213	825.284
24	33.713	674.269	56.856	0.837	0.547	655.513	564.562
25	11.870	237.407	58.462	0.852	0.523	639.146	202.340

Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi ile şev stabilitesi hesaplamaları Fellenius yöntemine göre benzer özellikler göstermesine karşın; Fellenius yönteminin daha tutucu sonuçları vermesiyle ayrılmaktadır. Bu yöntemde $m\alpha$ katsayısı hesaplamalara dahil olmaktadır. Bu katsayı $m\alpha = \cos\alpha + \frac{\sin\alpha \cdot \tan\phi}{F.S.}$ bağıntısıyla hesaplanmaktadır. şevin kaymasını engelleyici kuvvetler her dilim için; $F_{Engelleyici} = \left(\frac{1}{m\alpha}\right) * c * b + (W_n * \tan\phi)$ bağıntısı yardımıyla, şevin kaymasına

sebepler olan kuvvetler her dilim için $F_{kaydırıcı} = W_n * \sin\alpha$ bağıntısıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 4. 7 Basitleştirilmiş Bishop Yöntemine Göre Şev Stabilitesi Analizi Verileri

Dilim No	Dilim Alanı (m ²)	Dilim Ağırlığı (kN)	Dilim Tabanı Açısı (α)	sina	cosa	ma	$F_{engelleyici}$ (kN)	$F_{kaydırıcı}$ (kN)
1	0.080	1.609	-16.518	-0.284	0.959	0.921	54.031	-0.458
2	6.453	129.053	-14.891	-0.257	0.966	0.932	370.797	-33.164
3	18.742	374.843	-12.088	-0.209	0.978	0.950	409.492	-78.500
4	30.314	606.272	-9.315	-0.162	0.987	0.965	445.262	-98.135
5	39.522	790.448	-6.564	-0.114	0.993	0.978	472.552	-90.357
6	48.110	962.199	-3.828	-0.067	0.998	0.989	498.076	-64.236
7	56.946	1138.910	-1.101	-0.019	1.000	0.997	525.126	-21.874
8	61.506	1230.110	1.624	0.028	1.000	1.003	537.942	34.868
9	60.143	1202.850	4.353	0.076	0.997	1.007	531.103	91.293
10	62.845	1256.900	7.091	0.123	0.992	1.009	539.715	155.165
11	69.765	1395.290	9.846	0.171	0.985	1.008	564.310	238.600
12	75.284	1505.680	12.624	0.219	0.976	1.005	585.415	329.080
13	78.175	1563.500	15.433	0.266	0.964	0.999	598.854	416.070
14	84.952	1699.030	18.281	0.314	0.950	0.991	627.825	532.936
15	90.681	1813.620	21.176	0.361	0.932	0.981	655.278	655.132
16	93.256	1865.110	27.152	0.456	0.890	0.951	685.484	851.148
17	95.417	1908.340	30.260	0.504	0.864	0.931	708.171	961.651
18	93.845	1876.900	33.470	0.551	0.834	0.908	720.174	1035.097
19	94.654	1893.080	36.804	0.599	0.801	0.881	745.597	1134.092
20	93.148	1862.960	40.290	0.647	0.763	0.849	767.054	1204.703
21	82.365	1647.290	43.969	0.694	0.720	0.812	754.896	1143.656
22	68.316	1366.320	47.893	0.742	0.671	0.770	732.541	1013.661
23	52.263	1045.250	52.144	0.790	0.614	0.719	705.233	825.284
24	33.713	674.269	56.856	0.837	0.547	0.659	670.748	564.562
25	11.870	237.407	58.462	0.852	0.523	0.637	572.640	202.340

Basitleştirilmiş Bishop ile şev stabilitesi hesaplamalarında $m\alpha$ katsayısının hesaplanmasında güvenlik sayısı tahmininde bulunulması ve tahmin edilen güvenlik sayısının hesaplamalar neticesinde çıkan güvenlik sayısı ile aynı değere ulaşana dek hesaplamaların sürdürülmesi gerekmektedir. Tahmin edilen güvenlik

sayısı ile hesaplanan güvenlik sayısının aynı değere ulaştırılmasında dört kez hesaplama gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4. 8 Basitleştirilmiş Bishop Yöntemine Göre Güvenlik Sayısının Belirlenmesi

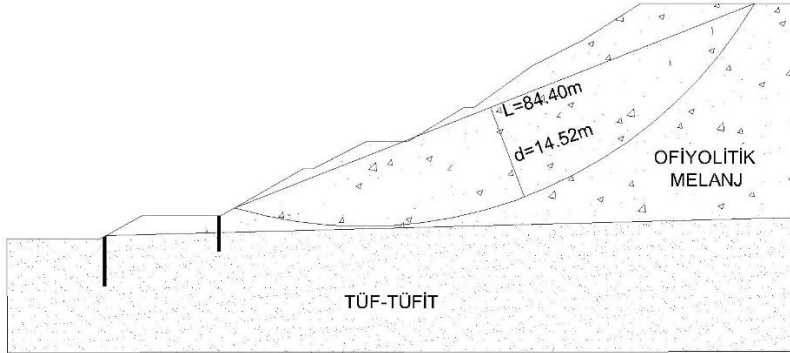
F.S.-Tahmin	F.S.-Hesaplanan
2	1.344085
1.5	1.325576
1.32	1.315897
1.31	1.315291

MS Excel tabanlı oluşturulan yazılım ile yapılan analizler neticesinde şevin kaymasına engel olan toplam kuvvet değerinin $\sum F_{engelleleyici} = 14471.647 \text{ kN}$ şevin kaymasına neden olan toplam kuvvet değerinin $\sum F_{kaydırıcı} = 11002.619 \text{ kN}$ olduğu tespit edilmiştir. Yapılan hesaplamalar neticesinde güvenlik sayısının 1.315 olduğu tespit edilmiştir. Aynı problemin SLIDE v6.0 programı ile çözümlenmesinde elde edilen sonuç G.S.=1.270 mertebelerindedir. Aynı metodun iki farklı analizinde 0.045 fark ile yaklaşık olarak aynı sonuçlar elde edilebilirliği ispatlamıştır.

Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi ile şev stabitesi analizlerinde Basitleştirilmiş Bishop Yönteminde olduğu gibi $m\alpha$ katsayısından faydalanılmaktadır. Janbu yönteminde ek olarak $f_o = \frac{d}{L}$ bağıntısı yardımıyla hesaplanan katsayı analizlere dahil edilmektedir. Şev geometrisine bağlı olarak $f_o = \frac{14.52}{84.40} = 0.17$ olarak belirlenmiştir. Janbu'nun oluşturmuş olduğu abaklardan faydalandığında $f_o = 0.17$ 'ye karşılık gelen değerin yaklaşık olarak 1.10 olduğu görülmektedir. Şevin kaymasını engelleyici kuvvetler her dilim için; $F_{Engelleleyici} = \left(\frac{1}{m\alpha \cdot \cos\alpha} \right) * (c * b + W_n * \tan\varphi) * f_o$ bağıntısı yardımıyla, şevin kaymasına sebep olan kuvvetler her dilim için $F_{kaydırıcı} = W_n * \tan\varphi$ ile hesaplanmıştır. Ayrıca $m\alpha$ değerinin hesaplanmasında Bishop hesaplamalarındaki bağıntı kullanılmıştır.

Basitleştirilmiş Janbu Yönteminde de aynı Basitleştirilmiş Bishop Yönteminde olduğu gibi güvenlik sayısı tahmininde bulunulması ve tahmin edilen güvenlik sayısının hesaplamalar neticesinde çıkan güvenlik sayısı ile aynı değere

ulaşana dek hesaplamaların sürdürölmesi gerekmektedir. Aynı sonuçlar elde edilene dek dört kez analiz gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 46 Basitleştirilmiş Janbu Yönteminde Kullanılan Şev Geometrisi ve Özellikleri

Çizelge 4. 9 Basitleştirilmiş Janbu Yöntemine Göre Şev Stabilesi Analizi Verileri

Dilim No	Dilim Alanı (m ²)	Dilim Ağırlığı (kN)	Dilim Tabanı Açısı (α)	sinα	cosα	mα	$F_{engelleyici}$ (kN)	$F_{kaydırıcı}$ (kN)
1	0.080	1.609	-16.518	-0.284	0.959	0.913	49.790	-0.477
2	6.453	129.053	-14.891	-0.257	0.966	0.925	348.310	-34.316
3	18.742	374.843	-12.088	-0.209	0.978	0.944	394.445	-80.280
4	30.314	606.272	-9.315	-0.162	0.987	0.961	435.604	-99.446
5	39.522	790.448	-6.564	-0.114	0.993	0.975	466.737	-90.953
6	48.110	962.199	-3.828	-0.067	0.998	0.987	495.130	-64.380
7	56.946	1138.910	-1.101	-0.019	1.000	0.997	524.376	-21.878
8	61.506	1230.110	1.624	0.028	1.000	1.004	538.955	34.882
9	60.143	1202.850	4.353	0.076	0.997	1.009	533.613	91.558
10	62.845	1256.900	7.091	0.123	0.992	1.012	543.516	156.361
11	69.765	1395.290	9.846	0.171	0.985	1.013	569.439	242.167
12	75.284	1505.680	12.624	0.219	0.976	1.011	592.008	337.233
13	78.175	1563.500	15.433	0.266	0.964	1.007	606.986	431.635
14	84.952	1699.030	18.281	0.314	0.950	1.000	638.428	561.262
15	90.681	1813.620	21.176	0.361	0.932	0.990	669.139	702.572
16	93.256	1865.110	27.152	0.456	0.890	0.963	706.681	956.562
17	95.417	1908.340	30.260	0.504	0.864	0.945	735.312	1113.344
18	93.845	1876.900	33.470	0.551	0.834	0.923	752.888	1240.857
19	94.654	1893.080	36.804	0.599	0.801	0.897	787.763	1416.385
20	93.148	1862.960	40.290	0.647	0.763	0.866	819.897	1579.363
21	82.365	1647.290	43.969	0.694	0.720	0.831	808.508	1589.031

Çizelge 4. 10 Basitleştirilmiş Janbu Yöntemine Göre Şev Stabilitesi Analizi Verileri (devam)

22	68.316	1366.320	47.893	0.742	0.671	0.789	777.995	1511.754
23	52.263	1045.250	52.144	0.790	0.614	0.740	728.580	1344.817
24	33.713	674.269	56.856	0.837	0.547	0.681	642.189	1032.577
25	11.870	237.407	58.462	0.852	0.523	0.660	444.178	386.837

Çizelge 4. 11 Basitleştirilmiş Janbu Yöntemine Göre Güvenlik Sayısının Belirlenmesi

F.S.-Tahmin	F.S.-Hesaplanan
2	1.141708
1.5	1.132942
1.13	1.122102
1.12	1.121722

MS Excel tabanlı oluşturulan yazılım ile yapılan analizler neticesinde şevin kaymasına engel olan toplam kuvvet değerinin $\sum F_{engelleleyici} = 16082.657$ kN; şevin kaymasına neden olan toplam kuvvet değerinin $\sum F_{kaydırıcı} = 14337.466$ kN olduğu tespit edilmiştir. Yapılan hesaplamalar neticesinde güvenlik sayısının 1.122 olduğu tespit edilmiştir. Aynı problemin SLIDE v6.0 programı ile çözümlenmesinde elde edilen sonuç G.S.=1.191 mertebelerindedir. Aynı metodun iki farklı analizinde 0.069 fark ile yaklaşık olarak aynı sonuçlar elde edilebilirliği ispatlamıştır.

MS Excel tabanlı yapılan analizler neticesinde elde edilen güvenlik sayıları ile SLIDE v6.0 programı ile elde edilen güvenlik sayılarının çizelgesi aşağıda verilmiştir. Programlar arasında meydana gelen farklılıkların f_o ve $m\alpha$ değerlerindeki değişimlerden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Yaklaşık olarak aynı sonuçlara ulaşılması yapılan hesaplamaları doğrular niteliktedir.

Çizelge 4. 12 Limit Denge Yöntemiyle Yapılan Analiz Sonuçlarının Kıyası

Yöntem İsmi	MS Excel	SLIDE v6.0	Fark
Fellenius (İsveç Dilim)	1.265	1.234	0.031
Basitleştirilmiş Bishop	1.315	1.270	0.045
Basitleştirilmiş Janbu	1.122	1.191	0.069

4.4.4 Şevin Olasılıklı Geri Hesaplama Yöntemiyle Değerlendirilmesi

Kırılmanın meydana geldiği bir şevde kritik denge durumuna gelen yani güvenlik sayısını ($G.S.=1$) yapan kayma mukavemeti parametrelerinin tahkikine geri hesap yöntemi denir. Bu hesaplamalarda araştırılan kayma mukavemeti parametreleri, kırılmanın oluşmuş olduğu şevin yenilme yüzeyi üzerinde sahip olduğu ortalama değerlerdir (Duncan, 2014). Arazi ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilen geoteknik araştırmalarda saptanan dayanım parametreleri çeşitli faktörlerden ötürü şevin yerinde dayanım değerlerini doğrudan temsil etmemektedir. Bundan dolayı kırılmanın olduğu bir şevde yapılan geri analiz hesaplamalarıyla birlikte kayma dayanımı değerlerinin gerçek değerleri belirlenebilmektedir. Ek olarak geri hesap yöntemi şevi harekete geçirmesi muhtemel parametrelerin tayininde de oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Sonuç olarak kırılma yüzeyindeki mukavemet parametrelerinin tahmininde geri hesap yöntemiyle etkili ve başarılı incelemeler yapılabilmektedir (Arıoğlu ve Toksöz, 2005).

Gerçeğe en yakın şekilde hesaplamaların gerçekleştirilebilmesi için hareketin meydana gelmesi muhtemel şevin kayma öncesi ve sonrasındaki şev yüzey geometrisine hakim olmak gerekmektedir. Şevin kırılma mekanizmasına dair arazi incelemelerinin titizlikle yapılması, şevin zati ağırlığı haricinde dışarıdan ek bir yükleme durumuna sahip olması halinde bu yükün büyüklüğünün doğru şekilde analizlere dahil edilmesi analizleri hassasiyeti açısından önemlidir.

Vaka analizine konu olan şevde gerçekleştirilen kısa dönem ve uzun dönem stabilite tahkiklerinde yönetmeliklerde talep edilen güvenlik sayılarının üzerine ulaşılması, deformasyonların tolere edilebilir düzeyde kalması sebebiyle güvenilir olduğu sonucu çıkarılmıştır. Fakat şevin beklenmedik yüklemelerle karşılaşması halinde güvenlik sayılarının ve deformasyon değerlerinin istenilen sınırların altında kalması muhtemeldir. Bundan dolayı şevi kayma eğilimine geçirecek mukavemet parametrelerinin belirlenmesi, beklenmedik yüklemelerin oluşması halinde doğru önlemlerin alınması açısından önem arz etmektedir.

Şevde yapılan olasılıklı geri hesaplamalar, uzun dönem mukavemet parametreleri göz önüne alınarak yapılmıştır. Öncelikle analizlerde kullanılan içsel sürtünme açısı, kohezyon ve birim hacim ağırlık değerleri kullanılarak deterministik ve olasılıksal sonuçları belirlenmiştir. Buna bağlı olarak şevi kayma eğilimine geçirecek ve güvenlik sayısı değerini bire düşürecek parametrelerin değerlerin aralıkları araştırılmıştır. Elde edilen değerlerin ortalamalarından faydalananarak yapılan geri hesaplamalarla birlikte şevin kırılmasını sağlayan değerler üzerinden limit denge yöntemi ve sonlu elemanlar yönteminden faydalananarak şevin güvenlik sayıları ve açığa çıkan deformasyon değeri yorumlanmıştır. Şevin kullanılan değerlere istinaden kritik denge durumuna ulaşacağı ve bu durumda oldukça büyük deformasyonlara maruz kalacağı gözlenmiştir.

Yapılan olasılık hesaplamalarında Monte Carlo Simülasyonundan faydalanılmıştır. Bu simülasyonda zemin özelliklerine bağlı olarak sistemin güvenlik sayılarının belirlenmesinde tekrarlanan rastgele örneklemelerden yararlanılmaktadır (Rocscience. 2010). Detaylı bir çalışma yapılabilmesi adına örneklem kümesi değeri 3000 seçilmiştir. Buna göre her analiz için rastgele üretilen girdi değişkenleri kullanılarak 3000 adet analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz tipi olarak şevin minimum güvenlik sayılarının tahkiki adına “global minimum” seçilmiştir.

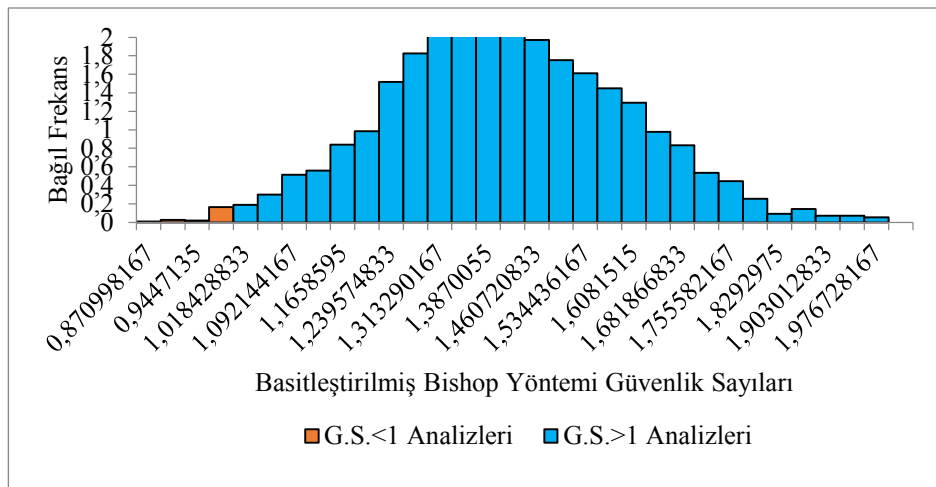
Rastgele değişkenlerin değişim aralığının tanımlanması yapılan olasılıksal analizler için oldukça önemlidir. Değişkenler zemin özellikleri, destek elemanı, sismik yük, yeraltı suyu ve çekme çatlağı şeklinde tanımlanabilir. Bu çalışma kapsamında zeminin içsel sürtünme açısı, kohezyon ve birim hacim ağırlığı değişken olarak tanımlanmıştır. İstatistiksel dağılım tipi olarak normal dağılım seçilmiştir. Uzun dönem analizlerinde kayma dairelerinin tamamı Ofiyolitik Melanj tabakası içerisinde kalmasından dolayı sadece bu malzemenin istatistiksel incelemesi yapılmıştır. Buna göre malzeme özelliklerinin istatistiksel değişimi Çizelge 4.12’de verilmiştir. Ortalama değerler malzemelerin deterministik hesaplarında kullanılan zemin özelliklerine eşittir.

Tanımlanan standart sapma değerleri ortalama değerden uzaklığı ifade etmektedir. Normal dağılım için değerlerin %99.7'si ± 3 standart sapma aralığında bulunmasından ötürü yerel minimum ve yerel maksimum noktaları standart sapma değerinin 3 katı olarak analize dahil edilmiştir. Analiz yöntemi olarak Basitleştirilmiş Bishop kullanılmıştır.

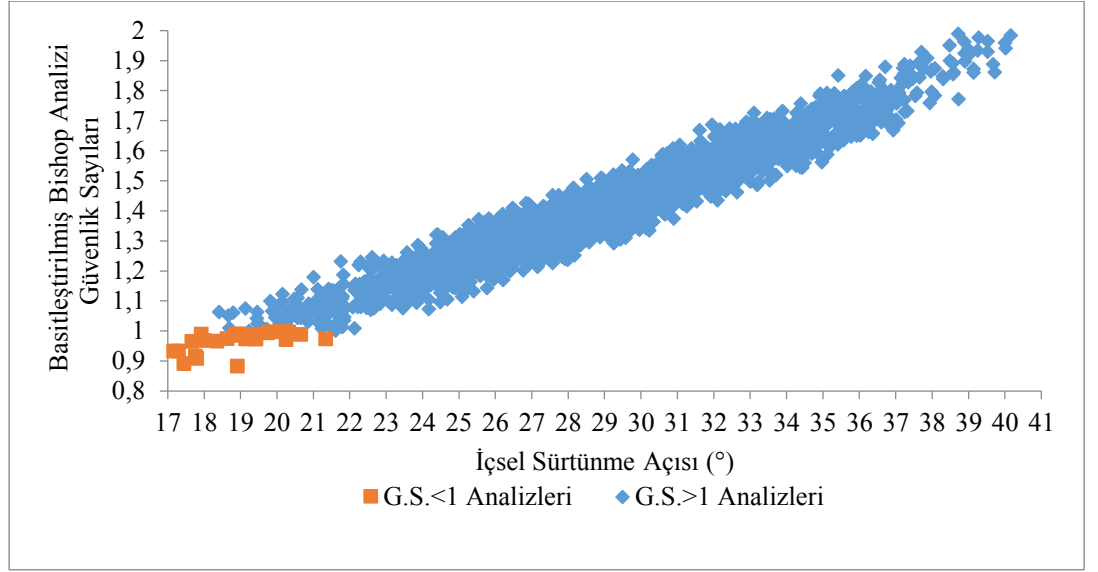
Çizelge 4. 13 Ofiyolitik Melanj Uzun Dönem İstatistiksel Parametreleri

Malzeme İsmi	Özellik	Ortalama Değerler	Standart Sapma	Bağıl Minimum	Bağıl Maksimum
Ofiyolitik Melanj (Uzun Dönem)	Kohezyon (kPa)	15	2	6	6
	İçsel Sürtünme Açısı ($^{\circ}$)	28	4	12	12
	Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)	20	1	3	3

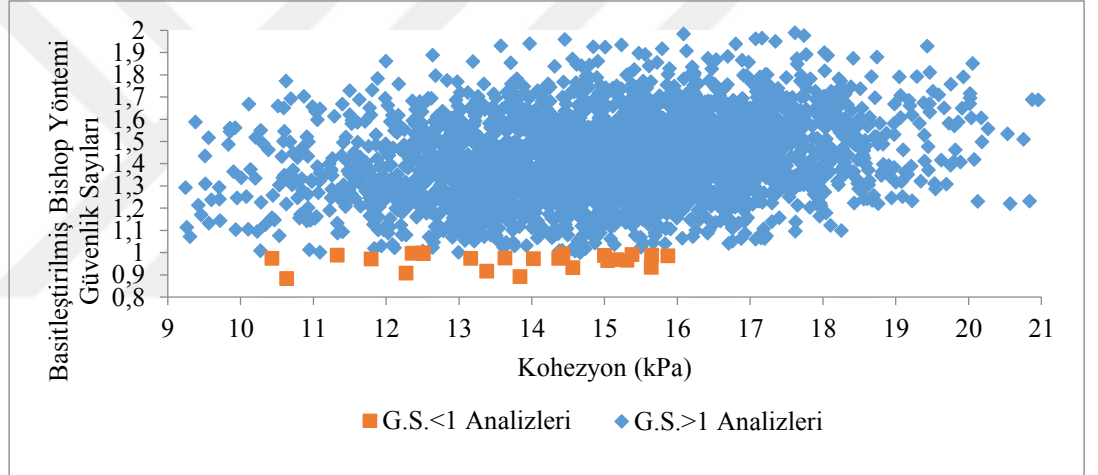
Basitleştirilmiş Bishop yöntemiyle yapılan deterministik hesaplamalarda şevin güvenlik sayısı 1.403 bulunmuştur. Şevin farklı zemin parametrelerinin tanımlanmasıyla yapılan olasılıksal hesaplamalar neticesinde ortalama güvenlik sayısı 1.416 olarak belirlenmiştir. Şevde stabilite probleminin meydana gelme ihtimali %0.8'e eşittir. Buna göre yapılan 3000 farklı parametre değerine sahip analizin 24 tanesinde güvenlik sayısı 1 değerinin altında kalmıştır. Bağıl frekans ve güvenlik sayılarının histogram grafiği incelendiğinde örneklem kümesi üzerinde yapılan analizlerde güvenlik sayılarının minimum değerinin 0.871 ve maksimum değerinin 2.01 olduğu gözlenmektedir.



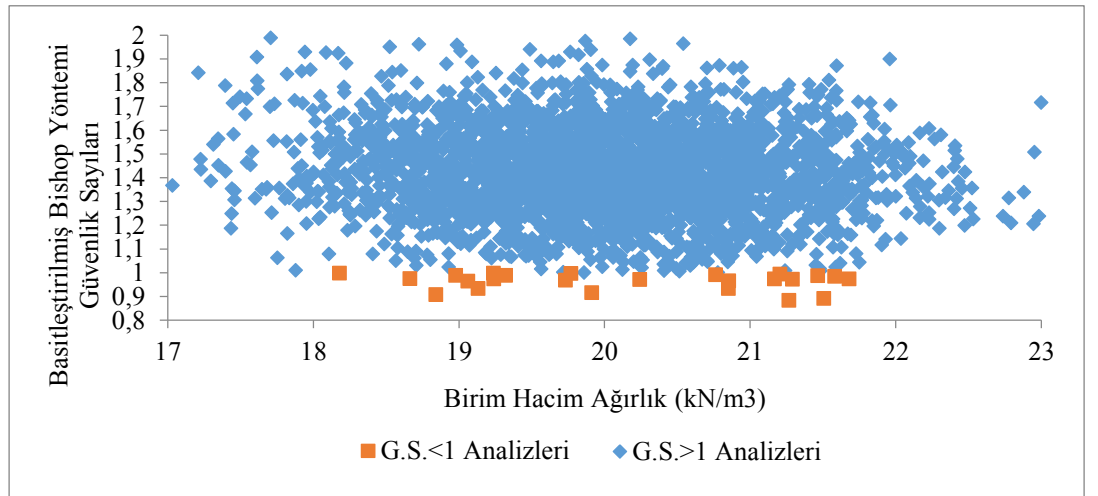
Şekil 4. 47 Olasılık Hesaplamalarındaki Frekans-Güvenlik Sayısı İlişkisi



Şekil 4. 48 Olasılık Hesaplamalarındaki İçsel Sürtünme Açısı-Güvenlik Sayısı İlişkisi



Şekil 4. 49 Olasılık Hesaplamalarındaki Kohezyon-Güvenlik Sayısı İlişkisi



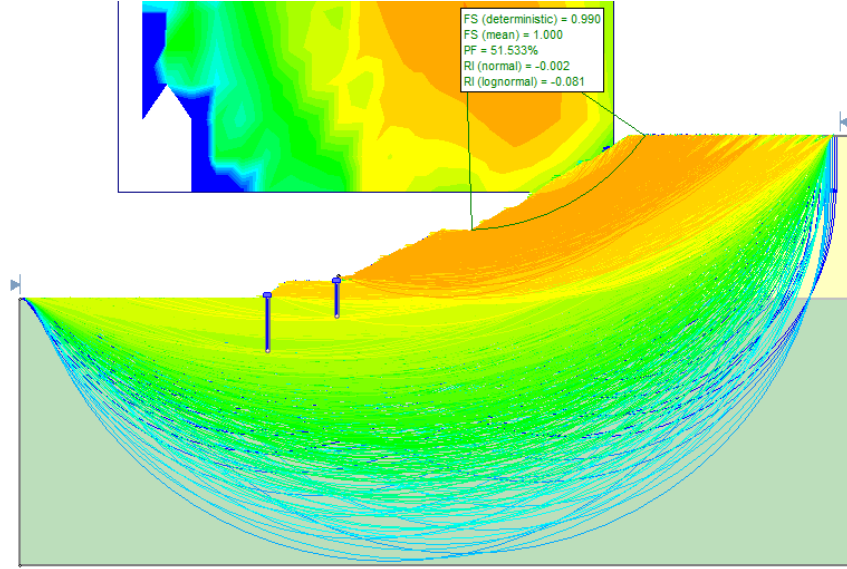
Şekil 4. 50 Olasılık Hesaplamalarındaki Birim Hacim Ağırlık-Güvenlik Sayısı İlişkisi

Şev stabilitesi ile zemin parametrelerinin ilişkisi dağılım grafikleriyle yorumlandığında içsel sürtünme için korelasyon derecesi 0,965596; kohezyon için korelasyon derecesi 0,242378 ve birim hacim ağırlık için korelasyon derecesi 0,108406 olarak elde edilmiştir. Buna göre içsel sürtünme açısının korelasyon değerinin +1'e ve diğer parametrelerin 0'a olan yakınlığından ötürü incelemesi yapılan şevin güvenlik sayısını etkileyen ana parametrenin içsel sürtünme açısı olduğu belirlenmiştir. İçsel sürtünme açısı grafiğinde diğer zemin parametrelerinin grafiklerine nispeten doğrusal ve güçlü bir korelasyona sahip olduğu açıktır.

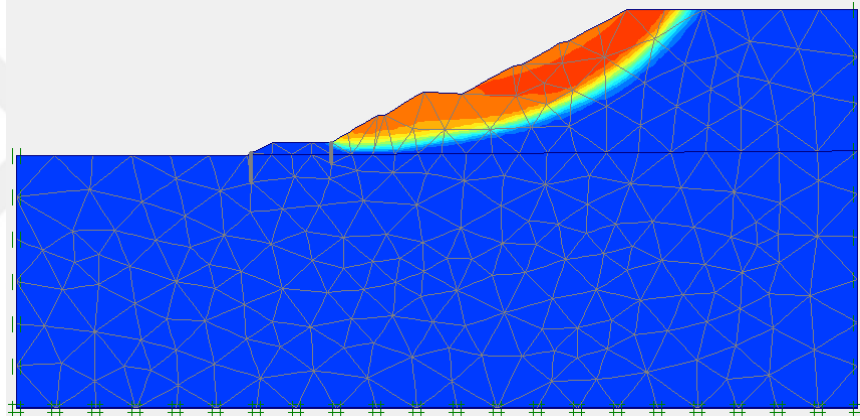
Yapılan istatistiksel çalışmalarla birlikte şevin harekete geçmesine sebep olacak zemin parametreleri yorumlanmıştır. Buna göre; şevin içsel sürtünme açısının 17-21° arasında, kohezyonunun 10-16 kPa arasında ve birim hacim ağırlığının 18-22 kN/m³ aralığında kalmasından dolayı bu değerlerin şevin stabilitesi açısından risk teşkil ettiği sonucuna varılabilir.

Şevin geri analizlerinin gerçekleştirilmesinde istatistiksel hesaplamalarla bulunan parametre aralıklarının ortalama değerlerinden faydalanılmıştır. Bu kapsamda Ofiyolitik Karmaşığı biriminin içsel sürtünme açısı 19°, kohezyonu 13 kPa ve birim hacim ağırlığı 20 kN/m³ kabul edilerek analizlere dahil edilmiştir. Stabilite tahkikleri limit denge yönteminin Basitleştirilmiş Bishop yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiş ve sonuçları kıyaslanmıştır.

Belirtilen parametrelerin kullanılmasıyla SLIDE v6.0 programıyla yapılan limit denge yöntemi analizlerinde şevin deterministik hesaplama sonucu 0.99 mertebelerinde bulunmuştur. Yapılan istatistiksel hesaplamalarla birlikte şevin ortalama güvenlik sayısı 1,00 olarak belirlenmiştir. Stabilite tahkiklerinde kullanılan 3000 adet örneğin 1546 tanesinde, başka bir deyişle %51,533'ünde kayma açığa çıkmaktadır. Bağlı frekans ve güvenlik sayılarının histogram grafiğine göre örneklem kümesi üzerinde yapılan analizlerde güvenlik sayılarının minimum değerinin 0.528 ve maksimum değerinin 1.536 olduğu gözlenmektedir.



Şekil 4. 51 Limit Denge Yöntemi Geri Analiz Sonuçları



Şekil 4. 52 Sonlu Elemanlar Yöntemi Geri Analiz Sonuçları

Son olarak şevin limit denge yöntemine göre yapılan geri analizleriyle kıyaslanması için sonlu elemanlar yönteminden faydalanılmıştır. Plaxis v8.2 ile mukavemet azaltım yöntemine göre yapılan tahkiklerde şevin kaymaya karşı güvenlik sayısı 0.984 olarak elde edilmiştir. Ek olarak plastik analizlerde açığa çıkan maksimum deformasyon şevin orta bölgesinde olacak biçimde 2.19m olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak yapılan geri analizler neticesinde şevin kaymaya karşı güvenlik sayısını kritik hale getirecek zemin mukavemet parametreleri araştırılmıştır. İçsel sürtünme açısının 20; kohezyon değerinin 13 kPa değerine düşmesi halinde güvenlik sayısı 1,00 mertebesinde olmaktadır. Şevin mukavemet parametrelerinin bu değerlerin altına düşmesi halinde stabilite problemlerinin oluşacağı açıktır.

5. SONUÇLAR

Vaka analizine konu olan arazideki ilk şev stabilitesi araştırması çalışmaları özel bir zemin firması tarafından Ağustos-Ekim 2014 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. İlgili şevin topuk kısmında konut inşası yapılması planlanmıştır. Bunun için ilgili bölgede temel ve yapı inşasının gerçekleştirilebilmesi için tabi zeminin kaldırılması gerekmektedir. Şevin topuk kısmında yapılması planlanan hafriyat çalışmaları neticesinde şevde stabilite kayıplarının oluşması muhtemeldir. Bu dönem içerisinde toplamda 148 metre derinliğinde 7 adet sondaj çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan şev stabilitesi analizleri neticesinde topuk bölgesinde temel kazısı yapılması halinde stabil halin bozulacağı ve önlem alınması gerekliliğine değinilmiş fakat bir şev tasarımı gerçekleştirilmemiştir.

Şev stabilitesi analizlerinin yapılması fakat önlem alınmaksızın şev topuğunda kazı yapılması ve kazı şevlerinin dik açılması sebebiyle kaymalar meydana gelmiştir. Bundan ötürü yapı inşasının güvenli biçimde gerçekleştirilmesi ve şevin heyelan etkilerinin ortadan kaldırılması amacıyla araziyle alakalı ikinci şev stabilitesi çalışması Aralık 2014'te özel bir zemin firması tarafından gerçekleştirilmiştir. Analizlerde Ağustos-Ekim 2014 dönemi raporunun zemin verileri kullanılmış ve buna ek olarak şevin topuk bölgesinde 2 adet 15,00m derinliğinde sondaj kuyusu açılmıştır. Yapılan mevcut ve ek çalışmalar neticesinde şev tasarımı gerçekleştirilmiştir. Buna göre projede şevde hafriyat kaldırılması, palyelendirme, çift sıralı kazık, drenaj ve istinat duvarı önlemleri alınmıştır. Fakat çalışma ekonomik bulunmaması sebebiyle arazide uygulamaya geçirilememiştir.

İnceleme alanında 2014 yılında yapılan heyelan önleme projelerinin uygulamaya geçirilmemesi ve şev yüzeyinde bilişsizce hafriyat alımına devam edilmesiyle birlikte şevde büyük bir kayma meydana gelmiştir. Kayma neticesinde ilgili parselin tamamı kayan malzeme ile dolu hale gelmiştir. Bundan dolayı tekrardan şev tasarımı yapılmasının gerekliliğine karar verilmiştir. Mart-2017 döneminde özel bir zemin firması tarafından inşa edilmesi planlanan konutların geoteknik çalışmaları ve Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji

Mühendisliği Bölümü tarafından tekrar şev stabilitesi raporu hazırlanmıştır. Şevin topuk kısmında 9 adet toplamda 135 metrelik, şevin iç kısmında ise 4 adet 93 metre derinliğinde sondaj çalışması gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan şev tasarımı projesinde palyelendirme, derin ve yüzeysel drenaj sistemlerinin kurulması ve zemin çivilerinden faydalanılmıştır. Fakat bu çalışma uygulamaya geçirilememiştir.

İnceleme alanındaki dördüncü çalışma Eylül-2017 dönemindeki şev stabilitesi veri raporu ilgili parsel çevresinde meydana gelen şev stabilitesini incelemek amacıyla özel bir firma tarafından hazırlanmıştır. Şevin topuk bölgesinde 4 adet toplamda 70 metre derinliğinde sondaj çalışması gerçekleştirilmiştir. Ardından Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim Dalı görevlileri tarafından kazı öncesinde ve sonrasında alınması gereken önlemleri konu alan bir rapor hazırlanmıştır. Raporda şevin topuk bölgesinde kazık yapılması planlanmış ve projelendirilmiştir. Bu rapor ilgili idare tarafından onaylanmış ve yerinde uygulamaya geçirilmiştir.

Şev stabilitesinin sağlanması adına yapılan fore kazıkların kazık imalatının hazırlanan projeye uygun hattan başlanıldığı fakat kazık hattına sadık kalınmamış ve palyenin ortalarına doğru eğri bir hat üzerinde imalatlar gerçekleştirilmiştir. Yani projede belirtilen 9 metrelik pasif direnç oluşması gereken mesafeye uygun imalat yapılmamıştır. Ayrıca projede olmamasına rağmen kazıkların yaklaşık 1 metresinin istinat duvarı amacıyla kullanılması üzere duvar haline getirildiği ve temel kazısından çıkan zeminin kazıkların arka kısmına yığıldığı tespit edilmiştir. Kazık imalatı sonrası pasif direnci yok edecek biçimde kazıkların tam önünden temel kazısına başlanmış ve kazıkların ön bölgesi yaklaşık 4 metre kazılmıştır. Tüm bu yanlış uygulamalar sonrası kazıklar gelen kesme kuvvetlerine dayanmamış ve kırılmalar gerçekleşmiştir. Bu durum sonrasında şevde kütle hareketi gerçekleşmiştir.

Vaka analizine konu olan şevde 2019 yılında gerçekleşen heyelanın sebepleri ve sonuçları sonlu elemanlar yöntemiyle tahkik edilmiştir. Bu kapsamda çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Öncelikle Eylül 2017 döneminde Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği öğretim üyeleri tarafından

hazırlanan teknik rapora göre şev stabilitesi değerlendirilmiştir. İkinci aşamada ise hazırlanan teknik rapora sadık kalınmadan arazide yapılan hatalı uygulamalar neticesinde oluşan heyelan sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanmış ve gerçekte karşılaşılan sonuçlar ile kıyası sağlanmıştır. Hesaplamalarda öncelikle şevde meydana gelen gerilme ve deformasyon ilişkileri belirlenmiş ve ardından şevin güvenlik sayısının yorumu yapılmıştır.

Hazırlanan teknik rapora göre yapılan şev stabilitesi analizlerinde şevdeki toplam deformasyon değerinin 23 santimetre ve güvenlik sayısının 1.10 mertebelerinde olduğu gözlenmektedir. Bu yer değiştirme değerinin büyük kısmı şevin üst kısımlarında meydana gelmektedir. Bu şartlar altında kazığa gelen en büyük kesme kuvvetinin 229.34 kN ve en büyük eğilme momentinin 776.60 kNm olduğu belirlenmiştir.

Teknik raporda kazıkların dayanabileceği en büyük kesme dayanımının 444.75 kN ve kazıkların dayanabileceği en büyük eğilme momentinin 784 kNm olduğu hesaplanmıştır. Buna göre kazıkların ve şev geometrisinin analizlere göre sahada uygulanmış olması halinde kazıklarda stabilite problemleri açığa çıkmayacaktır.

Hazırlanan teknik rapora uyulmaksızın yapılan uygulamalar neticesinde şev stabilitesi hesaplamalarına göre sonlu elemanlar modeline toplam yükün %94'ü uygulandığında zeminde çökmeler meydana gelmiştir. Buna göre şevde en büyük toplam deformasyon değerinin 140 santimetre mertebelerinde olduğu hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar modelinde meydana gelen yer değişikliklerinin büyük kısmının kazıkların arkasında olduğu görülmektedir. Yapılan yüklemeler altında kazığa gelen en büyük kesme kuvvetinin 986.99 kN ve en büyük eğilme momentinin 2850 kNm olduğu belirlenmiştir. Arazide yapılan hatalı uygulamalara kazıkların dayanımının yetersiz kalacağı ve yatayda büyük bir deplasmanın açığa çıkacağı ispatlanmıştır.

Eylül-2020 döneminde idealize zemin profili, zemin parametreleri, sondaj çalışmaları ve jeofizik çalışmalar ile laboratuvar deneylerinden faydalanarak şev tasarımına gidilmiştir. Proje sahasında jeolojik olarak şev başından itibaren

volkanik içerikli ayrıışmış serpantin, volkanik siltli kil karmaşığı birim yer almaktadır. Bu birimin altında ise temel kotu seviyesinden başlayan Gölcük volkanizmasına ait tuf tufit ve pomza yerleşmiştir. Sahada en kritik görülen kısımdan alınan şev kesitine bağı olarak hesaplamalar yapılmıştır.

Buna ek olarak şevde oluşabilecek olası bir akma hareketi arkaya yapılacak istinat duvarları sayesinde engellenecektir. İstinat duvarlarının yapılacak kazıklarla bir çalıştırılması hedeflenmiştir. İstinat duvarı 1,80 metre yüksekliğinde 0,20 metre kalınlığında ve toplamda 1,60 metre pabuç uzunluğunda tasarlanmıştır. İstinat duvarının arkası 1,00 metre yüksekliğinde geçirgen çakıl malzeme ile doldurulmalıdır. Böylece şevden gelecek yüzeysel suların ve sızıntı sularının duvar gövdesinden tahliyesi sağlanmıştır.

Arazide atmosferle etkileştikçe altere olan ayrıışmış serpantin, radyolorid, volkanik siltli kil biriminde lokal akmaların oluşması durumu söz konusudur. Ayrıca bu birimde sızıntı biçiminde yeraltı suyu bulunmaktadır. Bu sızıntı suyunun özellikle yağışlı bahar mevsimlerinde yüksek bir debi ile zemin içerisinden çıktığı gözlenmiştir. Bu nedenle inceleme alanındaki yer üstü suları yüzeysel drenaj sistemleri ile kontrol altına alınması gerekmektedir. Şevin orta palyesine ve üst kısmına bu sistemler konumlandırılmıştır.

Ofiyolitik karmaşığı içerisinde sızıntı şeklinde su bulunmaktadır. Bu sızıntı suyu yağışlı mevsimlerde yüksek bir debi ile akışa geçmekte, su yolu oluşturmakta ve ofiyolit birimini yumuşatıp kayma eğilimine geçirmektedir. Drenaj çalışmalarıyla birlikte zemin suyu basıncının azaltılması ve kayma dayanımının artırılması hedeflenmiştir. Şevin üst kısımlarında oluşmuş çekme çatlaklarının su basıncından ileri gelen kaydırıcı kuvvetlerini azaltmak amacıyla denge için gerekli kayma gerilmeleri suyun tahliye edilmesiyle birlikte azaltılmış olmaktadır.

Drenaj sistemi kurulduktan sonra devamlı çalışması sağlanmalıdır. Yüzeysel drenajlar ve drenaj hendekleri şev üzerinde meydana gelebilecek erozyonlardan etkilenebilir. Drenajlarda kullanılacak perfore borularda siltlenme veya bakteri tıkamaları meydana gelebilir. Drenaj sistemlerinin belirli aralıklarda kontrolünün sağlanması gerekmektedir. Şevde bölgesel akmalara karşı şev stabilitesinin güvenli şekilde saplanmasına yönelik şev üzerinde uzun dönemde bitkilendirme çalışmaları yapılacaktır.

Limit denge yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemi ve sonlu farklar yöntemini baz alan yazılımla yardımıyla şevin stabilitesi tahkik edilmiştir. Yaklaşık 30-38 derece eğimle şev palyelendirilmiş ve yatırılan üstteki şevin kaymasını engellemek amacıyla tuf tufit pomza tabakasına soketlenmiş ve temel kotunun altına inen 9 metre uzunluğundaki kazıkların 1,0 metre çapında ve merkezden merkeze 1,30 metre aralıklı olarak projelendirilmesi uygun görülmüştür.

Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizler neticesinde uzun dönem şev stabilitesi hesaplamalarının güvenlik katsayısı 1,51875 bulunmuştur. Limit denge yöntemleri ile sonlu elemanlar yöntemi sonuçlarının benzer çıktığı gözlenmektedir. Şevin topuk bölgesine yapılacak kazıklara gelen kesit tesirleri incelendiğinde; maksimum 409,469 kN eksenel kuvvet, 39,63 kN kesme kuvveti, 30,93 kNm eğilme momenti açığa çıkmaktadır. Kazıkların betonarme hesaplamalarında bu değerlerden faydalanılmıştır.

Sonlu farklar yöntemi vasıtasıyla kısa ve uzun dönem mukavemet parametrelerinin kullanılmasıyla iki farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Kısa dönem analizlerinde şevde meydana gelmesi muhtemel olan hareketin şevin üst kısımlarından başlayıp yeni yapılması planlanan kazıkların hemen arkasında son bulunduğu görülmektedir. Kısa dönem analizlerinde şevin güvenlik sayısının 1.393 mertebelerinde olduğu belirlenmiştir. Uzun dönem parametreleriyle yapılan analizler neticesinde şevin güvenlik sayısının 1.545 mertebelerinde olduğu belirlenmiştir. Uzun vadede şevdeki hareketlerin şevin üst kısımlarında olduğu tespit edilmiştir. Kazık imalatının gerçekleştirilmesi ve şevde ilgili palyelendirme çalışmalarının yapılması neticesinde şevin güvenli olacağı sonucuna varılmıştır.

Yapılan limit denge yöntemi analizleri neticesinde kısa dönem analizlerinde bölgesel akmaya karşı güvenlik sayısı 1,198; genel kaymaya karşı güvenlik sayısı 1,442 bulunmuştur. Uzun dönem analizlerinde bölgesel akmaya karşı güvenlik sayısı 1,333; genel kaymaya karşı güvenlik sayısı 1,563 bulunmuştur. Deprem etkisi altında yapılan analizlerde bölgesel akmaya karşı güvenlik sayısı 1,011; genel kaymaya karşı güvenlik sayısı 1,145 bulunmuştur. Kısa süreli projelerde önerilen güvenlik sayısı en az $GS = 1.3$ iken kalıcı şevlerde güvenlik sayısının $GS = 1.5$ değerinden büyük olması talep edilmektedir (Eurocode-7, 2003). Yapılan iyileştirmeler neticesinde istenilen güvenlik sayılarına ulaşılmış ve ötürü şevlerin güvenli olduğu öngörülmektedir.

Paket program ile yapılan analizler haricinde limit denge yöntemine yönelik şev stabilitesi hesaplamalarında MS Excel tabanlı bir yazılım oluşturulmuştur. Bu yazılım vasıtasıyla Fellenius, Basitleştirilmiş Bishop ve Basitleştirilmiş Janbu yöntemlerine bağlı analizler yapılabilmektedir. Şev stabilitesi hesaplamalarının gerçekleştirilmesinde SLIDE v6.0 programından kısa dönem analizi sonuçlarından elde edilmiş minimum güvenlik sayısına sahip kayma daireleri kullanılmıştır. Dilimlerin ağırlıkları, boyutsal özellikleri ve yatayla yaptığı açılar da aynı programdan temin edilmiştir. Girdi değerlerine bağlı olarak şevin kaymasını engelleyici kuvvetlerin şevi kaydıran kuvvetlere oranlanması sağlanarak güvenlik sayısı elde edilmektedir.

Hazırlanan yazılım vasıtasıyla Fellenius yöntemine göre güvenlik sayısı $G.S.=1.265$ olarak hesaplanmıştır. Aynı problemin SLIDE v6.0 programı ile çözümlenmesinde elde edilen sonuç $G.S.=1.234$ mertebelerindedir. Aynı metodun iki farklı analizinde 0.031 bulunmaktadır. Basitleştirilmiş Bishop yöntemiyle yapılan hesaplamalar neticesinde güvenlik sayısının 1.315 olduğu tespit edilmiştir. Aynı problemin SLIDE v6.0 programı ile çözümlenmesinde elde edilen sonuç $G.S.=1.270$ mertebelerindedir. Aynı metodun iki farklı analizinde 0.045 fark bulunmaktadır. Son olarak Basitleştirilmiş Janbu yöntemiyle yapılan hesaplamalar neticesinde güvenlik sayısının 1.122 olduğu tespit edilmiştir. Aynı problemin SLIDE v6.0 programı ile çözümlenmesinde elde edilen sonuç $G.S.=1.191$ mertebelerindedir. Aynı metodun iki farklı analizinde 0.069 fark ile yaklaşık olarak aynı sonuçlar elde edilebilirliği ispatlamıştır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abramson, L., Thomas, L., Sharma, S. and Boyce, G.**, 1996, Slope Stability and Stabilization Methods, John Wiley & Sons Inc., New York, 329-344p.
- Anaçali, İ. ve Şirin, A.**, 2015, Heyelan Tanımlama ve Veri Oluşturma Kılavuzu, Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1-44s.
- Arıkan, M. A.**, 2005, Sonlu Elemanlar Metodunun Mühendislikte Uygulamaları, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, CAD/CAM Merkezi, Ankara, 1-18s.
- Arıoğlu, E. ve Tokgöz, N.**, 2005, Çözümlü Problemlerle Şev Stabilité Analizi, Evrim Yayınevi, İstanbul, 1-219s.
- Aryal, K. P.**, 2006, Slope Stability Evaluations By Limit Equilibrium And Finite Element Methods, Norwegian University Of Science And Technology, Trondheim, 7-22p.
- Bardet, J. P.**, 1997, Experimental Soil Mechanics, Pearson Education, London, 360-470p.
- Bayıroğlu, H.**, 2015, Sayısal Yöntemler Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 71-83s.
- Berilgen, M.**, 2016, Geoteknik Mühendisliğinde Sayısal Yöntemler ve Program Kullanımı Geoteknik Mesleki Eğitim Kursu, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 1-11s.
- Bilgin, Z., Karaman, R., Öztürk, Z., Şen, A. M. ve Demirci, A. R.**, 1990, Yeşilova-Acıgöl Civarının Jeolojisi, MTA Raporu, 9429 (yayınlanmamış), Ankara.
- Bishop, A. W.**, 1955, The Use Of The Slip Circle In The Stability Analysis Of Slopes, Geotechnique, 5(1), 7-17p.
- Bishop, A. W. and Bjerrum, L.**, 1963, Stabilité Problemlerinin Çözümünde Üç Eksenli Deneylerin Kullanılması (Çeviren: V. Kumbasar), İ.T.Ü Teknik Okulu Yayınları, 31, İstanbul.
- Bishop, A. W. and Morganstern, N. R.**, 1960, Stability Coefficients For Earth Slopes, Géotechnique, 10, No.4.
- Budhu, M.**, 2000, Soil Mechanics & Foundations, John Wiley & Sons, Inc., New York, 267p.
- Coduto, D.**, 2006, Geotechnical Engineering Principles and Practices, Pearson Education, California, 709-717p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Das, B. M.**, 2006, Principles of Geotechnical Engineering 5. Edition, PWS Publishing Company, Boston, 365p.
- Day, R. W.**, 2002, Geotechnical Earthquake. Engineering Handbook, McGraw – Hill, New York, 9.32-9.42p.
- Duncan, J. M.**, 2014, Soil Strength And Slope Stability, John Wiley & Sons, United States Of America, 125-134p.
- Ersoy, Ş.**, 2020, Şev Stabilitesi Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İstanbul.
- Eurocode 7**, 2004, Geotechnical Design - Part 1: General Rules, European Committee For Standardization, Brussels, 136p.
- Felleinus, W.**, 1927, Erdstatische Berechnungen. Revised Edition, W. Ernst u. Sons, Berlin.
- Fellenius, G. E.**, 1992, Stability Coefficients for Highway Cutting Slope Design, Ground Engineering, May, 1-6p.
- Fairhurst, C.**, 2015, FLAC Basics A Guide To its Practical Application in Geotechnical Engineering, Itasca Consulting Inc., Minneapolis, US.
- Gibson, R. E.**, 1953, Experimental Determination Of True Cohesion And True Angle Of Interval Friction, Proc. 3rd. ICSMFE, Zurich, 126 – 130p.
- Görmüş, M., ve Özkul, M.**, 1995, Gönen-Atabey (Isparta) ve Ağlasun (Burdur) Arasındaki Bölgenin Stratigrafisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Isparta, 1, 43-64s.
- Gürdal, İ.**, 2014, Isparta İli Merkez İlçesi Emre Mahallesi 171 Ada 88 Parsel Şev Stabilitesi ve Şev Tasarımı Raporu, Isparta.
- Highland , L., and Bobrowsky, P.**, 2008, The Landslide Handbook A Guide to Understanding Landslides, United States Geological Survey, Canada, 5-25p.
- Holtz, R. D., and Kovacz, W. D.**, 1981, Geoteknik Mühendisliğine Giriş. (Çeviren: Kâmil Kayabalı), Gazi Kitabevi, Ankara, 466s.
- Huang, H. Y.**, 1983, Stability Analysis Of Earth Slopes, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 219-231p.
- Hunt, R. E.**, 1986, Geotechnical Engineering Analysis and Evaluation, McGraw - Hill Book Company, New York.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Huvaj, N.**, 2017, Şev Stabilitesi Geoteknik Kurs Notları, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 1-90s.
- Karaman, M. E.**, 1994, Isparta-Burdur Arasının Jeolojisi ve Tektonik Özellikleri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 37(2), 119-134s.
- Karikari, Y. O. and Agyei, Y. G.**, 2000, Stability Of Slopes Over Colluvium: Investigation, Analysis And Stabilisation. Conference On Geotechnical Engineering Geoeng2000, Melbourne, Australia, 19-24p.
- Kazancı, N.**, 1993, Eğirdir Gölü Çanağının Oluşum Zamanına İlişkin Bir Gözlem, Jeoloji Mühendisliği, 42, 50-51s.
- Kazancı, N. ve Karaman, M. E.**, 1988, Gölcük (Isparta) Pliyosen Volkanoklastiklerinin Sedimenter Özellikleri Ve Depolanma Mekanizmaları, Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi, Isparta, 4, 16-35s.
- Keleşoğlu, K. M.**, 2016, Şevlerin Stabilitesi. Geoteknik Eğitim Kursu, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 1-97s.
- Keskin, N., Uzundurukan S. ve Türkmen, M.**, 2017, Isparta İli Merkez İlçesi Emre Mahallesi 171 Ada 88 Parsel Şev Stabilitesi ve Kazık Tasarımı Raporu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Liu, C. and Evett, J. B.**, 1998, Soil and foundations Fourth edition, Prentice Hall, Upper, New Jersey.
- Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü**, Isparta İli Bölgesel Jeoloji Haritası, 2021, Çankaya, Ankara.
- McCarthy, D. F.**, 1998, Essentials Of Soil Mechenics And Foundations. Fifth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 672-687s.
- Michalowski, R. L.**, 2002, Stability Charts For Uniform Slopes. Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering, 128(4), 351-355p.
- MIDAS GTS NX User Manual**, 2019, South Korea.
- Mitchell, R. J.**, 1983, Earth structures engineering, Allen and Unwin Inc, London, 104-162s.
- Mutlutürk, M.**, 2017, Isparta İli Merkez İlçesi Emre Mahallesi 171 Ada 88 Parsel Şev Tasarımı Raporu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Orhan, M.**, 2020, Geoteknik Mühendisliği ve Temel İnşaatı-2, Gazi Kitapevi, Ankara, 103-259s.
- Önalp, A. ve Arel, E.**, 2004, Geoteknik - II. Yamaç ve Şevlerin Mühendisliği, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Özaydın, K.**, 2016, Zemin Mekaniği, Birsan Yayınevi, İstanbul, 110-137s.
- Pala, E. A.**, 2019, Isparta İli Merkez İlçesi Emre Mahallesi 171 Ada 88 Parsel Şev Görselleri, T.C. Isparta Belediyesi, Isparta.
- Peck, R. B., Hanson, W. E. and Thornburn, T. H.**, 1974, Foundation Engineering, John Wiley & Sons, New York, 81p.
- Plaxis Material Models Manual**, 2002, Delft University of Technology, Netherlands.
- Plaxis Reference Manual**, 2002, Delft University of Technology, Netherlands.
- Popescu, M. E., and Sasahara, K.**, 2009, Landslides – Disaster Risk Reduction, Springer, Berlin Heidelberg, 1-18p.
- Poulos, H. G.**, 1999, Design of Slope Stabilizing Piles in Slope Stability Engineering, Balkema, Rotterdam, 6-17p.
- Rocscience Slide User's Guide**, 2010, Toronto.
- Rosenak, S.**, 1969, Zemin Mekaniği. (Çeviri: Toğrol, E - Tümay, M), İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul, 749s.
- Sarız, K.**, 1985, Keçiörlü Kükürt Yataklarının Oluşumu ve Yörenin Jeolojisi Doktora tezi, Eskişehir, 110s.
- Sezer, A.**, 2020, Şev Stabilitesi Ders Notları, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Simons, N. and Menzies, B.**, 2000, A Short Course in Foundation Engineering Second Edition, Thomas Telford Publishing, London, 1-24p.
- Singh, A.**, 1970, Shear Strength And Stability Of Man-Made Slopes, Journal Of Soil Mechanics And Foundations Div.
- Sönmez, H.**, 2020, Şevlerin Mühendislik Amaçlı Sınıflandırılması, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 1-21s.
- Spencer, E.**, 1967, A Method Of Analysis Of The Stability Of Embankments Assuming Parallel Inter-Slice Forces, Geotechnique, 17(1), 11-26p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sürücü, B.**, 2021, Plaxis ile Geoteknik Tasarım, Udey: <https://www.udemy.com/course/plaxis-ile-geoteknik-tasarim> adresinden alındı.
- Taşdemir, T.**, 2014, Isparta İli Merkez İlçesi Emre Mahallesi 171 Ada 88 Parsel Şev Stabilitesi Değerlendirme Raporu, Isparta.
- Taylor, D. W.**, 1937, Stability of earth slopes, J. Boston Soc. Civ. Eng, 197-246p.
- TS 8853**, 2014, Yamaç ve Şevlerin Dengesi ve Hesap Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği**, 2018, Acil Durum ve Afet Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Uygulaması**, 2018, <https://tdth.afad.gov.tr/>
- U.S. Army Corps of Engineers**, 1990, Engineering and Design Settlement Analysis, EM 1110-1-1904, D-3p.
- Uzuner, B. A.**, 2001, Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği. 5. Baskı, Teknik Yayınevi, Ankara, 242s.
- Varnes, D. J.**, 1978, Slope Movement Types and Processes, Chapter 2 in Landslides: Analysis, Transportation Research Board, Highway Research Council, 1-23p.
- Whitlow, R.**, 1995, Basic soil mechanics Third Edition, Addison Wesley Longman Limited, Essex, 346-397p.
- Yalçınkaya, S.**, 1989, Isparta-Ağlasun (Burdur) Dolaylarının Jeolojisi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- Yamaguchi, H.**, 1993, Collapse Of Cut Slope Of Weathered Tertiary Mudstone Ground, International Symposium On Assessment And Prevention Of Failure Phenomena In Rock Engineering, 521-528p.
- Yeşilot, S. K.**, 2000, Dinar-Isparta arasındaki Eosen Bentik Foraminiferlerinin Sistemik ve Biyofabrik İncelemesi (Doktora Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Yıldız, A. ve Toker, V.**, 1991, Çünür Köyü Yöresindeki (Isparta Kuzeyi) Üst Kretase-Eosen Yaşlı Birimlerin Planktik Foraminiferler ile Biyostratigrafik İncelemesi, TJK Bülteni, 34(2), 43-58s.

TEŞEKKÜR

COVID-19 Pandemisi döneminde yürütmüş olduğum tez çalışmam boyunca akademik bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen akademik danışmanım Sayın Prof. Dr. Selim ALTUN'a desteklerinden, rehberliğinden ve sabrından ötürü teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca yüksek lisans eğitimim boyunca şev mühendisliğinin şahsım adına çekici ve ilham verici bir konu haline gelmesini sağlayan Sayın Prof. Dr. Alper SEZER'e teşekkür ederim.

Çalışmamda kullanmış olduğum zemin ve temel etüdü raporları, şev stabilitesi analizleri vb. bilgi ve belgeleri kullanmama müsaade eden Sayın Isparta Belediyesi Başkan Yardımcısı Makine Mühendisi Hakkı KAYA'ya ve tezime konu olan vaka analizindeki şev probleminin çözümünde yardımlarını esirgemeyen, arazinin geçmişini ve jeolojik özelliklerini detaylı biçimde anlatan çalışma arkadaşım Sayın Jeoloji Yüksek Mühendisi Ebru ARAS PALA'ya teşekkür ederim.

Eğitimim boyunca benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bu hayattaki en büyük şansım; annem Sevil SÜRÜCÜ, babam Mustafa SÜRÜCÜ ve kardeşim Nur SÜRÜCÜ'ye sonsuz teşekkürler. Bu çalışmayı onlara ithaf ediyorum.

ÖZGEÇMİŞ

Burak SÜRÜCÜ, ilk ve orta öğrenimini Eğirdir Mehmet Akif Ersoy İlköğretim Okulu'nda tamamlamıştır. Lise eğitimini Isparta Gülkent Anadolu Lisesi'nde 93,75/100 not ortalamasıyla okul ikinciliği ile tamamlamıştır. 2014 yılında Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde başladığı lisans eğitimini 2019 yılında 3,88/4 genel not ortalamasıyla mühendislik fakültesi birinciliği ile tamamlamıştır. Atatürk Üniversitesi Bilgisayar Programcılığı bölümünden 2021 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisans eğitimine Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalında devam etmektedir. İnşaat mühendisliği çalışmalarını Isparta Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü Statik ve Geoteknik Proje Birimi sorumlusu olarak sürdürmektedir.

EKLER



T.C.
ISPARTA BELEDİYE BAŞKANLIĞI
İmar ve Şehircilik Müdürlüğü

Sayı : E-39026889-622.03-4914
Konu : Bilgi ve Belge Talebi Hk.

03.03.2021

Sayın: Burak SÜRÜCÜ
İstiklal Mah. 1108 Sok. Öznarın Apt. No:42-44 Kat:3 ISPARTA

İlgi : 25.02.2021 tarihli ve sayılı yazınız

İlgi dilekçenizde İzmir Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim dalında lisansüstü eğitim aldığınızı ve tez konunuz olan " Gevşek zeminlerden oluşmuş heyelan riski bulunan şevlerin tasarımı ve projelendirilmesi üzerine bir vaka analizi " incelediğinizi tez konunuz için belediyemiz arşiv bilgi ve belgelerinden faydalanmak istediğinizi belirtmişsiniz.

İmar ve Şehircilik Müdürlüğümüzden talep etmiş olduğunuz Emre Mahallesi 171 ada 88 nolu parselin arkasında bulunan yüksek şeve sahip heyelan bölgesi için yapılmış zemin ve temel etüd raporları, şev stabilite analizleri vb. envanterimizde yer alan bilgi ve belgelerden yararlanmanızda bir sakınca yoktur.

Bilgilerinize rica ederim.

Hakkı KAYA
Mak.Müh.
Başkan A.
Belediye Başkan Yardımcısı

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Doğrulama Kodu: Lv1E1I-GpLDaB-Us9sy3-RLZNO2-4HFgQk1T Doğrulama Linki: <https://www.turkiye.gov.tr/icisleri-belediye-ebys>

Kutlubey Mahallesi 113 Cadde No:38 Merkez / Isparta
Telefon No: (246)211 60 00 Faks No: (246)212 08 69
e-Posta: imar@isparta.bel.tr İnternet Adresi: <http://www.isparta.bel.tr>
Kep Adresi: ispartabld@hs03.kep.tr

Bilgi için: Ebru ARAS PALA
Mühendis
Telefon No:



1 BELGENİN ASLI
ELEKTRONİK İMZALIDIR
03.03.2021

Ek-1 Isparta Belediyesinden Alınan Materyal Kullanımı İzin Belgesi