

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE HEYELAN ANALİZİ :
GÜMÜŞHANE ÇEVREPINAR GÖLETİ HEYELAN ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur PEKER

EYLÜL 2025
TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE HEYELAN ANALİZİ :
GÜMÜŞHANE ÇEVREPINAR GÖLETİ HEYELAN ÖRNEĞİ**

Onur PEKER

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 / 08 / 2025

Tezin Savunma Tarihi : 15 / 09 / 2025

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Zekai ANGIN

Trabzon 2025

ÖNSÖZ

“Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Heyelan Analizi : Gümüşhane Çevrepınar Göleti Heyelan Örneği” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programında hazırlanmıştır.

Çalışma sürecinde her türlü yol gösterici olan, olumlu tavrıyla beni cesaretlendiren, bilgi birikimiyle çalışmama farklı açılardan bakmamı sağlayan beraber çalışmaktan ve her zaman öğrencisi olmaktan gurur duyduğum başta değerli danışman hocam Prof. Dr. Zekai ANGIN’a sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak, bana desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve her kararında arkamda olan eşim Mutlunur ÖNDER PEKER’e, bana dünyanın en güzel duygusu olan babalık duygusunu yaşatan biricik kızım Derin PEKER’e, hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan annem Bengi PEKER, babam Saim PEKER’e ve kardeşim Uğur PEKER’e teşekkür eder, minnettarlığımı sunarım.

Bu tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Onur PEKER

Trabzon 2025

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Heyelan Analizi : Gümüşhane Çevrepınar Göleti Heyelan Örneği ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Zekai ANGIN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 15/09/2025

Onur PEKER

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Taraması	2
1.3. Tezin Amacı	8
1.4. Heyelanlar	9
1.4.1. Heyelanların Tarihçesi	9
1.4.2. Şev Stabilitesinin Terminolojisi.....	10
1.4.3. Şev Duraylılığına Etki Eden Faktörler.....	12
1.5. Şevlerin Stabilitesi.....	12
1.5.1. Şev Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi	12
1.6. Şevlerin Stabilite Analiz Yöntemleri	14
1.6.1. Limit Gerilme Yöntemi.....	14
1.6.2. Limit Denge Yöntemi	14
1.6.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	20
1.7. Şev Islah Çalışmaları.....	21
1.7.1. Şeve Müdahale Edilmesi.....	21
1.7.2. Drenaj.....	21
1.7.3. Topuğa Yük Koymak.....	23
1.7.4. Dayanma Yapıları	23
1.7.5. Zemin Çivisi.....	28
2. HEYELAN SAHASI ÖZELLİKLERİ	30
2.1. Çalışma Alanının Yeri ve Özellikleri.....	30

2.2. İklim ve Bitki Örtüsü.....	31
2.3. Morfoloji	32
2.4. Genel Jeoloji.....	32
2.5. Stratigrafi (Katman Bilimi)	33
2.6. Yamaç Molozu (Qym).....	34
2.7. Depremsellik	35
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	40
3.1. Jeolojik Haritalama.....	40
3.2. Araştırma Çukur Çalışmaları.....	40
3.3. Laboratuvar Çalışmaları	40
3.4. Heyelan Mevcut Durum Değerlendirmesi	40
4. ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	46
4.1. Sonlu Elemanlar Sistemi	46
4.1.1. Sonlu Eleman Modeli Prensibi ile Çalışan Phase Programı	47
4.1.2. PHASE Programında Heyelan Analizi	47
4.2. Slide Programı (Likit Limit Prensibi) İle Analiz Ve Çözüm Alternatifleri	64
5. HEYELANA AİT ÇÖZÜM ÖNERİLERİ	76
5.1. Tahkimatsız Durum Analizi (1Y/1D).....	77
5.2. Tahkimatlı Durum Analizi (1Y/1D).....	79
5.3. Tahkimatsız Durum Analizi (3Y/2D).....	81
5.4. Tahkimatlı Durum Analizi (3Y/2D).....	82
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	86
7. KAYNAKLAR	88
8. EKLER.....	91
ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE HEYELAN ANALİZİ : GÜMÜŞHANE ÇEVREPINAR GÖLETİ HEYELAN ÖRNEĞİ

Onur PEKER

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Zekai ANGIN
2025, 90 Sayfa, 14 Sayfa Ek

Bu tez çalışmasında, Gümüşhane Şiran Çevrepınar Göleti sağ sahilinde yamaçta *heyelan* yaşanmış olup, heyelanın oluş sebebi, olduktan sonra arazi ve laboratuvar incelemeleri sonrası *Sonlu Elemanlar Yöntemi* ile bölgeyi *PHASE* ve *SLIDE* Programında modelleyerek, iki farklı analizle çözümleme yapılarak en uygunu seçilmiştir. Sisteme mevcut zeminin laboratuvar sonuçlarındaki veriler eşliğinde çözümleme yapılmış ve çözüm alternatiflerimize ışık olmuştur. Bu tezde mevcut yaşanmış heyelanın sonlu elemanlar yöntemi ışığında iki farklı alternatifle çözümlenerek en uygun imalatın belirlenerek nasıl koruma altına alınacağı amaçlanmıştır.

Çalışmada kullanılan PHASE2 ve SLIDE programları ile yapılan sayısal modellemeler sayesinde, zemin özellikleri ve topoğrafik eğim gibi faktörlerin heyelan üzerindeki etkileri detaylı şekilde analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen güvenlik katsayıları, olası zemin davranışlarını öngörmemizi sağlamış ve iyileştirme yöntemlerinin etkinliği karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Böylece, heyelanın tekrar meydana gelmesini önlemeye yönelik mühendislik çözümleri, bilimsel verilere dayalı ve sahaya uygun şekilde önerilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, benzer jeolojik yapıya sahip bölgelerde yapılacak mühendislik projeleri için yol gösterici nitelikte olup, bölgesel risk yönetimi açısından da önemli katkılar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Phase, Slide

Master Thesis

SUMMARY

LANDSLIDE ANALYSIS WITH FINITE ELEMENT METHOD : GÜMÜŞHANE ÇEVREPINAR DAM LANDSLIDE EXAMPLE

Onur PEKER

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Zekai ANGIN
2025, 90 Pages, 14 Pages Appendix

In this thesis, a landslide occurred on the right shore of Gümüşhane Şiran Çevrepinar Dam, and the reason for the landslide was modeled in the PHASE and SLIDE Program with the Finite Element Method after field laboratory examinations, and the most appropriate one was selected by solving with three different analyses. The system was analyzed with the data in the laboratory results of the existing ground and it shed light on our solution alternatives. In this thesis, it is aimed to analyze the existing landslide with three different alternatives in the light of the finite element method and determine the most appropriate production and how to protect it.

Through numerical modeling conducted using PHASE2 and SLIDE software, the effects of factors such as soil properties and topographic slope on the landslide were thoroughly analyzed. The safety factors obtained from these analyses enabled the prediction of potential soil behavior and allowed for a comparative evaluation of the effectiveness of various remediation methods. Consequently, engineering solutions aimed at preventing the recurrence of the landslide were proposed based on scientific data and tailored to site-specific conditions. The findings of this study serve as a guiding framework for future engineering projects in regions with similar geological characteristics and provide valuable contributions to regional risk management practices.

Key Words: Landslide, Finite Element Method, Phase, Slide

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Şevlerin tanımlanmasında kullanılan terminolojisi	11
Şekil 2. Şeve ait diğer parametreler	11
Şekil 3. Palyeli yarma enkesiti tipi, K.G.M. (2013)	22
Şekil 4. Yatay ve düşey drenler vasıtasıyla yeraltı suyunun tahliye edilmesi	23
Şekil 5. Taş duvar örneği	24
Şekil 6. Harçlı pere örneği	25
Şekil 7. Taş tahkimat örneği	26
Şekil 8. Betonarme duvar örneği	27
Şekil 9. Ankraj örneği	28
Şekil 10. Zemin çivi örneği.....	29
Şekil 11. Zemin çivi örneği.....	29
Şekil 12. Yer bulduru haritası (a) karayolları haritası (b) Google earth	30
Şekil 13. Heyelan alanı ve yakın çevresinin 1/100000 ölçekli MTA haritasındaki konumu (ölçeksiz)	33
Şekil 14. Heyelan alanı ve yakın çevresine ait stratigrafik kesit	35
Şekil 15. Heyelan alanının Türkiye deprem tehlikesi haritasındaki konumu	36
Şekil 16. Heyelan alanının Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasındaki konumu ve beklenen en büyük yer ivmesi değeri	36
Şekil 17. MTA yerbilimleri haritasında heyelan alanının konumu (a) uzak görünüm (b) yakın görünüm.....	37
Şekil 18. AFAD Deprem Kataloğunda çalışma alanın konumu ve 100 km'lik yarıçap içerisinde 1900'den itibaren oluşmuş depremler	38
Şekil 19. Aks yolu için hazırlanan tip kesit	41
Şekil 20. Heyelanın genel görünümü.....	41
Şekil 21. Heyelanlı kesimlerde akarak kazıları tekrar dolduran malzeme.....	42
Şekil 22. Mevcut duruma ait jeolojik kesit	43
Şekil 23. Birimin mevcut mostralarda görünümü.....	44
Şekil 24. AÇ-1'in görünümü.....	44
Şekil 25. Program görünümü	48
Şekil 26. Program görünümü	49
Şekil 27. Program görünümü	49

Şekil 28.	Program görünümü	50
Şekil 29.	Malzeme atama	51
Şekil 30.	Malzeme atama	51
Şekil 31.	Malzeme parametrelerini yazılıma tanımlama	52
Şekil 32.	Sonlu elemanlar ağına dönüştürme işlemi	52
Şekil 33.	Sonlu elemanlar ağına dönüştürme işlemi	53
Şekil 34.	Mesnetleri kaldırma işlemi	53
Şekil 35.	Mesnetleri kaldırdıktan sonraki hali	54
Şekil 36.	Hesaplama komutu	54
Şekil 37.	Analiz komutu	55
Şekil 38.	Analiz görüntüsü	55
Şekil 39.	Deprem yüklemesi	56
Şekil 40.	Deprem yüklemesi	56
Şekil 41.	Sisteme deprem ivmesi girilmesi	57
Şekil 42.	Dinamik yük altındaki sonuç	57
Şekil 43.	Program görünümü	58
Şekil 44.	Malzeme atama	59
Şekil 45.	Malzeme parametrelerini yazılıma tanımlama	59
Şekil 46.	Sonlu elemanlar ağına dönüştürme işlemi	60
Şekil 47.	Sonlu elemanlar ağına dönüştürme işlemi	60
Şekil 48.	Hesaplama komutu	61
Şekil 49.	Analiz komutu	61
Şekil 50.	Analiz görüntüsü	62
Şekil 51.	Deprem yüklemesi	62
Şekil 52.	Deprem yüklemesi	63
Şekil 53.	Sisteme deprem ivmesi girilmesi	63
Şekil 54.	Dinamik yük altındaki sonuç	64
Şekil 55.	Km: 2+980 kesiti üzerinde yapılan heyelan öncesi kısa dönem stabilite analizi	65
Şekil 56.	Km: 2+980 kesiti üzerinde yapılan heyelan öncesi uzun dönem stabilite analizi	66
Şekil 57.	Km: 2+980 kesiti üzerinde elle yapılan analize ait 12. dilim bilgileri ve görünümü	69
Şekil 58.	Geri analiz modeli	71
Şekil 59.	Geri analiz sonucu	72

Şekil 60.	Geri analiz sonucu $c-\phi$ dağılımı grafiği	74
Şekil 61.	Geri analiz sonucu $G.S.= 0.99-1,01$ aralığı- $c-\phi$ dağılımı grafiği.....	74
Şekil 62.	Heyelanın taç kısmı	76
Şekil 63.	Önerilen projeye ait statik durum uzun dönem stabilite analizi	77
Şekil 64.	Önerilen projeye ait dinamik durum uzun dönem stabilite analizi.....	78
Şekil 65.	Önerilen projeye ait statik durum uzun dönem stabilite analizi	79
Şekil 66.	Önerilen projeye ait dinamik durum uzun dönem stabilite analizi.....	80
Şekil 67.	Önerilen projeye ait statik durum uzun dönem stabilite analizi	81
Şekil 68.	Önerilen projeye ait dinamik durum uzun dönem stabilite analizi.....	81
Şekil 69.	Önerilen kazıya ait plan görünümü.....	82
Şekil 70.	Önerilen 1 kazıya ait kesit görünümü.....	83
Şekil 71.	Önerilen projeye ait statik durum uzun dönem stabilite analizi	84
Şekil 72.	Önerilen projeye ait dinamik durum uzun dönem stabilite analizi.....	85

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Gümüşhane ili uzun yıllar (1961-2019) içerisinde gerçekleşen ortalama değerler	31
Tablo 2. 1900-Günümüz (05.12.2020 itibari ile) arasında gerçekleşmiş depremler	38
Tablo 3. Analiz Sonucu Güvenlik Katsayıları Tablosu.....	87



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

MTA	: Maden Tetkik Arama
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
PGA	: Tepe Yer İvmesi
UD	: Örselenmemiş
c	: Birime ait Kohezyon (kPa)
$\emptyset$	: Kayma Mukavemeti Açısı ($^{\circ}$)
Δl	: Dilim Genişliği (m)
u	: Boşluk Suyu Basıncı
α	: Şev Eğimi
W	: Dilim Ağırlığı
$F_{,gk}$	: Güvenlik Katsayısı
H	: Şev Yüksekliği
β	: Şev Açısı, eğim açısı
θ	: Kayma dairesi merkez açısı
[ab]	: Şev yüzeyi
(ac)	: Kayma yüzeyi
[bc]	: Şev tepesi
a	: Şev topuğu

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Tarih boyunca doğal afetler, yeryüzünde meydana gelen, büyük ölçekte can ve mal kayıplarına neden olabilen olaylardır. Bu afetlerden biri olan heyelanlar, özellikle dağlık ve engebeli arazilerde, insan müdahalesi olsun ya da olmasın, sıkça karşılaşılan bir doğa olayıdır. Türkiye'nin coğrafi yapısı incelendiğinde, yüksek rakımlı, dağlık ve engebeli alanların geniş bir yer kapladığı görülmektedir. Bu durum, heyelan riskinin ülke genelinde yaygın olmasına neden olmaktadır. Özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi, yoğun eğim, yüksek yağış miktarı ve jeolojik yapı gibi faktörler nedeniyle heyelan olaylarının en sık yaşandığı bölgelerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu bölgede meydana gelen heyelanlar, hem can kaybına hem de önemli ölçüde maddi zarara yol açmaktadır.

Özellikle şev stabilitesi, zemin deformasyonları ve heyelanlar, mühendislik projelerinin planlama ve uygulama süreçlerinde dikkatle değerlendirilmesi gereken konular arasındadır. Bu bağlamda, mühendislik yapılarının tasarımında doğal afet risklerini en aza indirecek yaklaşımlar geliştirilmelidir. Günümüzde bu tür risk analizlerinin yapılmasında bilgisayar destekli analiz ve modelleme programları önemli bir rol oynamaktadır.

Bu programlardan biri olan Phase, sonlu elemanlar yöntemi kullanarak zeminlerin deformasyon ve stabilite analizlerini detaylı şekilde gerçekleştirebilmektedir. Programın sunduğu görsel ve sayısal analizlerle, inşa edilmek istenen yapıların farklı zemin koşullarında nasıl bir davranış göstereceği öngörülebilme, bu da mühendislerin daha güvenli ve ekonomik çözümler üretmesine imkân tanımaktadır.

Bu çalışmada, çevresel doğa koşulların etkisinin (yağmur, kar, donma, çözünme, vb.) neden olduğu heyelan risklerinin azaltılmasına yönelik mühendislik uygulamaları kapsamında, Phase ve Slide yazılımları kullanılarak gerçekleştirilen analizlere yer verilecektir. Çalışmanın amacı, heyelan riski olan yamaçlarda riskin ortadan kaldırılması için zemin parametrelerin araştırılıp, doğru veriler ışığında bilgisayar programlarında analiz yaparak en uygun çözümü üretip, heyelan noktasında doğru çalışmaları bulmaktır.

1.2. Literatür Taraması

Literatürde, heyelanla alakalı vakaların sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak paket programı yardımıyla çözülmesiyle ilgili çok örnek olmamasına rağmen bu konuyla alakalı ilgili çalışmalar bulunmaktadır.

Laman vd. (2007), tarafından yapılan çalışmada, zemin-yapı etkileşimi problemlerinde zemin cinsi, rijitliği ve deformasyon özelliklerinin en önemli etmenler arasında yer aldığı belirtilmiştir. Üst yapı davranışına odaklanan bazı araştırmacılar, zeminin karmaşık davranışlarını sadeleştirerek, yalnızca sınırlı sayıda zemin parametresi üzerinden çözüm üretmeye çalışmaktadır. Ancak zemin davranışının tek bir varsayıma dayalı olarak değerlendirilmesi, gerçekçi sonuçlar elde edilmesini engelleyebilmektedir.

Bu bağlamda gerçekleştirilen çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak farklı zemin modelleriyle analizler yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, kumlu zeminler üzerine oturtulan dairesel temellerin taşıma kapasitesinin hesaplanmasında, "Pekleşme Zemin Modeli" nin kullanılması durumunda, elde edilen zemin parametrelerinin daha uygun sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, kullanılan zemin parametrelerinin zemin davranışı üzerindeki etkileri de incelenmiş; elde edilen bulgular literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Öz (2007), Gaziantep İli Şahinbey İlçesi Sarısalkım Köyü'nde yer alan toprak dolgu bir barajın stabilitesinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, şev stabilitesi ile ilgili temel tanımlar yapılmış; şev hareket türleri ve heyelan çeşitleri ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Ayrıca, analizlerde kullanılacak yöntemler hakkında bilgi verilmiştir.

Sahada gerçekleştirilen zemin etütleri sonucunda, mevcut zemin tipleri belirlenmiş ve bu zeminlere ilişkin mühendislik analizleri yapılmıştır. Şev stabilitesi, özellikle kayma yüzeyleri üzerinde olmak üzere, deprem etkileri ve boşluk suyu basınçları dikkate alınarak değerlendirilmiş; bu doğrultuda güvenlik katsayısı (gk) değerleri elde edilmiştir. Çalışmanın uygulama aşamasında ise, baraj dolgusunun genel stabilitesi araştırılmış ve elde edilen güvenlik katsayısı değerleri üzerinden değerlendirme yapılmıştır.

Dikmen (2013) tarafından yürütülen çalışmada, zeminden gelen yüklerin üst yapıya güvenli bir şekilde aktarılmasını sağlayan temel elemanlarının önemi vurgulanmıştır. Zeminlerin taşıma gücü ve mühendislik parametrelerine bağlı olarak tasarlanan temellerde, oturma miktarını azaltmak ve taşıma kapasitesini artırmak amacıyla, zeminde yeterli sürtünme direncine sahip geotekstil malzemelerin kullanımı araştırılmıştır.

Çalışma kapsamında, laboratuvar deneyleri ile elde edilen veriler doğrultusunda sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar ortamında yapılan bu analizler sonucunda elde edilen grafiksel veriler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve geotekstil kullanımının zemin-temel sistemi üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur.

Halat (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, son yıllarda artan nüfus yoğunluğuna bağlı olarak inşaat sektörünün yüksek katlı yapılar, çok katlı bodrumlar ve tünel projelerine yöneldiği belirtilmiştir. Bu kapsamda, derin kazılar sonucunda meydana gelebilecek mühendislik sorunlarına karşı alınabilecek önlemler ele alınmış ve çözüm olarak zemin çivili destekleme sisteminin kullanımı incelenmiştir.

Çalışmada, öncelikle zemin çivili sistemin avantajlarına değinilmiş, ardından bu sistem klasik analiz yöntemleriyle değerlendirilerek projelendirilmiştir. Klasik yöntemlerle yapılan analizlerin ardından, sistem sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yeniden modellenmiş ve deformasyon davranışları detaylı şekilde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, zemin çivili sistemin derin kazılarda sağlayabileceği mühendislik avantajlarını ortaya koymuştur.

Ataş (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Tarsus – Çamlıyayla İl Yolu'nun belirli bir kilometresinde yürütülen yol genişletme çalışmaları sırasında meydana gelen heyelan incelenmiştir. Çalışmanın amacı, gerçekleşen heyelanın ardından bölgede oluşabilecek potansiyel heyelanları önlemek için gerekli iyileştirme ve şev stabilite çalışmalarını ortaya koymaktır.

Bu kapsamda, zemin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla hem laboratuvar hem de arazi deneyleri gerçekleştirilmiş; elde edilen zemin parametreleri doğrultusunda heyelan modellemesi yapılmıştır. Hazırlanan model üzerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak deformasyon analizleri gerçekleştirilmiş, zemin iyileştirme öncesi ve sonrası durumlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Analiz sonuçları, zemin iyileştirme çalışmalarının şev stabilitesi üzerindeki etkilerini ortaya koymuş; elde edilen güvenlik katsayıları karşılaştırılarak modellemenin uyumlu ve güvenilir sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Kabakçı (2017) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada, son yıllarda büyük bir ivme kazanan inşaat sektörünün, yol, viyadük ve tünel gibi altyapı projelerinde sıklıkla ihtiyaç duyduğu zemin çivili duvar sistemlerinin tasarımı ve uygulaması ele alınmıştır. Çalışmada öncelikle zemin çivili duvarların imalat aşamaları detaylı şekilde açıklanmış; imalat için

gerekli olan malzemeler tanıtılmış ve bu sistemlerin uygulanabilir olduğu zemin koşulları değerlendirilmiştir.

Zemin çivili duvar sistemi, diğer iksa sistemleri ile karşılaştırılmış; avantajları ve dezavantajları teknik açıdan analiz edilmiştir. Tasarım sürecinde izlenen aşamalar açıklanmış ve kullanılan mühendislik parametreleri hakkında bilgi verilmiştir. Uygulanan zemin çivilerinin deformasyon davranışları incelenmiş; bu amaçla çeşitli sayısal analiz programları (Plaxis 2D, Slide, Snailz ve Snap-2) kullanılmıştır.

Her bir program ile elde edilen analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve sistemin mühendislik performansı açısından uygunluğu ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular doğrultusunda, zemin çivili duvarların tasarım ve uygulamasında dikkat edilmesi gereken hususlar belirlenmiş ve öneriler sunulmuştur.

Özgenç (2018) tarafından yürütülen bu çalışmada, heyelanların oldukça karmaşık doğal afetler olduğu vurgulanmış ve bu olayların oluşturabileceği riskler üzerine değerlendirmelerde bulunulmuştur. Çalışmanın uygulama alanı olarak, Zonguldak ili Kozlu ilçesine bağlı Kılıç bölgesinde meydana gelmiş olan heyelan sahası seçilmiştir. Bu bölgede gerçekleştirilen kapsamlı etüt çalışmaları ve elde edilen geoteknik raporlar doğrultusunda, saha koşullarına uygun sayısal bir modelleme yapılmıştır.

Modelleme sürecinde, sonlu elemanlar yöntemi kullanan Plaxis 2D programı ile analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, zeminin statik yükler altındaki davranışı değerlendirilmiş ve oluşan deplasman değerleri detaylı şekilde incelenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, heyelan riskinin boyutu ve zeminin mühendislik açısından performansı ortaya konulmuştur.

Bu çalışma, benzer jeoteknik risk taşıyan alanlarda yapılacak mühendislik projeleri için önemli veriler sunmakta ve heyelanlara karşı alınabilecek önlemler konusunda yol gösterici nitelik taşımaktadır.

Turhan (2018), iki farklı temel tipine sahip siloların oluşturduğu yükleri üç farklı zemin türüne aktarmış; zeminlerde meydana gelen gerilme ve deformasyonları Plaxis 2D sonlu elemanlar programı kullanarak analiz etmiştir. Çalışma sonucunda, aynı temel sisteminin farklı zemin koşullarında farklı oturmalarla neden olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen deformasyon ve gerilme değerleri karşılaştırılarak, en ekonomik temel çözümü belirlenmiştir. Ayrıca, yapılması planlanan imalat için uygun temel tipinin seçilmesinde yalnızca maliyetin değil, diğer mühendislik parametrelerinin de dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Bozkurt (2019), derin kazılarda kullanılan destekleme sistemlerinin çözümlemesinde sonlu elemanlar yönteminin güvenilirliğini irdelemiş ve zemindeki değişimlerin tasarım sürecine doğrudan etkisinin altını çizmiştir. Çalışma kapsamında, Ankara ve İstanbul illerinde belirli yüksekliklerde yapılması gereken derin kazılar ele alınmıştır. Bu kazıların analiz edilebilmesi amacıyla, sahada gerçekleştirilen deneyler ve yapılan ölçümler doğrultusunda zemin parametreleri elde edilmiştir. Elde edilen veriler, sonlu elemanlar yöntemine dayalı çalışan bilgisayar programları aracılığıyla analiz edilmiş ve bu doğrultuda kazıların güvenilirliği değerlendirilmiştir. Çalışma, zemin özelliklerinin doğru belirlenmesi ve bu parametrelerin mühendislik analizlerine sağlıklı şekilde entegre edilmesinin, güvenli kazı tasarımları açısından kritik öneme sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Karadağ (2019), şev stabilitesi ile ilgili problemler üzerine kapsamlı bir inceleme yapmış, şevin tanımı, şev hareketlerinin türleri ve bu hareketlerin oluşum sebepleri hakkında açıklamalar sunmuştur. Çalışmada, şev analizlerinde kullanılan yöntemler ele alınmış ve zemin parametrelerinin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Araştırma kapsamında, Yalova ili Çiftlikköy ilçesinde yer alan Gençlik Caddesi'nde meydana gelen heyelan olayı analiz edilmiştir. Bu analizde, sonlu elemanlar yöntemi temel alınarak Plaxis 2D ve Slide yazılımları kullanılmıştır. Her iki yazılım aracılığıyla farklı çözümleme yöntemleri uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılarak en uygun analiz yaklaşımı belirlenmiştir. Nihai olarak, heyelan probleminin çözümünde fore kazık sisteminin en etkili yöntem olduğuna karar verilmiş; bu sistem için gerekli donatı hesaplamaları yapılarak tasarım süreci tamamlanmıştır. Çalışma, teorik bilgi ile uygulamalı mühendislik analizlerinin bütünleştiği önemli bir örnek teşkil etmektedir.

Keleşoğlu (2020), mühendislik alanında kritik bir öneme sahip olan şev stabilitesi ve heyelanlar üzerine detaylı incelemelerde bulunmuştur. Çalışmada; şevlerin nasıl stabil hale getirilebileceği, şev hareketlerinin hangi mekanizmalarla gerçekleştiği, zemin analizlerinde kullanılan parametreler ve heyelanları önlemeye yönelik mühendislik çözümleri ele alınmıştır. Araştırma kapsamında, Karayolları Genel Müdürlüğü 10. Bölge sınırları içinde yer alan Trabzon-Kireçhane Ayrımı - Uğurlu İl Yolu üzerindeki Yeniköy heyelanı incelenmiştir. Bölgede gerçekleştirilen zemin etüt çalışmaları neticesinde zemin özellikleri belirlenmiş ve bu veriler doğrultusunda bir zemin etüt raporu hazırlanmıştır. Arazide yürütülen deneysel çalışmalarla elde edilen zemin parametreleri ve zemin geometrisi, analiz programına aktarılmıştır. Modelleme çalışmaları farklı yöntemlerle gerçekleştirilmiş ve her yöntem için güvenlik katsayıları hesaplanarak karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Sonuç

olarak, uygun bulunan iksa (destekleme) yapısının maliyeti, Karayolları Genel Müdürlüğü 2019 yılı birim fiyat cetveli kullanılarak hesaplanmıştır.

Pehlivan (2019), Karayolları Genel Müdürlüğü 15. Bölge Müdürlüğü sorumluluk alanında yer alan Cide Özlüce – İnebolu sahil yolunda meydana gelen heyelan olayını incelemiştir. Çalışma kapsamında, sahada gerçekleştirilen gözlem ve ölçümler doğrultusunda heyelan bölgesi modellenmiş ve şev stabilitesi analiz edilmiştir. Analizlerde, güvenlik katsayısı temel alınarak mevcut durum değerlendirilmiş ve oluşan risk düzeyi belirlenmiştir. Elde edilen güvenlik katsayısı sonuçlarına göre, bölgedeki heyelan riskini azaltmaya yönelik çeşitli iyileştirme yöntemleri önerilmiş ve uygun mühendislik çözümleri geliştirilmiştir. Bu çalışma, karayolu altyapılarında meydana gelen şev problemlerinin analizi ve mühendislik temelli müdahale yöntemlerinin belirlenmesi açısından önemli bir katkı sunmaktadır.

Ün (2019), şev stabilitesini etkileyen temel parametrelerin şev yüksekliği, eğim açısı, yükleme koşulları ve zemin davranışı olduğunu belirtmiştir. Yapılan çalışmada, şev hareketlerine neden olan etkenler detaylı şekilde incelenmiş ve bu hareketlere karşı alınabilecek mühendislik önlemleri ele alınmıştır. Çalışma kapsamında, şev stabilitesinin analizinde kullanılan Slide yazılımına değinilmiş; analiz yapılacak olan şev, bilgisayar ortamında modellenmiştir. Modelleme sürecinde, zemin parametreleri sabit tutulmuş; buna karşın yüklerin büyüklüğü, şekli, konumu ve zemin davranış modelleri değiştirilerek çeşitli senaryolar altında analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları, güvenlik katsayısı referans alınarak karşılaştırılmış ve en uygun çözüm yöntemi belirlenmiştir. Sonuç olarak, fore kazık uygulamasının en etkili iyileştirme yöntemi olduğuna karar verilmiş ve gerekli mühendislik analizleri yapılarak önerilen çözüm tasarımı tamamlanmıştır. Bu çalışma, şev stabilitesinin optimizasyonuna yönelik parametrik analizlerin mühendislik çözümlerine katkısını ortaya koyması açısından önem taşımaktadır.

Çopan (2020), derin kazı projelerinde kullanılan iksa sistemlerinin, inşaat ve geoteknik mühendisliği uygulamaları açısından kritik öneme sahip olduğunu vurgulamıştır. Yapılan çalışmada, derin kazı yapılacak bir alan üzerinde çeşitli iksa sistemleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. İlk aşamada yalnızca fore kazıklı sistem tasarlanarak modellenmiş; ardından tek sıra ankrajlı ve iki sıra ankrajlı fore kazıklı sistem alternatifleri değerlendirmeye alınmıştır. Analiz sonuçlarına göre, yalnızca fore kazıklı ve tek sıra ankrajlı fore kazıklı sistemler, kazı sonucu oluşabilecek yatay deplasman değerlerini karşılamada yetersiz kalmıştır. Buna karşılık, iki sıra ankrajlı fore kazıklı iksa sistemi, istenilen

deplasman limitleri içerisinde kalmayı başarmış ve bu doğrultuda en uygun çözüm yöntemi olarak belirlenmiştir. Bu çalışma, derin kazı tasarımlarında alternatif iksa sistemlerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesinin önemine dikkat çekmektedir.

Cevher (2021), hızla artan nüfusun barınma ihtiyacını karşılamak amacıyla, topoğrafik olarak uygun olmayan yamaç alanlarında dahi yerleşim yerlerinin kurulmaya başlandığını vurgulamıştır. Bu doğrultuda, ulaşım altyapısının sağlanması için zorunlu hale gelen şev kazıları, yarma ve dolgu işlemlerinin, çeşitli jeoteknik sorunları da beraberinde getirdiği ifade edilmiştir. Özellikle bu müdahaleler sonucunda oluşan şev yüzeylerinde meydana gelen kaymalar ve heyelanların oluşum nedenleri detaylı biçimde ele alınmıştır. Çalışmada, modern mühendislik çözümlerine olan gereksinim doğrultusunda, şev stabilitesini değerlendirmek amacıyla kullanılan bilgisayar yazılımlarına yer verilmiş; bu yazılımların heyelan riskini minimize etme amacıyla nasıl kullanıldığı açıklanmıştır. Şev stabilitesini sağlamak için önerilen çözüm yöntemi olarak fore kazık uygulaması benimsenmiş ve bu yöntemin uygulanabilirliği yazılım analizleriyle desteklenmiştir. Ayrıca, önerilen fore kazık sistemine ait donatı hesapları da detaylı biçimde yapılarak çözüm önerisi mühendislik hesaplarıyla birlikte sunulmuştur. Bu çalışma, yamaç yerleşim alanlarındaki şev istikrarının sağlanmasına yönelik bütüncül bir mühendislik yaklaşımı sunmaktadır.

Hatinoğlu (2021), günümüzde yapılaşmanın hızla artmasıyla birlikte, derin kazıların inşaat mühendisliği alanında yaygın bir uygulama haline geldiğini belirtmiştir. Çalışmasında, Rize’de gerçekleştirilen AVM ve Çok Katlı Konut Projesi kapsamında planlanan derin kazı incelenmiştir. İlk olarak, proje alanında zemin analizi yapılmış; ardından kazı derinlikleri belirlenerek üç farklı iksa sistemi tasarlanmış ve bu sistemler üzerinden mühendislik analizleri gerçekleştirilmiştir. Düşey taşıyıcı sistem olarak fore kazıklar, yatay destek elemanları olarak ise belirli boyut ve aralıklarla yerleştirilen ankrajlar kullanılmıştır. Tüm sistem, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak sayısal analiz programlarıyla modellenmiş ve çözümlenmiştir. Analiz sonuçları, sahada yerleştirilen inklinometrelerden elde edilen ölçümlerle karşılaştırılmış ve modelin saha verileriyle yüksek uyum gösterdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, önerilen iksa sisteminin hem teorik hem de pratik açıdan güvenilir olduğunu ortaya koymuştur.

Korkutan (2021), inşaat ve jeoteknik mühendisliğinin temel çalışma alanlarından biri olan şev davranışı üzerine çeşitli tanımlamalar ve analizler gerçekleştirmiştir. Çalışmada, şev stabilitesinin mühendislik uygulamalarındaki önemi vurgulanmış ve şevlerde meydana gelebilecek stabilite sorunları detaylı biçimde ele alınmıştır. Bu problemlere neden

olabilecek başlıca faktörler; zemin özellikleri, şev geometrisi, su seviyesi değişimleri ve dış yüklemeler gibi çeşitli mühendislik ve çevresel etkenler olarak sıralanmıştır. Ayrıca, şev stabilitesinin analizinde yaygın olarak kullanılan *limit denge yöntemi* üzerinde durulmuş; bu yöntemin temel prensipleri ve uygulama alanları açıklanmıştır. Çalışmada, güvenlik katsayısının tanımı yapılmış, bu katsayının şev tasarımlarında neden kritik bir değerlendirme ölçütü olduğu detaylandırılmıştır. Sonuç olarak, güvenlik katsayısı aracılığıyla şevlerin kararlılığı hakkında önceden öngörüle bulunmanın mümkün olduğu ve bu sayede olası zemin hareketlerinin önüne geçilebileceği ortaya konulmuştur.

Şen (2021), çalışmasına kazı kavramını tanımlayarak başlamış, sığ kazılar ve derin kazılar arasındaki farklara değinmiştir. Bu bağlamda, her iki kazı türüne ilişkin istatistiksel verilerle desteklenen örnek bir değerlendirme sunulmuştur. Çalışmanın devamında, geçmişten günümüze kadar kullanılan dayanma yapıları incelenmiş; tarihsel süreç içerisinde bu yapıların gelişimi ve mühendislik uygulamalarındaki yerleri değerlendirilmiştir. Derin kazılara yönelik uygulanabilecek yöntemler, avantaj ve dezavantajlarıyla birlikte ele alınmış, her yöntemin teknik yeterlilikleri karşılaştırılmıştır.

Fore kazık sistemleri, ön germeli ankrajlar ve kirişlere dair mühendislik şartları özetlenmiş; özellikle ankraj sistemleri detaylı biçimde incelenmiştir. Ankrajlarla ilgili yapılan deneysel çalışmalara yer verilmiş ve teorik bilgilerle birlikte değerlendirme yapılmıştır. Uygulamalı kısımda ise, İstanbul ilinde gerçekleştirilen ankrajlı kazı yöntemiyle inşa edilen bir derin kazı projesi ele alınmıştır. Proje kapsamında, sahada gerçekleştirilen zemin etütleri doğrultusunda elde edilen parametreler kullanılarak Rocscience SLIDE programı ile şev stabilite analizleri yapılmıştır. Bu analizler aracılığıyla önerilen iksa sisteminin performansı değerlendirilmiş ve sonuçlar mühendislik kararlarının doğruluğunu destekler nitelikte sunulmuştur.

1.3. Tezin Amacı

Artan dünya nüfusu ile birlikte barınma ihtiyacı da giderek önem kazanmaktadır. Bu doğrultuda, yeni yerleşim alanlarına olan talep artmakta ve kırsal bölgeler de bu talebin odağı hâline gelmektedir. Barınma ihtiyacının yanı sıra, yerleşim alanları arasında ulaşım gereksinimi de paralel olarak artış göstermektedir. Bu ulaşım ihtiyacının karşılanmasında en yaygın yöntemlerden biri karayolu ulaşımıdır. Ancak karayolu inşaatı sırasında karşılaşılan zorlu arazi koşulları, can ve mal güvenliğini tehdit edebilecek riskler barındırabilmektedir.

Özellikle deniz seviyesinden uzaklaştıkça, şevli araziler ile heyelan ve sel riski yüksek bölgelerde bu riskler daha belirgin hâle gelmektedir. Bu tür arazi koşullarında güvenli ve ekonomik mühendislik çözümleri geliştirmek büyük önem taşımaktadır. Türkiye özelinde değerlendirildiğinde, özellikle denize yakın bölgelerde engebeli ve eğimli arazi yapılarının yaygın olması nedeniyle bu konu yerel ölçekte de önem arz etmektedir.

1.4. Heyelanlar

Heyelanlar, yeryüzünde oldukça sık karşılaşılan ve yaygın olarak görülen bir kütle hareketi türüdür. Aynı zamanda yüzey aşınmasında önemli bir rol oynarlar. Özellikle büyük ölçekli heyelanlar, bulundukları bölgelerde topografyada kalıcı ve derin izler bırakabilirler. Türkiye’de heyelanların en sık görüldüğü bölgelerin başında Karadeniz Bölgesi, özellikle de Doğu Karadeniz kıyı şeridi gelmektedir. Bu tez çalışmasında da, Karadeniz Bölgesi’nde meydana gelmiş bir heyelan örneği detaylı olarak incelenecektir.

1.4.1. Heyelanların Tarihçesi

Heyelanlar, zemin ve toprak kaymaları nedeniyle doğrudan insan yaşamını tehdit eden doğal afetler arasında yer almaktadır. Türkiye, jeolojik yapısı gereği engebeli bir topoğrafyaya sahip olduğundan dolayı, özellikle büyük ölçekli altyapı ve üstyapı projeleri nedeniyle sıklıkla heyelan riskiyle karşı karşıya kalmaktadır.

Ünsal (2005), dünya genelinde meydana gelen bazı büyük heyelanları şu şekilde sıralamaktadır:

- Elm Kasabası Heyelanı (İsviçre, 1881)
- Vaiont Barajı Heyelanı (İtalya, 1960)
- Galler Aberfan Heyelanı (İngiltere, 1966)
- Huascaran Heyelanı (Peru, 1970)
- Batı Virginia Heyelanı (ABD, 1972)
- Montara Heyelanı (1974)
- Guatemala Heyelanı (2005)

Benzer şekilde Türkiye’de de her yıl birçok insan hayatını kaybetmekte, ciddi mal kayıpları yaşanmaktadır. 1958–2000 yılları arasında ülkemizde gerçekleşen veya

gerçekleşme riski bulunan heyelanlar nedeniyle yaklaşık 4.250 yerleşim yeri etkilenmiş, 197 kişi yaşamını yitirmiştir.

Bıçakçı ve Özgür (1995), Türkiye'de önemli can ve mal kaybına yol açan bazı heyelanları şu şekilde raporlamaktadır:

- Sürmene–Of Heyelanı (Mayıs, 1929)
- Kanlıdere–Fındıklı (Rize) Heyelanı (1979)
- İkizdere (Rize) Heyelanı (1982)
- Çatak–Maçka (Trabzon) Heyelanı (1988)
- Senirkent (Isparta) Çamur Akması (1995)
- Koyulhisar (Sivas) Heyelanı (Mart, 2005)
- Çöllolar Kömür Ocağı (Kahramanmaraş) Heyelanı (2011)

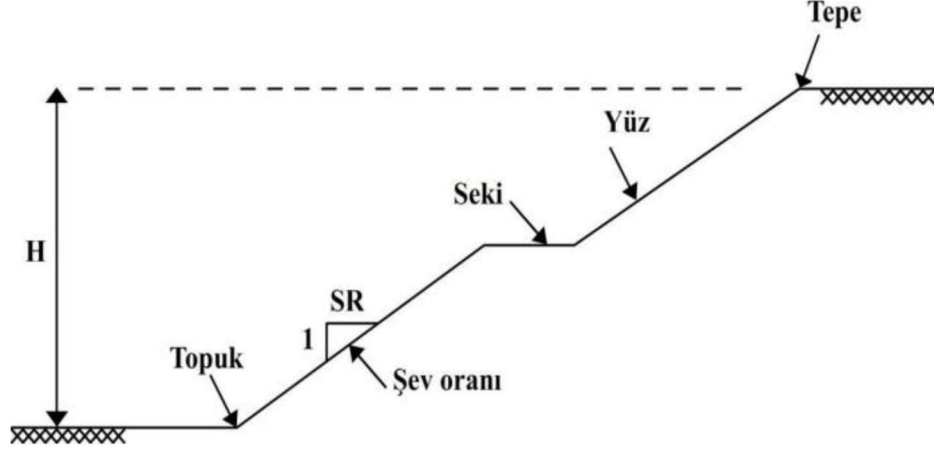
1.4.2. Şev Stabilitesinin Terminolojisi

Şev, zemin veya kaya yüzeyinde doğal süreçler ya da insan faaliyetleri sonucunda oluşan meyilli alan olarak tanımlanmaktadır. İnsan eliyle gerçekleştirilen kazı ya da dolgu işlemleri sonucunda oluşan şevler yapay şev olarak adlandırılırken; doğada kendiliğinden meydana gelen eğimli yüzeyler ise doğal şev ya da yaygın kullanılan adıyla yamaç olarak adlandırılmaktadır. Yer çekiminin etkisiyle yamaçların kayması sonucunda oluşan doğal afet ise toprak kayması olarak bilinmektedir. Şev yüzeyinde mühendislik uygulamaları sonucu oluşan zemin hareketleri ise kayma, gelme veya göçme şeklinde sınıflandırılmaktadır (Önalp ve Arel, 2004).

Coduto (2006), mühendislik uygulamalarında şevlerle ilgili kullanılan temel terimleri şu şekilde açıklamaktadır:

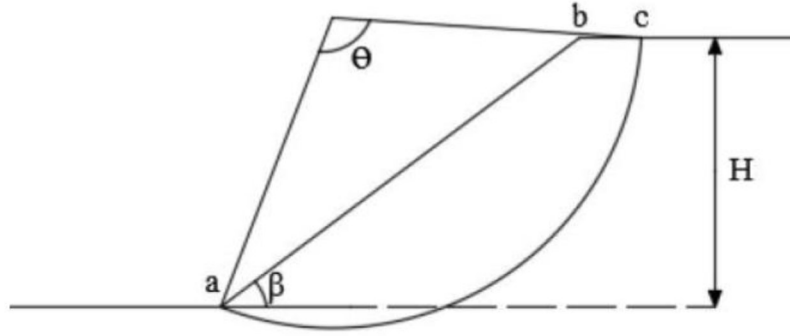
- Şev Oranı: Şevin geometrik eğimini belirtmek için kullanılan bir ifadedir. Genellikle "yatay/düşey" formatında gösterilir. Örneğin, 2/1 şev oranı; yatayda 2 birimlik mesafeye karşılık düşeyde 1 birimlik yükseklik olduğunu ifade eder.
- Şev Tepesi: Şevin üst kotta, düz zemin ile eğimli yüzeyin birleştiği noktadır.
- Şev Topuğu: Şevin alt kotta, eğimli yüzeyin düz zeminle birleştiği dip noktadır.
- Şev Yüzeyi: Şev topuğundan tepesine kadar uzanan meyilli yüzeydir.
- Şev Yüksekliği: Şev yüzeyinin tepe ve topuk noktaları arasındaki düşey mesafedir.

- Palye (Seki): Şevlerde meydana gelebilecek kayma ve benzeri zemin hareketlerine karşı güvenliği artırmak amacıyla uygulanan, kazı yüzeyinin basamaklandırılması yöntemidir.



Şekil 1. Şevlerin tanımlanmasında kullanılan terminolojisi (Coduto,2006)

Şevlerin stabilite analizinde kullanılan diğer parametreler ise Şekil 2’te gösterilmiştir.



Şekil 2. Şeve ait diğer parametreler (Kara, 1980)

- H : Şev Yüksekliği
 β : Şev Açısı, eğim açısı
 θ : Kayma dairesi merkez açısı
[ab] : Şev yüzeyi
(ac) : Kayma yüzeyi
[bc] : Şev tepesi
a : Şev topuğu

1.4.3. Şev Duraylılığına Etki Eden Faktörler

Akbulut'a (2012) göre, şev yüzeyinde meydana gelen kaymaların temel nedeni yerçekimidir. Kütlenin yerçekimi etkisiyle eğimli yüzey boyunca aşağı yönde hareket etme eğilimi, kayma riskini artıran en önemli faktörlerden biridir. Şev duraylılığı ile ilgili problemler, genel olarak iki ana başlık altında incelenebilir:

1. Kayma Gerilmesinin Artmasına Neden Olan Faktörler
2. Kayma Mukavemetinin Azalmasına Neden Olan Faktörler

Şev topuğunun erozyon veya dış etkenlerle aşınması, şev üstüne etki eden dış yüklerin artması, dinamik (örneğin sismik) yükler ve zemin içindeki boşluk suyu basıncının yükselmesi; şevdeki kayma gerilmesinin artmasına yol açmaktadır. Bu durumlar, şev eğiminin kritik değerleri aşması hâlinde heyelan riskini önemli ölçüde artırmaktadır.

Diğer yandan, zemin ve kaya birimlerinin litolojik özellikleri, ayrışma dereceleri, yer altı suyu etkisi ve şişme potansiyeli gibi faktörler ise şevin kayma mukavemeti açısının azalmaya neden olmaktadır. Bu zayıflamalar, özellikle su içeriğinin artışıyla birlikte daha belirgin hâle gelmektedir.

Bunlara ek olarak, doğal bitki örtüsünün tahrip edilmesi, yüzeydeki kar örtüsünün erimesi sonucu çatlak ve boşlukların su ile dolması, infiltrasyon ve erozyon gibi süreçler de şev duraylılığını olumsuz yönde etkileyen diğer çevresel ve jeoteknik etkenler arasında yer almaktadır.

1.5. Şevlerin Stabilitesi

1.5.1. Şev Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi

Günümüzde en sık karşılaşılan ve etkileri itibarıyla en yıkıcı doğal afetlerden biri olan heyelanların analizinde ve çözümlemesinde, zeminin fiziki ve mekanik özelliklerinin doğru şekilde belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Heyelan riskinin sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi ve gerekli mühendislik önlemlerinin alınabilmesi için zemin parametrelerinin detaylı biçimde ortaya konulması gerekmektedir.

Bu kapsamda yürütülen çalışmalar; zemin araştırmaları, arazi deneyleri, laboratuvar deneyleri ve geriye dönük analiz (geri hesap yöntemi) gibi çok boyutlu mühendislik yaklaşımlarını içermektedir. Söz konusu yöntemlerin her biri, zemin profili, tabaka kalınlığı,

zemin türü, kohezyon, kayma mukavemeti açısı, boşluk suyu basıncı gibi kritik parametrelerin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Zemin özelliklerinin belirlenmesine yönelik bu çalışmaların, hem arazi koşullarında hem de laboratuvar ortamında büyük bir titizlikle ve mühendislik ilkelerine uygun şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Elde edilen veriler, sayısal analizlerde, şev stabilite hesaplarında ve heyelan risk haritalarının oluşturulmasında temel girdi verisi olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, zemin karakterizasyonuna yönelik çalışmalar, heyelanların önlenmesine ve etkilerinin azaltılmasına yönelik mühendislik çözümlerinin en temel basamağını oluşturmaktadır.

- Zemin Araştırma Çalışmaları

Şevleri stabil hale getirebilmek amacıyla yapılan analizler, şevin içeriği hakkında detaylı bilgi edinmeyi sağlar. Bu analizler sayesinde zemin özellikleri, tabaka kalınlıkları, malzeme türleri gibi birçok önemli parametre belirlenebilir. Ayrıca, yer altı suyu seviyesi ve potansiyel kayma yüzeyleri hakkında da önemli veriler elde edilerek, şevin davranışı daha doğru bir şekilde modellenenebilir.

- Arazi Deneyleri

Arazi koşullarında en yaygın olarak kullanılan zemin deneylerinden biri Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)'dir. Bu deney, belirli bir kütleyle sahip şahmerdanın sabit bir yükseklikten serbestçe düşürülerek örnek alma borusunun zemine çakılması esasına dayanır. Deney sırasında, 15 cm'lik bir zemin tabakasında örnek alma borusunun ilerlemesi için gerekli olan darbe (vuruş) sayısı kaydedilir. Bu işlem, toplamda 45 cm ilerleme sağlanacak şekilde üç kez tekrarlanır. İlk 15 cm'lik kısmın darbe sayısı genellikle sayılmaz; son iki 15 cm'lik kısmın toplam darbe sayısı SPT-N değeri olarak kabul edilir. Bu değer, zeminin sıklık veya kıvam derecesi hakkında önemli bilgiler verir.

- Laboratuvar Deneyleri

Şev stabilitesinin değerlendirilmesinde gerekli olan zemin parametrelerinin belirlenmesinde en kritik çalışmalar laboratuvar ortamında gerçekleştirilmektedir. Araziden uygun yöntemlerle alınan örnekler ve numuneler, ilgili standart ve şartnamelere uygun şekilde laboratuvarlarda analiz edilmektedir. Bu analizler sayesinde zeminlerin fiziksel ve mekanik özellikleri (örneğin, özgül ağırlık, kohezyon, kayma mukavemeti açısı, su içeriği, konsolidasyon özellikleri vb.) hassas bir şekilde belirlenerek şev tasarımı ve analizinde kullanılacak güvenilir veriler elde edilir.

- Geri Hesap Yöntemi

Duncan ve Wright (2005) tarafından yapılan çalışmalara göre, yerçekimi etkisiyle şevlerde meydana gelen kütle hareketlerinin analizi sonucunda, kaymanın gerçekleştiği bölgelerdeki zemin özellikleri ve çevresel koşullara ilişkin önemli veriler elde edilebilmektedir. Kayma yüzeyinde etkili olan yüklemeler, yeraltı su seviyesi ve zemin parametrelerinin birbiriyle ilişkili olduğu gözlemlenmiştir.

Şev stabilitesinin bozulduğu ve kaymanın meydana geldiği bölgelerde, güvenlik katsayısı genellikle 1 olarak kabul edilmekte ve bu kabul üzerinden modelleme yapılmaktadır. Bu durum, söz konusu bölgelerde şevin denge sınırında olduğunu ve ilave herhangi bir yük veya çevresel değişiklikte birlikte dengesizliğin artabileceğini göstermektedir. Bu bağlamda, şev duraylılığı analizlerinde zemin parametreleri, yeraltı su düzeyi ve dış yüklemelerin birlikte değerlendirilmesi, doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

1.6. Şevlerin Stabilité Analiz Yöntemleri

1.6.1. Limit Gerilme Yöntemi

Önalp ve Arel (2004) tarafından geliştirilen yöntem, elastisite teorisine dayanmaktadır. Bu yöntemde analiz edilecek zemin homojen ve elastik özellikte kabul edilmektedir. Gerilme analizi kapsamında; zeminin kendi ağırlığı ile birlikte dış yüklerin etkisi altında şev yapısında meydana gelen düşey ve yatay deplasmanlar belirlenmektedir. Ayrıca, şev içerisinde yer alan zemin tabakalarında oluşan gerilmelerin, şevin hangi bölgelerinde yoğunlaştığı analiz edilmekte ve bu gerilmelerin etkisi altında şevin stabilitesini kaybedip kaybetmeyeceği değerlendirilmektedir. Bu bağlamda yöntem, hem kayma mukavemet dağılımını hem de potansiyel stabilite sorunlarını belirlemeye yönelik bütüncül bir analiz yaklaşımı sunmaktadır.

1.6.2. Limit Denge Yöntemi

Şev stabilitesi problemlerinin çözümünde yaygın olarak başvuru alan yöntemlerden biri de limit denge analizleridir. Bu analiz yöntemi, şevde meydana gelebilecek olası hasarların önceden tahmin edilmesini doğrudan sağlamamakla birlikte, stabilite açısından önemli bir

değerlendirme sunar. Limit denge analizlerinin temelinde, olası bir kayma yüzeyinin varlığı varsayılır ve bu yüzey boyunca şev kütlelerinin kaymaya eğilimli olduğu kabul edilir.

Analiz sürecinde, kaymaya maruz kalan kütle ya bütün olarak ya da dilimleme yöntemiyle parçalara ayrılarak değerlendirilir. Her bir dilim için kayma doğrultusundaki itici kuvvetler ile kaymaya karşı koyan direnç kuvvetleri karşılaştırılır. Bu kıyaslama yalnızca tek bir olası kayma yüzeyi üzerinden değil, farklı potansiyel kayma yüzeyleri boyunca gerçekleştirilir. Elde edilen güvenlik katsayıları arasında en düşük değer, ilgili şevin genel güvenlik katsayısı olarak kabul edilir.

Güvenlik katsayısı, şevde mevcut olan kayma mukavemetinin, stabil bir durumda kalabilmesi için gereken kayma gerilmesine oranlanmasıyla hesaplanır (Kramer, 2003). Bu oran, şevin mevcut koşullar altında kaymaya ne kadar karşı koyabildiğini göstermesi açısından kritik bir göstergedir.

- Düzlemsel Kaymalar

Şevli arazilerde gözlemlenen bu hareket türü, yüzeye paralel doğrultuda gelişen bir kayma şeklinde tanımlanmaktadır. Bu tür kaymalarda, yer değiştirme uzunluğu ile kayma yüzeyinin derinliği karşılaştırıldığında, yer değiştirme uzunluğunun belirgin şekilde daha fazla olduğu görülmektedir. Söz konusu oran değerlendirildiğinde, bu tür kaymaların genellikle az eğimli ya da yatay zeminlerde meydana geldiği sonucuna varılmaktadır. Bu bağlamda, hareketin geometrisi ve deformasyon karakteristikleri, kaymanın gelişim süreci ve zemin özellikleri hakkında önemli ipuçları sunmaktadır.

- Kama Tipi Kaymalar

Erol (2018) tarafından ifade edildiği üzere, bu analiz yöntemi özellikle kaya mekaniği kapsamında yaygın olarak kullanılmaktadır. Birden fazla süreksizlik düzleminin bulunduğu ya da uç etkilerinin dikkate alındığı durumlarda, şevi oluşturan zemin veya kaya kütlesi, iki veya daha fazla kama şeklinde bölünerek analiz edilmektedir. Bu yöntemde, her bir kama ayrı bir birim olarak ele alınmakta ve her biri için güvenlik katsayısı (FS) ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Böylece, karmaşık süreksizlik sistemlerinin etkisi altında şevin stabilite durumu daha ayrıntılı bir biçimde değerlendirilebilmektedir.

- Dairesel Kaymalar

Bu tür şev kaymalarında, kayma yüzeyleri genellikle daire yayı ya da dönel silindir biçiminde varsayılmaktadır. Dönel kayma yüzeyine sahip bu tip heyelanlarda, şev stabilitesinin analizi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Aşağıda, bu tür kayma durumlarının analizinde yaygın olarak kullanılan hesaplama yöntemlerine yer verilmektedir.

- $\Phi=0$ Analizi

Bu analiz yöntemi, özellikle suya doymuş zeminlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Deneyler sırasında zemin örneklerinin su içeriğine müdahale edilmeden işlem yapılmakta, bu sayede doğal doymuşluk koşulları korunmaktadır. Deneysel süreçte, efektif kayma mukavemeti açısının (ϕ') belirlenmesi ile birlikte analiz yöntemi daha ileri düzeyde uygulanabilmektedir. Gerilme artışına rağmen boşluk suyu basıncının sabit kalması ve özellikle killi zeminlerin su içerisinde disperse olarak parçalanması, bu analizlerde sıkça karşılaşılan durumlardır.

Drenajsız kayma mukavemeti, zeminin her seviyesinde sabit kabul edilmekte ve $\tau_f = c_u$ ifadesiyle tanımlanmaktadır. Bu analiz türünde boşluk suyu basınçları ve efektif gerilmeler ayrı ayrı belirlenemez; dolayısıyla yöntem, toplam gerilmeler esas alınarak gerçekleştirilir.

- İsveç Dilim Yöntemi

İsveç Dilim Yöntemi, dairesel kayma yüzeyine sahip şevlerde stabilite analizinin yapılmasında kullanılan en temel ve yaygın yöntemlerden biridir. Bu yöntem ilk olarak 20. yüzyılın başlarında İsveçli mühendisler tarafından geliştirilmiş ve özellikle suya doymuş, kohezyonlu zeminlerde uygulama alanı bulmuştur.

Analiz, şevin potansiyel kayma yüzeyi boyunca belirli sayıda dikey dilime bölünmesi esasına dayanır. Her bir dilim için ağırlık, sürtünme kuvveti, kohezyon ve kayma direnci gibi parametreler ayrı ayrı hesaplanır. Ardından tüm dilimlerin etkileri süperpozisyon yöntemiyle birleştirilerek tüm sistemin güvenlik katsayısı (FS) elde edilir.

Bu yöntemin temel varsayımları şunlardır:

- Kayma yüzeyi dairesel olup, belirli bir merkez etrafında tanımlanır.
- Her bir dilim dikdörtgensel olarak kabul edilir.
- Dilimler arası yatay doğrultudaki etkileşim kuvvetleri (yanal kesme ve normal kuvvetler) ihmal edilir.
- Kayma dayanımı Mohr-Coulomb zemin parametrelerine (kohezyon (c) ve kayma mukavemeti açısı (ϕ)) bağlı olarak hesaplanır.

Toplam kayma direnci şu şekilde ifade edilir:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan(\phi) \quad (1)$$

Her bir dilim için denge denklemleri yardımıyla elde edilen değerler, aşağıdaki genel formülde birleştirilerek şevin genel güvenlik katsayısı belirlenir:

$$FS = \frac{\sum(c' \cdot l + (W \cdot \cos(\alpha) - u \cdot l) \cdot \tan(\phi'))}{\sum(W \cdot \sin(\alpha))} \quad (2)$$

Burada:

- c' : efektif kohezyon,
- ϕ' : efektif kayma mukavemeti açısı,
- l : her bir dilimin kayma yüzeyine oturan uzunluğu,
- W : dilimin ağırlığı,
- α : dilim tabanının yatayla yaptığı açı,
- u : boşluk suyu basıncıdır.

Yöntemin avantajları arasında sade hesap yapısı ve uygulama kolaylığı yer almakta olup, özellikle el ile yapılan ön analizlerde tercih edilmektedir. Ancak, dilimler arası etkileşim kuvvetlerini ihmal etmesi nedeniyle daha karmaşık durumlarda kesin sonuçlar vermemekte, bu tür durumlar için gelişmiş yöntemlerin (Bishop, Morgenstern-Price vb.) tercih edilmesi önerilmektedir.

• Janbu Yöntemi

Janbu Yöntemi, şev stabilitesi analizinde yaygın olarak kullanılan sayısal yaklaşımlardan biridir. Bu yöntem, Norveçli jeoteknik mühendisi Nicolay Janbu tarafından geliştirilmiş olup, özellikle dairesel olmayan (non-circular) kayma yüzeylerinin analizine olanak tanımasıyla dikkat çekmektedir. Bu yönüyle İsveç Dilim Yöntemi ve Bishop Yöntemi gibi dairesel kayma yüzeyi varsayımına dayanan klasik yöntemlerden farklılık gösterir.

Janbu yöntemi, şevin potansiyel kayma yüzeyi boyunca düşey dilimlere ayrılması esasına dayanır. Her bir dilim için denge denklemleri (düşey ve yatay kuvvet dengesi) ayrı ayrı oluşturulur. Yöntem, genel anlamda iki farklı versiyonda uygulanır:

- Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi (Simplified Janbu Method): Yalnızca yatay kuvvet dengesi göz önüne alınır; moment dengesi ihmal edilir. Bu nedenle daha hızlı ve pratik bir analiz sunar, ancak doğruluk açısından sınırlamaları vardır.
- Genel Janbu Yöntemi (General Janbu Method): Hem yatay hem düşey kuvvet dengeleri ile birlikte moment dengesi de dikkate alınır. Sayısal çözüm gerektirir ve

daha karmaşık hesaplamalar içerir ancak daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlar sağlar.

Janbu yönteminde güvenlik katsayısı (FS), iteratif bir hesaplama süreciyle elde edilir. Her bir dilimin kesme dayanımı aşağıdaki Mohr-Coulomb bağıntısına göre belirlenir:

$$\tau = c' + (\sigma' \cdot \tan \phi') \quad (3)$$

Burada:

- c' : efektif kohezyon,
- ϕ' : efektif kayma mukavemeti açısı,
- σ' : efektif normal gerilme,
- τ : kesme gerilmesidir.

Güvenlik katsayısı genel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$FS = \frac{\sum R}{\sum S} \quad (4)$$

Burada:

- R: her bir dilimin kayma dayanımı,
- S: harekete neden olan kesme kuvvetidir.

Bu yöntemin en önemli avantajlarından biri, dairesel olmayan kayma yüzeylerinin analizine imkan tanımasıdır. Bu özellik, heterojen zemin koşullarına sahip sahalarda ve karmaşık geometriye sahip şevlerde yöntemi oldukça kullanışlı hale getirmektedir. Ayrıca, Janbu yöntemi hem drenajlı hem drenajsız koşullar altında uygulanabilir.

Ancak yöntemin dezavantajı, çözüm sürecinin iteratif olması ve özellikle genel formunun el ile çözümünün oldukça zor olmasıdır. Bu nedenle genellikle bilgisayar tabanlı geoteknik yazılımlar (ör. Slope/W, Slide, PLAXIS) yardımıyla uygulanmaktadır.

• Spencer Yöntemi

Spencer Yöntemi, şev stabilitesi analizinde kullanılan en kesin ve genel geçerli limit denge yöntemlerinden biridir. İlk olarak E. Spencer tarafından 1967 yılında geliştirilen bu yöntem, hem yatay hem de düşey kuvvet denge denklemleri ile birlikte, tüm sistem için moment dengesini sağlayan bir çözüm yaklaşımı sunar. Ayrıca, dilimler arası etkileşim kuvvetlerinin hem yönü hem de büyüklüğü dikkate alınmaktadır.

Spencer yöntemi, özellikle karmaşık jeolojik yapılar, değişken zemin koşulları ve dairesel olmayan kayma yüzeylerinin analizinde yüksek doğruluk sağladığı için geoteknik mühendisliğinde sıklıkla tercih edilmektedir. Bu yöntemde şev, potansiyel kayma yüzeyi boyunca düşey dilimlere ayrılır ve her bir dilim için aşağıdaki denge şartları sağlanır:

- Düşey kuvvet dengesi
- Yatay kuvvet dengesi
- Moment dengesi
- Dilimler arası kuvvetlerin aynı eğim açısına (λ açısı) sahip olduğu varsayımı
- Morgenstern-Price Yöntemi

Morgenstern-Price Yöntemi, şev stabilitesinin değerlendirilmesinde kullanılan en gelişmiş ve genel limit denge yöntemlerinden biridir. İlk olarak 1965 yılında N.R. Morgenstern ve M.J. Price tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem, hem yatay hem düşey kuvvet denge denklemlerini hem de moment denklemini sağlayarak, şev stabilitesinin kapsamlı bir şekilde analiz edilmesine olanak tanır.

Morgenstern-Price yöntemi, şevin potansiyel kayma yüzeyi boyunca düşey dilimlere ayrılması esasına dayanır. Dilimler arası etkileşim kuvvetlerinin hem yatay hem düşey bileşenleri dikkate alınır. Yöntemin en temel özelliği, dilimler arasındaki yatay kesme kuvvetlerinin dağılımını tanımlamak için kullanıcı tarafından belirlenen bir fonksiyon şekli ve ölçekleme faktörü kullanmasıdır. Bu sayede çok çeşitli kuvvet dağılımları modelleme imkânı doğar.

Kuvvet Denge Koşulları:

- Düşey kuvvet dengesi
- Yatay kuvvet dengesi
- Moment dengesi
- Dilimler arası kuvvetlerin doğrultusu, belirli bir dağılım fonksiyonu (örneğin lineer, parabolik, sabit) ile tanımlanır.
- Culmann Yöntemi

Culmann Yöntemi, şev stabilitesi analizlerinde kullanılan klasik ve grafik tabanlı bir yaklaşımdır. Alman mühendis Karl Culmann tarafından 19. yüzyılın sonlarında geliştirilmiş olan bu yöntem, özellikle kohezyonsuz ($c = 0$), homojen ve kuru zeminlerde uygulanmak üzere tasarlanmıştır. Yöntem, rijit bir kütleinin düzlemsel bir yüzey boyunca kayma eğilimi göstermesi esasına dayanır.

Yöntemin Varsayımları

Culmann yöntemi, bazı basitleştirici varsayımlara dayanır:

- Zemin kuru, homojen ve kohezyonsuzdur.
- Şev sabit eğimli ve belirli bir yüksekliğe sahiptir.
- Kayma yüzeyi düzlemseldir.
- Zemin kütlesi rijit bir blok gibi hareket eder.
- Dış yükler, yeraltı suyu etkisi ve boşluk suyu basınçları ihmal edilir.
- Analiz yalnızca kayma mukavemeti açısı ϕ dikkate alınarak yapılır.

1.6.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Konuk (2005), şev analizinde zemini birçok düğüm noktasına bölerek detaylı bir değerlendirme yapmıştır. Her bir düğüm noktasında zemin davranışı incelenmekte ve bu noktalarda meydana gelen deplasmanlar sonucunda gerilme-şekil değiştirme ilişkileri ortaya konmaktadır. Sayısal analiz yöntemleri kullanılarak, zeminin her bir düğüm noktası belirli bir yapısal davranış modeli çerçevesinde analiz edilir. Modelde, malzemenin kayma oluşana kadar elastik, kayma gerçekleştiğinde ise plastik davranış sergilediği kabul edilmektedir. Buradaki göçme mekanizmasının temelini ise Mohr-Coulomb dayanım kriteri oluşturmaktadır.

Önalp ve Arel (2004), bu analiz yönteminin en önemli özelliğinin, zemin yapısı ve dayanım kriterlerinin doğrusal olmayan bir fonksiyon kullanılarak modellenmesi olduğunu belirtmişlerdir. Bu yöntem, yer altı suyunun neden olduğu efektif gerilmeler, boşluk suyu basınçları, zemin sıkışmaları ve fiziksel çatlamlar gibi karmaşık sorunların analizinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, bu yaklaşımın bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. Modelde incelenen bölgenin sürekli (homojen) kabul edilmesi gerekmekte ve aşırı şekil değiştirmeler, bu yöntemde yeterince dikkate alınmamaktadır. Özellikle kayaç gibi sağlam zeminler dışındaki şevli alanlarda, aşırı ötelenmeler ve deformasyonlar meydana gelebilmektedir.

Bizde bu tezimizde Limit Denge ve Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanarak analizler yapacağız. Aşağıda tanıtımını yaptığımız heyelan bölgesinde gerekli parametreler ışığında analizler yapacak ve sonucunda çözüm önerilerini sunacağız.

1.7. Şev İslah Çalışmaları

Popescu ve Sasahara (2009), çeşitli şev stabilite çalışmaları sonucunda, mevcut ya da potansiyel şevlerde güvenlik zafiyetleri tespit edilmesi durumunda, şev iyileştirme yöntemlerine başvurulması gerektiğini vurgulamışlardır. Göçmenin meydana geldiği bölgenin güçlendirilmesi veya olası bir şev kaymasının önlenmesi amacıyla, şevde hareketi tetikleyebilecek faktörlerin azaltılması ve şevde bulunan zemin kitlelerinin kayma dayanımlarının artırılması gerekmektedir. Şev stabilitesi, yapısal (örneğin, iksa yapıları, ankrajlar) veya yapısal olmayan (örneğin, drenaj, bitkilendirme) yöntemlerle sağlanabilir.

Kütle hareketlerini önleme yöntemlerinden bazıları aşağıdakiler gibi sayılabilir:

- Şeve müdahale edilmesi
- Drenaj
- Dayanma yapıları
- Topuğa yük konulması

1.7.1. Şeve Müdahale Edilmesi

Şevlere uygulanan en etkin yöntem palyelendirme uygulamasıdır. Basamaklar halinde şev belli eğimlerde kazılarak, şevler stabil hale getirilir. Bu şekilde yamaçlarda yaşanacak göçme riskleri azaltılabilir.

1.7.2. Drenaj

Önalp ve Arel (2004) tarafından yapılan değerlendirmelere göre, şevli arazilerde zemin içerisindeki su miktarının kritik seviyenin üzerine çıkması, heyelanları tetikleyen en önemli faktörlerden biridir. Araştırmalar, yeraltı suyunun bulunmadığı koşullarda şev göçmesi ve benzeri kütle hareketlerinin gerçekleşme olasılığının oldukça düşük olduğunu ortaya koymaktadır.

Zemin içerisindeki su, daneler arasındaki boşluklarda por suyu basıncı (u) oluşturarak efektif gerilmenin azalmasına neden olur. Bu durum, zemin daneleri arasındaki kohezyon benzeri çekim kuvvetlerini zayıflatır veya tamamen ortadan kaldırır. Sonuç olarak, zeminin kayma direnci önemli ölçüde azalır ve şev stabilitesi bozulur.

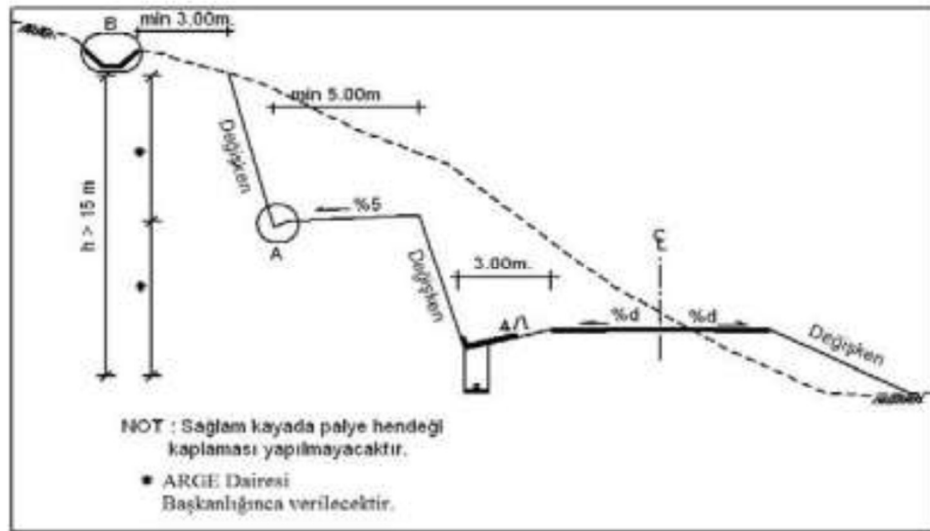
Bu nedenle, şev stabilitesi sorunlarının çözümünde ilk olarak değerlendirilmesi gereken mühendislik uygulaması drenaj sistemlerinin tasarımı ve uygulanması olmalıdır.

Çünkü, çoğu kütle hareketinin ana tetikleyicisi olan suyun kontrol altına alınması, potansiyel bir göçmenin önlenmesinde kritik rol oynamaktadır.

- Yer Üstü Drenajının Yapılması

Kaynak (2007), yağış sonrası arazide biriken yüzey sularının heyelanlı bölgelerden uzaklaştırılmasının önemine vurgu yapmaktadır. Yüzeysel akan suların kayma bölgesinden uzaklaştırılması, kütle hareketinin meydana geldiği ya da meydana gelme riski taşıyan zeminlerde, yeraltı suyu seviyesinin ve boşluk suyu basıncının azaltılmasını sağlamaktadır. Şevli yüzeylerin stabilitesi açısından, geçirimsizlik oranının düşürülmesi, suyun akış hızının artırılması, yüzeyde bitkilendirme çalışmaları yapılması ve şev yüzeyine çimento harcı ile bitümlü malzeme uygulanması gibi yöntemler, etkin bir yüzey drenajı oluşturarak şev stabilitesine olumlu katkı sağlamaktadır.

Şekil 3'te yüzeysel drenaj imalatları, genellikle menfezler (kutu ve düz tip), kafa hendeği, topuk hendeği ve düşüm olukları şeklinde uygulanmaktadır. Kafa ve topuk hendekleri, özellikle yüksek yarma şevlerinden veya palyeli yarma şevlerinden kaynaklanan yüzey sularının toplanması ve şevli bölgeden uzaklaştırılması amacıyla kullanılan önemli yüzeysel drenaj elemanlarıdır. Bu drenaj yapıları, beton veya taş kaplama şeklinde inşa edilebileceği gibi, kaplama yapılmadan da oluşturulabilir.



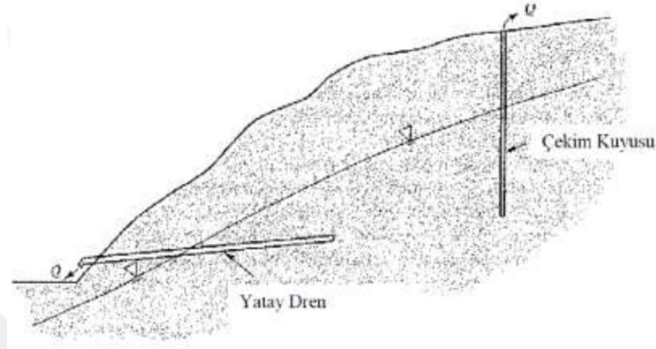
Şekil 3. Palyeli yarma enkesiti tipi, K.G.M. (2013)

- Yer Altı Drenajının Yapılması

Pehlivan (2019)'a göre, zemin kütlesi içindeki suyun heyelan riskini azaltmak amacıyla, şevli bölgeden uzaklaştırılması veya miktarının en aza indirgenmesi önemlidir. Bu

yöntem, heyelan tehlikesinin önlenmesinde etkin bir kontrol mekanizması olarak kabul edilmektedir.

Şekil 4.'de yer altı drenajları yapısal olarak düşey ve yatay doğrultuda uygulanarak yapılabilmektedirler.



Şekil 4. Yatay ve düşey drenler vasıtasıyla yeraltı suyunun tahliye edilmesi

1.7.3. Topuğa Yük Koymak

Şevli zemin kütlelerinin kaymasını tetikleyen kaydırıcı kuvvetlerin azaltılması amacıyla, şev topuğuna destek sağlayacak ek yüklerin uygulanması yaygın bir yöntemdir. Bu yaklaşım, heyelanları önlemeye yönelik en sık tercih edilen tekniklerden biridir. İlerleyen analiz bölümlerinde, bu yöntemin uygulama örneklerine de yer verilecektir.

1.7.4. Dayanma Yapıları

Şevli zemin kütlelerinde kayma kuvvetlerinin, zeminin kayma direncinden büyük olması durumunda, kütle dengesiz hale gelir ve heyelan (kütle hareketi) meydana gelir. Bu tür durumlarda, zemin kütlelerinde doğal olarak mevcut olan kayma direncinin yetersiz kaldığı anlaşılır. Bu nedenle, şev stabilitesini artırmak amacıyla, mevcut doğal direnç kuvvetlerine yapay takviyeler eklenmesi gerekmektedir.

Bu yapay takviyeler genel olarak dayanma yapıları kapsamında değerlendirilir. Dayanma yapıları, şevin alt kısmında veya kayma yüzeyinin olası kesim noktalarında inşa edilerek, kayma yönünde etkili olan kuvvetleri karşılamayı ve kütlelerin denge durumunu yeniden sağlamayı amaçlar. Bu yapılar, şevin stabilitesini doğrudan etkileyen pasif direnç kuvvetlerini artırmakta ve potansiyel kütle hareketlerini engellemektedir.

Dayanma yapıları, Şev tasarımında ve iyileştirme çalıŐmalarında sıkça kullanılan, etkili mühendislik mleri arasında yer almaktadır. Uygulama alanına ve Şevin jeoteknik özelliklerine bağlı olarak çeşitli tiplerde projelendirilebilirler (rneėin, istinat duvarları, ankrajlı sistemler, kazıklı perde yapılar, vb.).

- Taş ve Betonarme Duvarlar

Şev stabilitesini sağlamak ve kütle hareketlerini engellemek amacıyla yaygın olarak kullanılan dayanma yapıları arasında taş duvarlar ve betonarme duvarlar önemli yer tutar. Bu duvarlar, farklı yapısal özellikleri ve uygulama alanlarıyla Şev mühendisliğinde tercih edilen yapısal mler arasında yer almaktadır.



Şekil 5. Taş duvar rneėi

Üstte Şekil 5'te görmekte olduğumuz harçlı taş duvar örneğidir. Devrilme tahkiki ve kayma tahkikine göre modellenen, bu iki tahkiki sağlaması açısından harçlı olarak projelendirilen günümüzde en çok kullanılan dayanım yapısı. Bunun yanı sıra yamaç topuğunda kayma ve akma da önemli rol oynayan harçlı pere ve taş tahkimat yapıları da taş malzeme kullanılarak yapılan önemli ve yaygın kullanılan dayanım yapılarıdır. Aşağıda Şekil 6'da harçlı pere örneğine ve Şekil 7'de de taş tahkimat örneğine yer verilmiştir.



Şekil 6. Harçlı pere örneği



Şekil 7. Taş tahkimat örneği

Yukarıda bahsedilen geleneksel istinat duvarlarının yanı sıra, donatı kullanılarak imal edilen betonarme duvarlar da yaygın olarak kullanılmaktadır. Betonarme duvarlar, genellikle konsol yöntemi ile çalışmakta olup, demir donatılı gövdeye sahiptirler. Bu yapılarda, toprak yükü önceden tasarlanmış bir temel üzerine inşa edilen gövde tarafından moment yüklenmesiyle taşınmakta ve duvarın dönmeye karşı direnci sağlanmaktadır.

Betonarme istinat duvarları, ağırlık istinat duvarları ile karşılaştırıldığında, daha ince kesit kalınlıklarına sahip olmaları sebebiyle daha ekonomik ve güvenli bir çözümdür. Bu tür yapılar, arazide karşılaşılabilecek farklı zemin ve yük koşullarına uygun olarak önceden tasarlanıp imal edilmektedir.

Özellikle, şevli arazide kayma yüzeyinin derinlerde olduğu ve kayan zeminin altında sağlam tabakanın derin konumlandığı bölgelerde, istinat duvarının hem ince hem de dayanıklı olması gereken durumlarda; elverişli zeminin bulunmadığı veya sağlam zemin koşullarının sınırlı olduğu yerlerde, Şekil 8’de gösterilen betonarme istinat duvarları tercih edilmektedir.



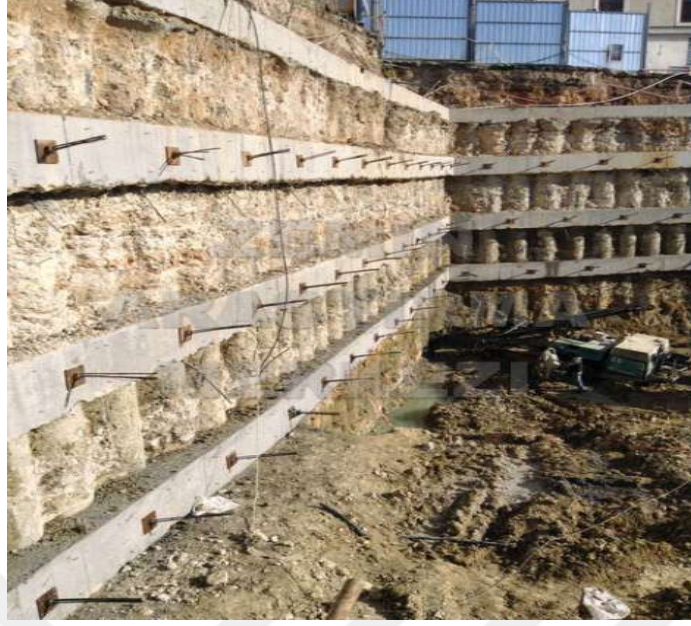
Şekil 8. Betonarme duvar örneği

- Ankrajlar

Ankraj sistemleri, zemin kaymalarının önlenmesi ve şev stabilitesinin sağlanmasında etkin bir mühendislik çözümü olarak kullanılmaktadır. Özellikle derin kazı uygulamalarında, yapı güvenliğinin sağlanması ve inşaat süresince destek yapılarında meydana gelebilecek göçmelerin engellenmesi açısından kritik bir rol oynamaktadırlar.

Bu sistemler, yüksek şevli kazılarda istinat duvarlarının desteklenmesi amacıyla tasarlanmakta ve uygulanmaktadır. Ankrajlar, kendilerine etki eden çekme kuvvetlerini daha sağlam ve taşıma gücü yüksek zemin kütlelerine aktararak yapı elemanlarının stabilitesini artırır. Böylece, zayıf zemin koşullarında dahi güvenli bir kazı ortamı sağlanabilir.

Ankrajlar, zeminin potansiyel kayma doğrultusuna zıt yönde yerleştirilerek, olası yer değiştirmeleri ve deformasyonları minimize eder. Bu özellikleri sayesinde, ankraj sistemleri hem geçici hem de kalıcı uygulamalarda zemin stabilizasyonu açısından önemli bir mühendislik çözümü olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 9. Ankraj örneği

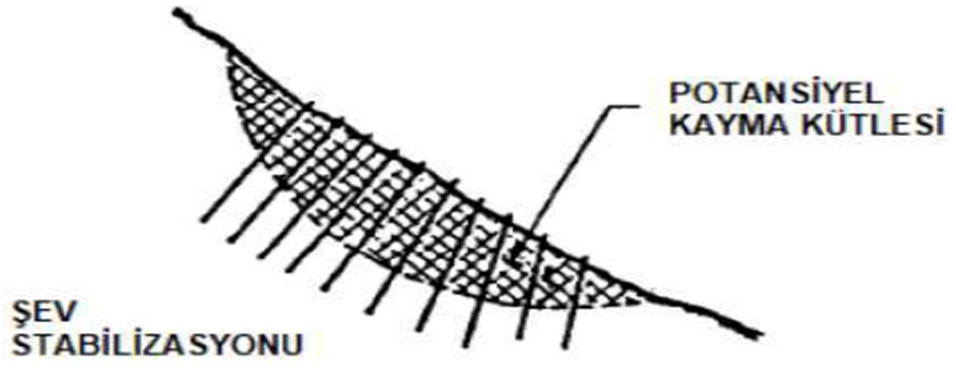
1.7.5. Zemin Çivisi

Kaynak (2007)'e göre, bu yöntem şevlerde ve dik yarmalarda stabilitenin sağlanması amacıyla uygulanmaktadır. Uygulama sonucunda, zeminden ayrılmış kayaçların kesme dayanımları artırılarak şev stabilitesi güçlendirilmektedir.

Önalp ve Arel (2004)'e göre, zemin çivisi yöntemi, uygulandığı zeminde kayma yüzeyi boyunca kesme kuvveti direncini artırmakta ve zemini kaydıran kuvvetleri azaltmaktadır. Bu sayede, şevli zeminlerde zemin çivisi yöntemi kullanılarak stabilite sağlanmaktadır.

Ün (2019)'a göre, zemin çivisi uygulamasında, zemine açılan delik içerisine betonarme donatı yerleştirilir ve ardından çimentolama işlemi gerçekleştirilir. Daha sonra zemin çivisi, zemine plaka yardımıyla sabitlenerek uygulanmış olur.

Şekil 10 ve Şekil 11'de zemin çivisi uygulamasına ait bir görseller mevcuttur.



Şekil 10. Zemin çivi örneği

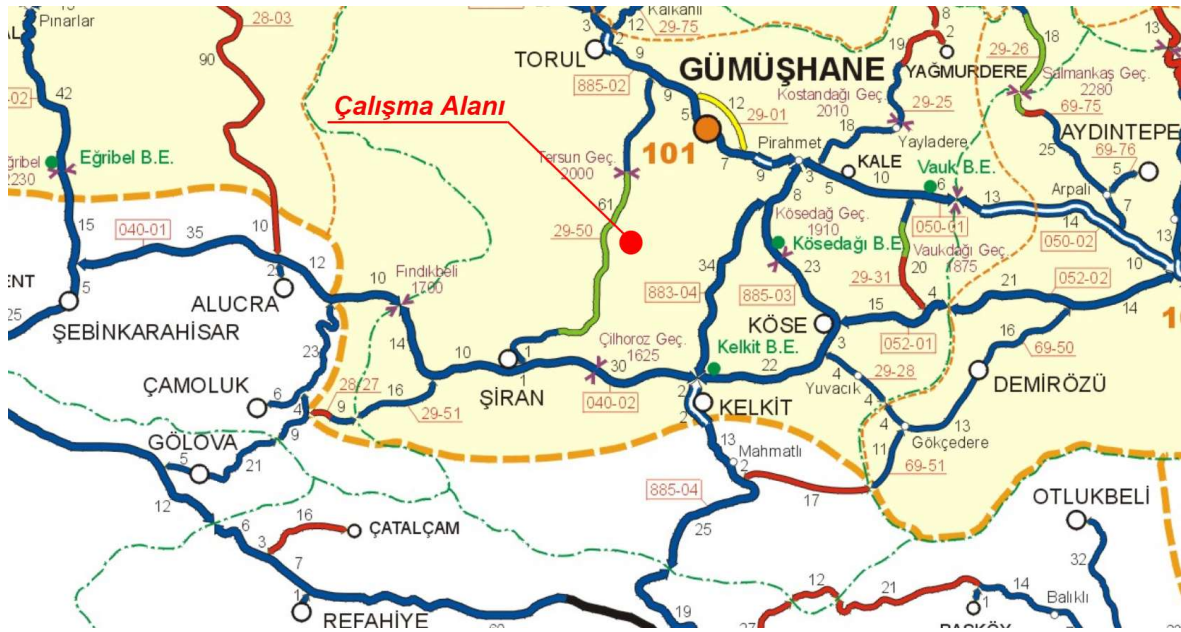


Şekil 11. Zemin çivi örneği

2. HEYELAN SAHASI ÖZELLİKLERİ

2.1. Çalışma Alanının Yeri ve Özellikleri

Heyelan çalışma alanı Gümüşhane il sınırları içerisinde Şiran ilçesine bağlı Çevrepınar Köyü'nün yaklaşık 1,5 km kuzeydoğusunda yer almaktadır. Çevrepınar Gümüşhane il merkezine 75, Şiran ilçesine 20 km uzaklıktadır (Şekil 3).



(a)

Şekil 12. Yer bulduru haritası (a) karayolları haritası (b) Google earth

Şekil 12'nin devamı



(b)

2.2. İklim ve Bitki Örtüsü

Gümüşhane'nin iklimi, kara iklimi ile Doğu Karadeniz iklimi arasında geçiş özellikleri göstermektedir. Kuzeyde yer alan dağlar, soğuk ve nemli kuzey rüzgarlarının bölgeye ulaşmasını engellemektedir. Doğu Karadeniz havzasında kalan alanlarda ise iklim genellikle nemli ve ılımandır. Kelkit bölgesinde kışlar soğuk, yazlar ise kurak ve Harşit Vadisi'ne kıyasla daha sıcak geçmektedir. Yağışlar daha çok kış ve ilkbahar aylarında yoğunlaşmakta olup, yıllık ortalama yağış miktarı 435 milimetre olarak kaydedilmiştir.

Tablo 1. Gümüşhane ili uzun yıllar (1961-2019) içerisinde gerçekleşen ortalama değerler

Gümüşhane	Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Değerler (1961-2019)					
	Ortalama Sıcaklık	Ortalama En Yüksek Sıcaklık	Ortalama En Düşük Sıcaklık	Ortalama Yağış Miktarı	En Yüksek Sıcaklık	En Düşük Sıcaklık
	(°C)	(°C)	(°C)	(mm)	(°C)	(°C)
Ocak	-1,9	2,9	-5,5	35,6	14,8	-23,6
Şubat	-0,5	5,2	-4,8	31,4	18	-25,7
Mart	3,6	9,9	-1	43,7	24	-22,6
Nisan	9,2	16,2	3,7	58,9	29	-11
Mayıs	13,5	21,1	7,6	69	32,6	-2,8
Haziran	17	25	10,8	47,6	36,2	1,8

Tablo 1'in devamı

Gümüşhane	Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Değerler (1961-2019)					
	Ortalama Sıcaklık	Ortalama En Yüksek Sıcaklık	Ortalama En Düşük Sıcaklık	Ortalama Yağış Miktarı	En Yüksek Sıcaklık	En Düşük Sıcaklık
	(°C)	(°C)	(°C)	(mm)	(°C)	(°C)
Temmuz	19,9	28,1	13,7	12,5	41	4,5
Ağustos	20,1	28,8	13,8	13,7	41,1	4,9
Eylül	16,3	25,3	10,1	21,4	37	-1
Ekim	11,1	18,8	5,9	43,9	32	-4,8
Kasım	4,9	10,6	0,7	41,9	22,1	-15
Aralık	0,3	4,7	-3,1	42	19,2	-21

Gümüşhane topraklarının % 40'ı çayır ve meralarla, % 26'sı ekili dikili yerler ve % 22'si orman ve fundalıklarla kaplıdır. İlin kuzey kesimi bitki örtüsü yönünden oldukça zengindir. Harşit Vadisinde 1500 m yüksekliklere kadar yapraklı ağaçlardan meydana gelen ormanlarla kaplıdır. 1500 ile 2300 m arasında ise, genellikle ladin, sarıçam gibi iğne yapraklı ağaçlardan meydana gelen ormanlar yer alır.

2.3. Morfoloji

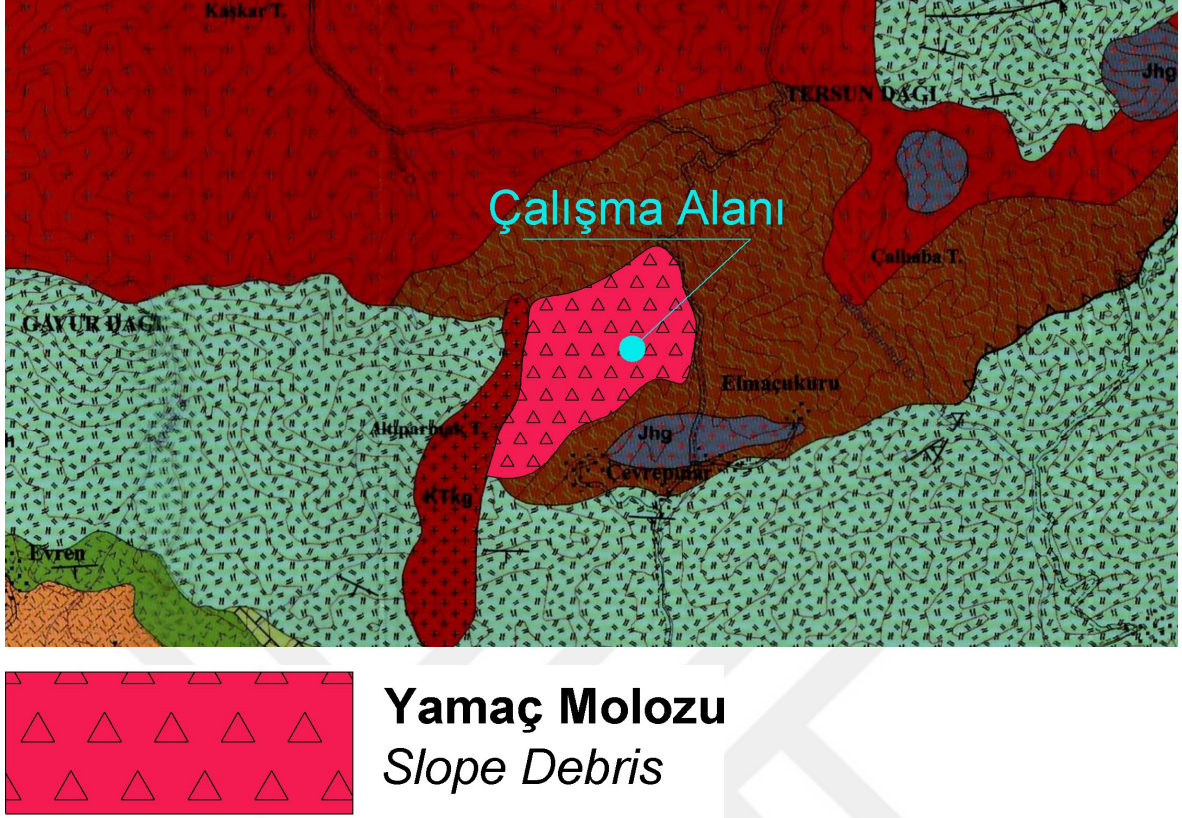
Gümüşhane ili yeryüzü şekilleri bakımından ele alındığında; ilin tamamen dağlarla kuşatılmış olduğu görülmektedir. Gümüşhane fiziki coğrafya özellikleri bakımından sınıflandırılacak olursa Kuzeyden Zigana – Trabzon Dağları (Çakır Göl Tepesi 3063 m.), Güneyden Çimen Dağları (Akdağ 2710 m.), Batıdan Giresun Dağları (Sarıyer Tepeleri 2919 m.) ile Kelkit ve Harşit Çayı vadilerinin daralma bölgeleri, Doğudan ise Pulur Dağları ve Soğanlı Dağları ile bu iki değişik kitlenin birbirine yaklaştığı kesimdeki eşiklerle çevrili olduğu gözlenir.

İlin %59,6'lık bölümünü oluşturan dağlık alanlar genellikle il sınırları ile Kuzey kesimlerini kaplarlar.

Gümüşhane ilinin akarsu Şebekesini; Harşit Çayı ve Kelkit Çayı ile bu çayların yan kolları oluşturmaktadır.

2.4. Genel Jeoloji

Heyelan sahası Trabzon-H42 isimli, 1/100000 ölçekli MTA jeoloji haritasına işlenmiş (Şekil 4.) ve bölgenin genel jeolojisi hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır.



Şekil 13. Heyelan alanı ve yakın çevresinin 1/100000 ölçekli MTA haritasındaki konumu (ölçeksiz)

1/100000 ölçekli MTA haritasında bazı yanlışlıklar belirlenmiş olup çalışma alanında kil, kumlu kil, çakıllı kilden oluşuk bir yamaç molozu yüzeylenmekte olup, bölgede yapılan genel jeoloji haritalarında yamaç molozu işlenmemiştir. Olasılıkla sondaj verisi olmayan araştırmacılar topoğrafik koşullara bağlı olarak böyle bir haritalama yapmışlardır. Arazide yapılan gözlemlerde yamaç molozu yapılan yol kazılarında açık bir şekilde gözlenmektedir.

2.5. Stratigrafi (Katman Bilimi)

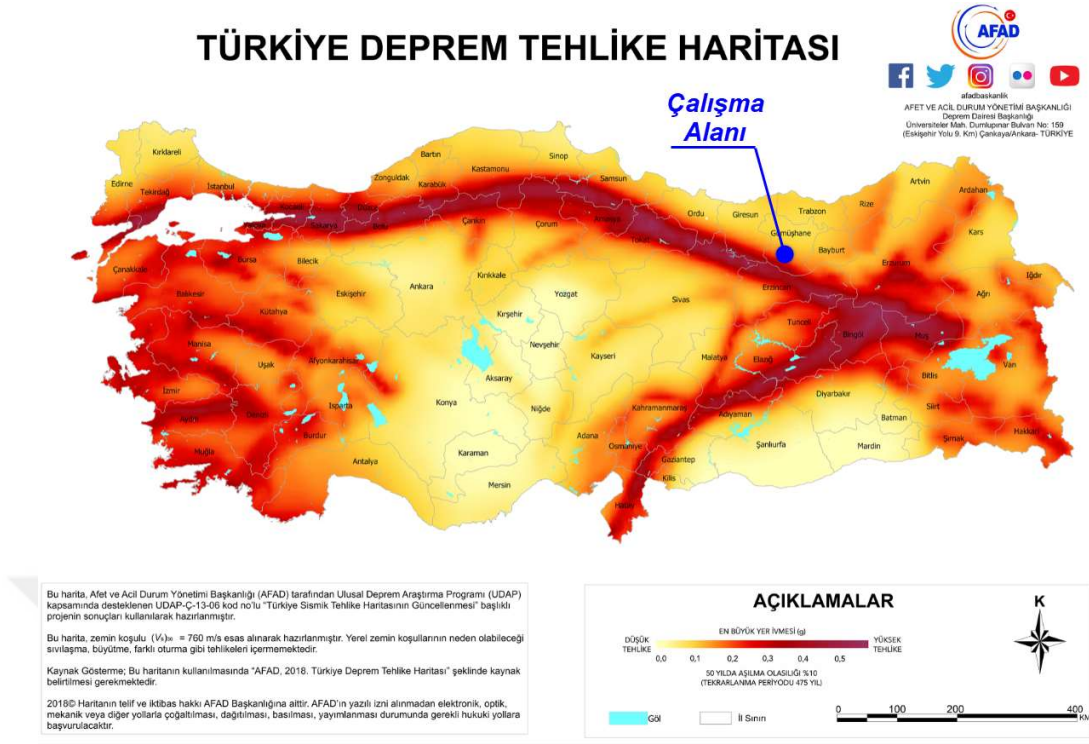
Çalışma alanı ve içerisinde yer aldığı H42 paftası, Türkiye'nin kuzeydoğusunda Pontidler ve Torid kuşaklarının (Ketin, 1966) birbirine çok yaklaştığı bir alanda bulunur. İnceleme alanında Pontid kuşağına ait birimler ve İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağına ait kayalar yüzeylemektedir. Palezoyik-Mesozoyik yaşlı, birbirleriyle tektonik ilişkili olan ve farklı litolojik özellikler sunan bu birimler, Kelkit görelî otoktonu, Çimen Dağı napı, Erzincan napı olup Tersiyer öncesi bir araya gelmiş bu üniteler, Eosen yaşlı ortak bir örtüyle örtülürler (Şekil 2.2).

Ayrıca bölgede, Paleozoyik, Mesozoyik ve Tersiyer yaşlı sokulum kayaçları mevcuttur. Bu kayaçlar, Karbonifer yaşlı Gümüşhane granitoyidi, Köse granitoyidi, Orta Jura yaşlı Halgin granitoyidi, Kretase-Tersiyer yaşlı Kaçkar granitoyidi olup intrüzif kayaçlardır.

2.6. Yamaç Molozu (Qym)

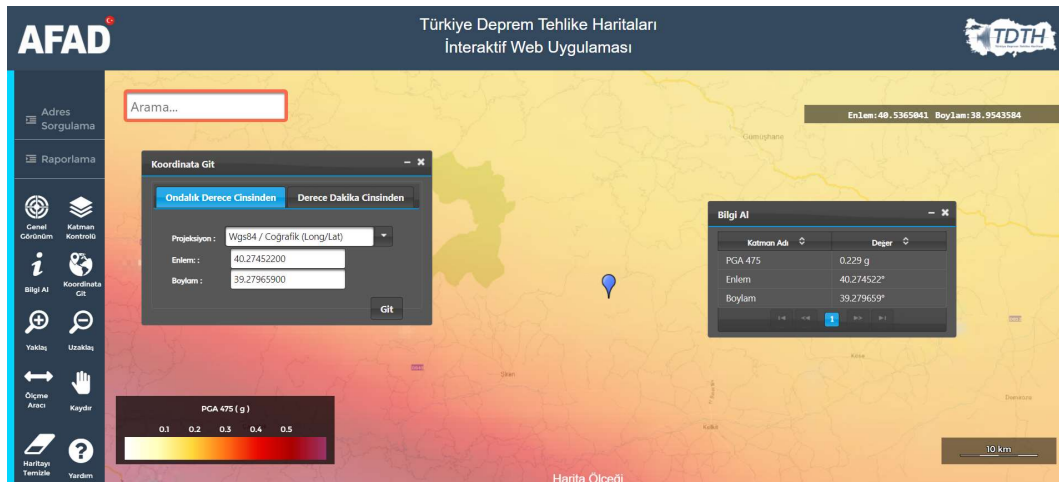
Yamaç molozu, çoğunlukla dik mofolojiyi oluşturan birimlerinden beslendiklerinden çok bileşenlidir. Tane boyları, kum-iri blok arasında değişir. Taneler çoğunlukla köşelidir. Boylanma ve derecelenme görülmez, düzensiz yığışımıdır. Gölet yerinde yamaç molozu kalınlığı 2.00-9.50 m arasında değişmektedir.





Şekil 15. Heyelan alanının Türkiye deprem tehlikesi haritasındaki konumu

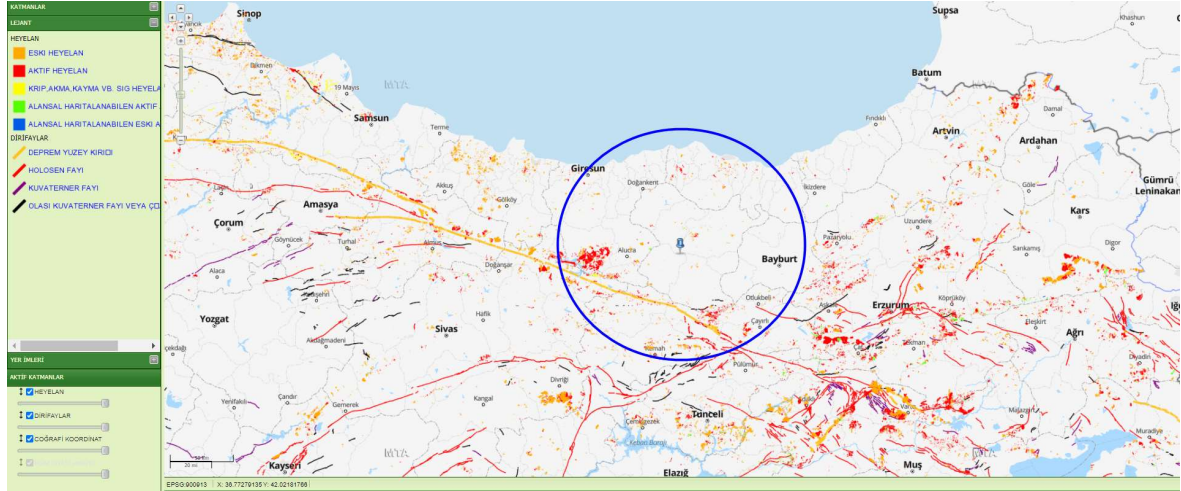
Yenilenen haritaya göre heyelan alanı yer ivmesi 0,22-0,24g arasında olabilecek bir bölgede yer almaktadır.



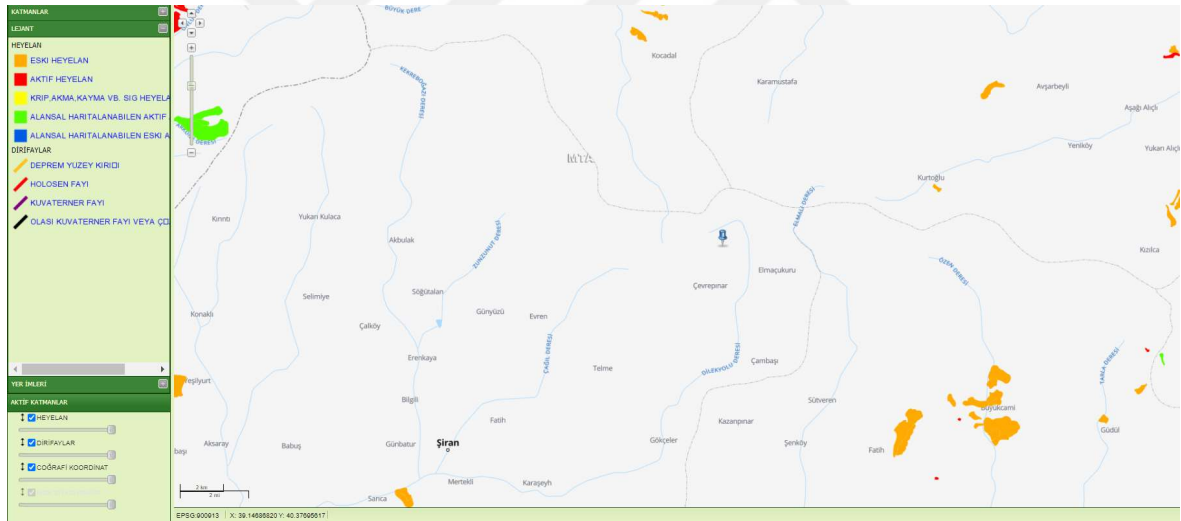
Şekil 16. Heyelan alanının Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasındaki konumu ve beklenen en büyük yer ivmesi değeri

Ayrıca heyelan alanı konum olarak interaktif haritaya işlenmiş (Şekil 7) ve bu haritada beklenen en büyük yer ivmesinin $PGA\ 475 = 0.229g$ olduğu anlaşılmıştır.

Heyelan alanı MTA tarafından hazırlanan ve çevirim içi olarak sunulan yerbilimleri harita görüntüleyicisine yüklenmiş ve kendisi merkez olacak şekilde 100km yarıçaplı bir alanda bulunan diri faylar ve heyelanlar araştırılmıştır. (Şekil 8.)



(a)



(b)

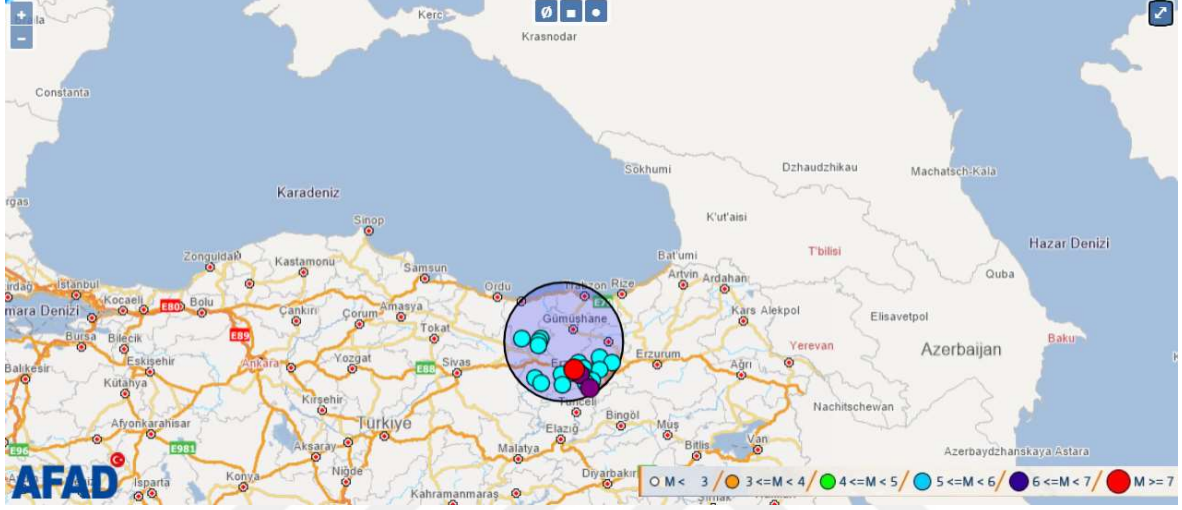
Şekil 17. MTA yerbilimleri haritasında heyelan alanının konumu (a) uzak görünüm (b) yakın görünüm

Heyelan alanı ve yakın çevresinde herhangi bir heyelan, akma, krip vb. bir yapı bulunmaz iken 100 km yarıçaplı bir alan içerisinde kuzey Anadolu fay hattının etkisinde olduğu görülmektedir.

Bu fayların olası etkilerinin araştırılabilmesi adına AFAD tarafından hazırlanan deprem kataloğu incelenmiş, heyelan alanı merkez olmak üzere 100km yarıçaplı alanda

1900-Günümüz (5.12.2020 itibari ile) arasında gerçekleşmiş, farklı büyüklük türlerine göre 5'ten büyük olan depremler araştırılmıştır.

Bu 120 yıllık süre içerisinde çalışma alanı ve yakın çevresinde 5'ten büyük 21 deprem meydana gelmiş ve bu depremlerin dağılımları aşağıdaki haritada (Şekil 9), depremlere ait detaylı bilgi ise aşağıdaki tabloda (Tablo 2) sunulmuştur.



Şekil 18. AFAD Deprem Kataloğunda çalışma alanının konumu ve 100 km'lik yarıçap içerisinde 1900'den itibaren oluşmuş depremler

Tablo 2. 1900-Günümüz (05.12.2020 itibari ile) arasında gerçekleşmiş depremler

No	Tarih	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Tip	Büyüklük
1	22.09.2011 03:22	39,6597	38,6777	7,18	Mw	5,60
2	8.03.2010 10:14	39,7957	40,0477	4,91	MI	5,00
3	30.07.2009 07:37	39,5854	39,7483	13,70	Mw	5,00
4	27.01.2003 05:26	39,4960	39,8410	15,10	Mw	6,00
5	13.03.1992 17:18	39,7200	39,6320	22,20	Mw	6,60
6	20.04.1990 23:30	39,9960	40,0470	39,90	Mw	5,40
7	18.11.1983 01:15	39,7530	39,4680	17,90	Mw	5,40
8	18.10.1980 03:14	39,9100	40,3100	37,00	MS	5,30
9	19.01.1979 23:36	39,9100	39,6000	11,00	MS	5,00
10	3.09.1970 05:32	39,5750	38,8090	9,30	MS	5,30
11	26.01.1960 09:52	40,1900	38,7500	20,00	MS	5,90
12	12.11.1941 10:04	39,7400	39,4300	70,00	MS	5,90
13	8.11.1941 12:16	39,7000	39,7000	10,00	MS	5,50
14	22.04.1940 12:20	39,6200	39,8900	20,00	MS	5,20
15	26.12.1939 23:57	39,8000	39,5100	20,00	MS	7,90
16	21.11.1939 08:49	39,8200	39,7100	80,00	MS	5,90
17	10.12.1930 10:31	39,7200	39,2400	30,00	MS	5,60

Tablo 2'nin devamı

No	Tarih	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Tip	Büyükölük
18	9.04.1930 05:27	39,5500	39,2600	10,00	MS	5,00
19	15.09.1929 13:10	40,2500	38,7600	50,00	MS	5,00
20	16.02.1904 03:45	40,3000	38,4000	10,00	MS	5,10
21	8.05.1902 22:05	40,3000	38,8000	10,00	MS	5,20

Sonuç olarak heyelan alanı için en büyük risk faktörünün yaklaşık 80km güneyde bulunan Kuzey Anadolu Fay Zonu olduğu ve fayın 120 yıllık süreçte 7,9 büyüklüğünde deprem oluşturduğu görölmektedir.

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1. Jeolojik Haritalama

Heyelan sahasının jeolojisi açılan araştırma çukurlarının verileri üzerinden 1/500 ölçekli jeoloji haritası hazırlanarak, jeolojik plan ve kesitler Ek.1’de sunulmaktadır.

3.2. Araştırma Çukur Çalışmaları

Heyelan sahasında birimin özelliklerini belirlemeye yönelik 4 adet araştırma çukuru açılmış olup, bu çukurlar hem birim tanımlaması hem de UD (örselenmemiş) numune alınması amacıyla kullanılmış EK.2’de sunulmaktadır. Çukurlar paletli ekskavatör yardımı ile açılmış olup, hidrolik baskı kullanılarak UD numuneler alınmıştır.

3.3. Laboratuvar Çalışmaları

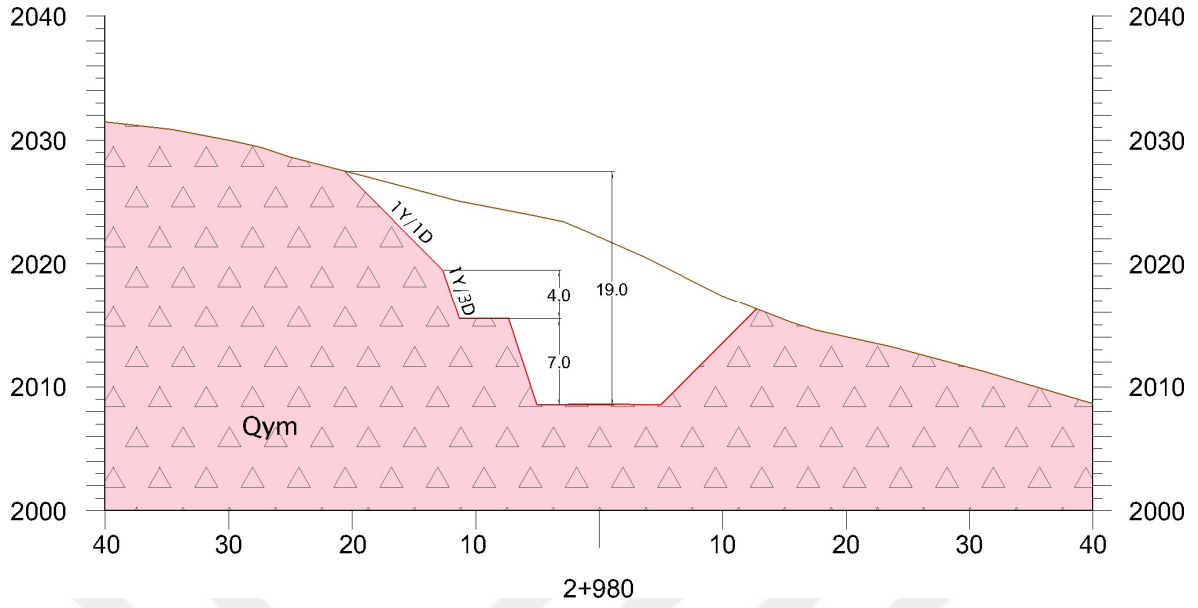
Laboratuvar çalışmaları Ek.2’de belirtilen 4 çukurdan elde edilen numuneler üzerinde yapılmış, Ek.3’de sunulmuştur.

Numuneler üzerinde;

- Elek Analizi
- Atterberg Limitleri Tayini
- Üç Eksenli Sıkışma Dayanımı
- Kesme Kutusu (İleri – Geri) deneyleri yapılmıştır.

3.4. Heyelan Mevcut Durum Değerlendirmesi

Yolun ilk şevi 7,0m yüksekliğinde 1Y/3D olacak şekilde, sonrasında 4,0m genişliğinde bir palye ve ikinci şev ilk 4,0m’si 1Y/3D, devamı 1Y/1D olacak şekildedir. (Şekil 19)



Şekil 19. Aks yolu için hazırlanan tip kesit

Yol yıllar öncesi uygun olarak açılmış, uzun süre stabil kalmış, daha sonrasında duraylılığını kaybederek heyelan (Şekil 20) meydana gelmiştir.



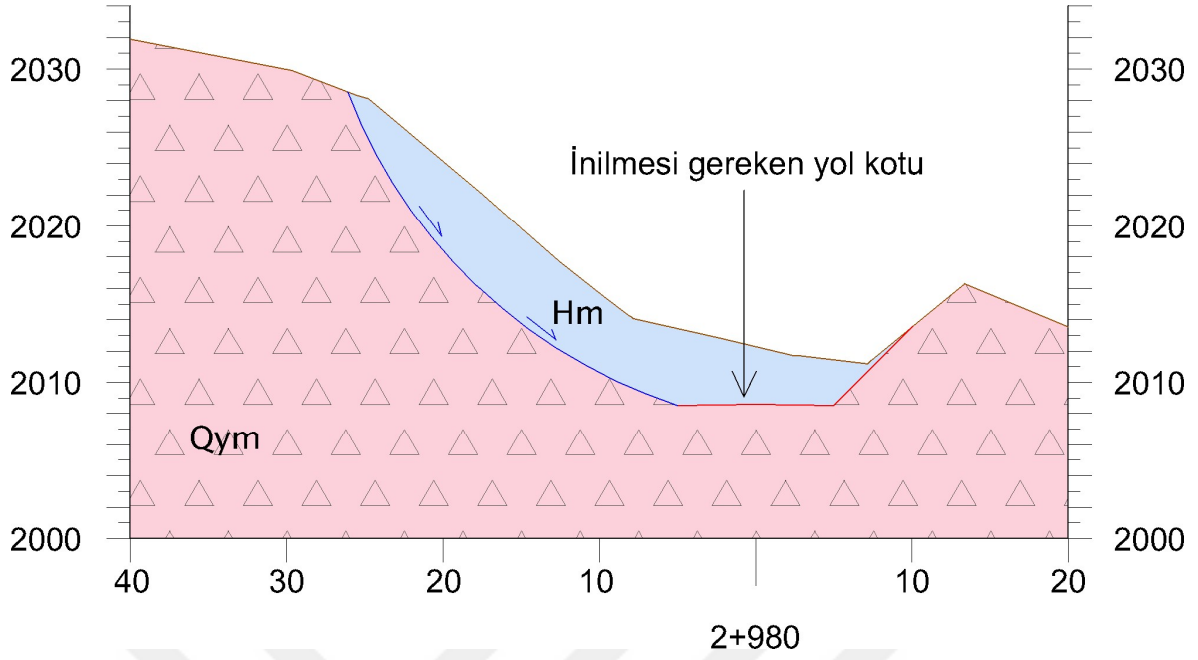
Şekil 20. Heyelanın genel görünümü

Meydana gelen heyelan mevcut kazıları da etkilemiş, inilen kazı kotları akan malzeme (Şekil 20) sebebiyle tekrar yükselmiştir. Dolayısıyla heyelan sonrası yeni bir topoğrafya (Şekil 21) oluşmuştur.

Oluşan yeni topoğrafya ya ait harita alımı yapılmış, en kesitler çıkartılmış, akan malzeme bu kesitler üzerinde heyelan malzemesi (Şekil 22) olarak işlenmiştir.



Şekil 21. Heyelanlı kesimlerde akarak kazıları tekrar dolduran malzeme



Şekil 22. Mevcut duruma ait jeolojik kesit

Genel jeoloji haritasında bölge her ne kadar Kurtoğlu Metamorfiti (Cku) olarak işlenmiş olsa da yapılan arazi gözlemlerinde birimin daha önce belirttiğim şekilde yamaç molozundan oluşuk olduğu görülmüştür. Yamaç molozu sınırları mümkün oldukça belirlenmiş ve 1/100000 ölçekli genel jeoloji haritasına işlenmiş, rapor ekinde (EK-4) sunulmuştur.

Mevcut mostralarda belirgin olarak gözlenen birim (Şekil 23.) içerisinde hem heyelan kütesini görebilmek, hem heyelanlı kütenin arkasında yer alan birimleri tanımlayabilmek amacıyla 4 adet araştırma çukuru (Şekil 24.) açılmış, bu çukurlardan UD numune alınmıştır.



Şekil 23. Birimin mevcut mostralarda görünümü



Şekil 24. AÇ-1'in görünümü

Alınan UD numuneler üzerinde birimin 3 farklı parametresini belirlemek amacıyla deney programı hazırlanıp, 2 UD üzerinde üç eksenli sıkışma dayanımı (UU), 2 UD üzerinde kesme kutusu (CD) deneyi yapmak istedik, ancak 2 numunenin çakıllı olması nedeniyle o

tüplerden çıkan numuneler üzerinde sadece sınıflama deneyleri yapılabilmiş, kalan 2 numune üzerinde istenilen parametreler elde edilmiştir.

Numunelerden elde edilen parametreler ve kullanım amaçları Ek.5’de verilmiştir.

Yukarıda yer alan deneyler dışında birim hacim ağırlık ve sınıflama deneyleri de yapılmış, birimin genel olarak düşük plastisiteli kilden oluşuk olduğu anlaşılmıştır.

Birim hacim ağırlık değerleri $19,5 / 19,8 \text{ kN/m}^3$ olarak hesaplanmış güvenli tarafta kalınarak analizlerde 20 kN/m^3 kabul edilmiştir.

Elde edilen parametreler ışığında aşağıdaki analiz yöntemleri ile analizler yapılmış, güvenlik sayıları hesaplanıp, çözüm alternatifleri sıralanmıştır.



4. ANALİZ YÖNTEMLERİ

4.1. Sonlu Elemanlar Sistemi

Yapı statikinde, matris yöntemleri düğüm noktalarında birleşen çubuklardan oluşan yapıların çözümlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür yapılarda düğüm noktalarının yerlerini seçmek kolaydır. Örneğin; kirişlerin birleştiği noktalar, tekil yüklerin etkilediği noktalar vs. Fakat sürekli ortamlarda oluşan yapılarda (plak, kabuk, baraj, uçak gövdesi, asma köprü vs.) bir çerçeve iskeleti söz konusu olmadığından, düğüm noktalarının belirlenmesi zordur. Bu tür yapılarda yapay düğüm noktalarının olduğu kabul edilerek, yapı sonlu elemanlara bölünür. Bu şekilde tüm yapıyı çözmek yerine, çözümler yapıyı meydana getiren her eleman için formüle edilmekte ve bir araya getirildiğinde tüm yapının davranışı elde edilmektedir.

Bugün birçok araştırma organizasyonu ve firma, sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak geliştirilen SAP90, SAP2000, PHASE, Plaxis 2D gibi yapı analizi programları kullanmakta ve yeni programlar geliştirmektedir. Bu programların kullanıcıların herhangi bir programlama dilini bilmeleri zorunlu değildir. Sonlu elemanlar yöntemini bilmelerini yeterlidir ve bizde tezimizde bu programlardan PHASE programını kullanarak sonlu eleman modellerimizi oluşturacağız.

Bu yöntemde analiz yapılacak bir cisim, yapı veya sürekli ortam, her birine eleman adı verilen sonlu sayıda parçalara bölünmektedir. Bu elemanlar, birbirine düğüm noktaları olarak adlandırılan sonlu sayıda noktalara bağlıdır. Her elemanın düğüm noktalarına bazı serbestlik dereceleri tanımlanmalıdır. Eleman davranışları bu bilinmeyen serbestlik derecelerini içeren denklemlerle ifade edilir. Eleman davranışları gerek düğüm noktalarında, gerekse eleman sınır yüzeylerinde bazı süreklilik şartlarına bağlandığında, cisim veya yapının matematiksel bir modeli elde edilir. Böylece sonsuz serbestlik derecesi olan bir sürekli ortam, sonlu serbestlik derecesi olan bir modele dönüştürülür. Elde edilen modele yapının sonlu eleman ağı adı verilir.

4.1.1. Sonlu Eleman Modeli Prensibi ile Çalışan Phase Programı

Phase 2 analiz programı; roscience tarafından geliştirilen güçlü bir Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) tabanlı analiz yapan bir bilgisayar programıdır. Zemin mekaniği, kaya mekaniği ve tünel mühendisliği gibi alanlarda iki boyutlu gerilme-deformasyon analizleri yapmak için kullanılır. Hem kaya hem de toprak için geçerli olan analiz programı, tünel ve destek tasarımı, yeraltı kazıları, yüzey kazısı, yamaç stabilitesi, setler, dinamik analiz, temeller, konsolidasyon, yeraltı suyu sızıntısı ve daha fazlası için genel amaçlı bir sonlu elemanlar analiz programıdır.

Phase 2 programı; mühendislik projelerinde güvenli tasarım ve analiz yapabilen oldukça güçlü bir yazılım olduğu için, Gümüşhane ili Çevrepınar ilçesinde yaşanan heyelan örneğini Sonlu Elemanlar Yöntemiyle şev stabilitesi analizi yaptığı için çalışmamızda Phase 2 programını kullanacağız.

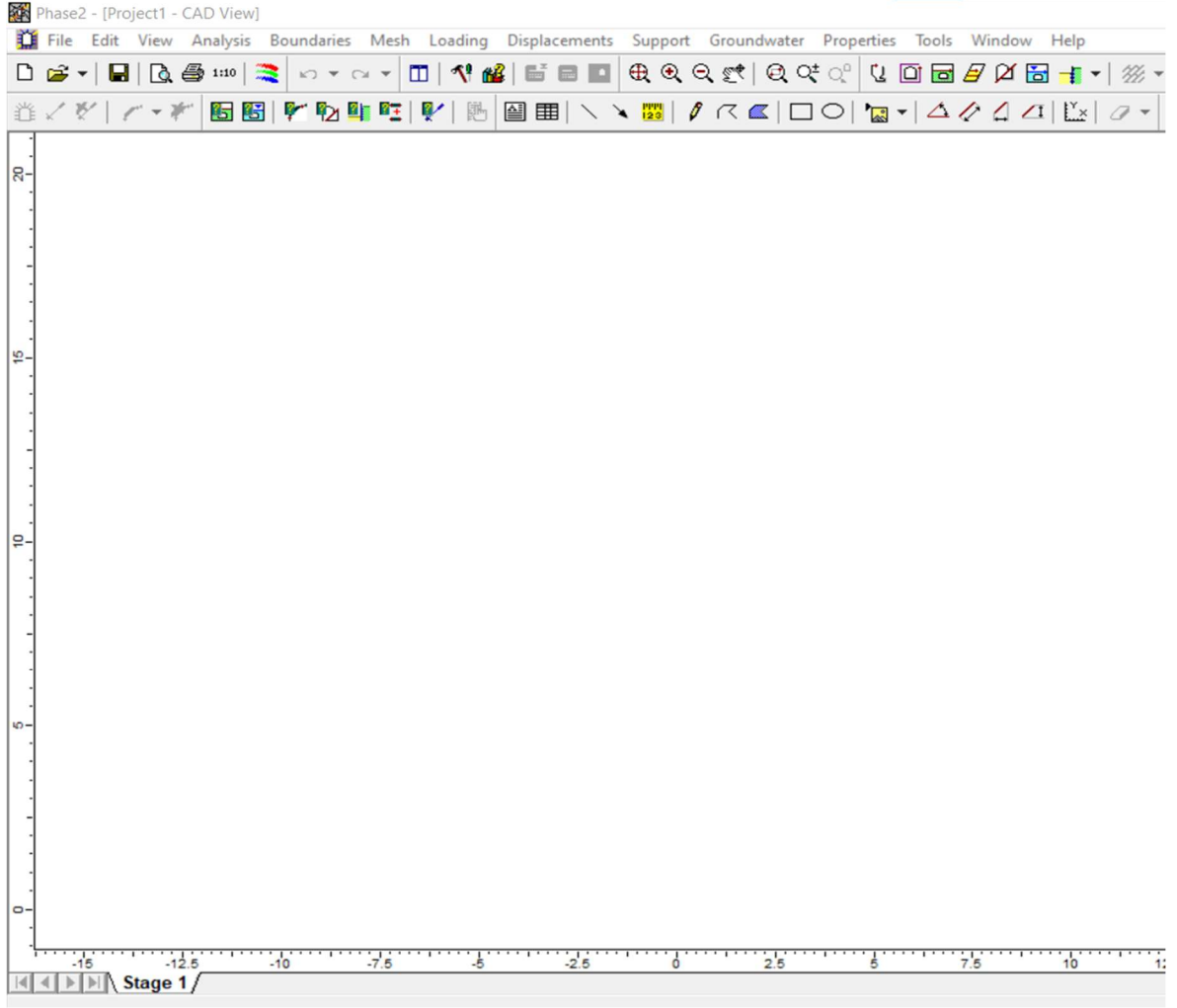
Ayrıca program; hesaplarımızda Mohr-Coulomb, Hoek-Brown, Cam Clay gibi farklı zemin ve kaya modellerini desteklemekte olup, duruma göre ankrajlar, püskürtme betonu, kaya bulonları ve diğer destek sistemlerini içeren modeller yapılabildiği için hesap güvenilirliği ve kesinliği açısından da çok önem arz etmektedir.

Son olarak programda istenildiği (opsiyonel) takdirde deprem etkilerini ve dinamik yüklemeleri programa girilerek Dinamik Analiz de yapabilmeye imkan sağlamaktadır.

Bu tez çalışmamızda Phase 2 programı kullanarak analiz çalışmaları yapılacak olup, sonuca göre en uygun çözüm yöntemi belirlenecektir.

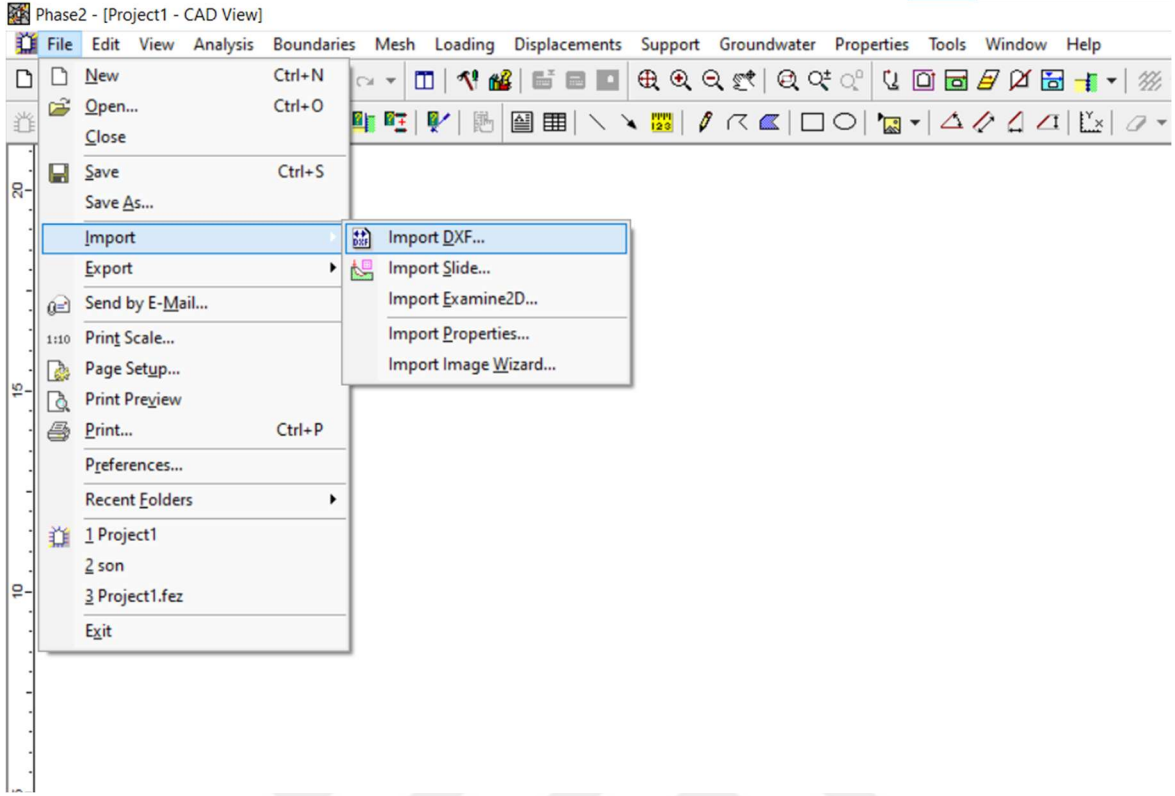
4.1.2. PHASE Programında Heyelan Analizi

İlk olarak Phase programına giriş yaparak aşağıdaki ara yüz önümüze gelecek olup, sol üstte programın menüsü içindeki araç çubukları gözükecektir.

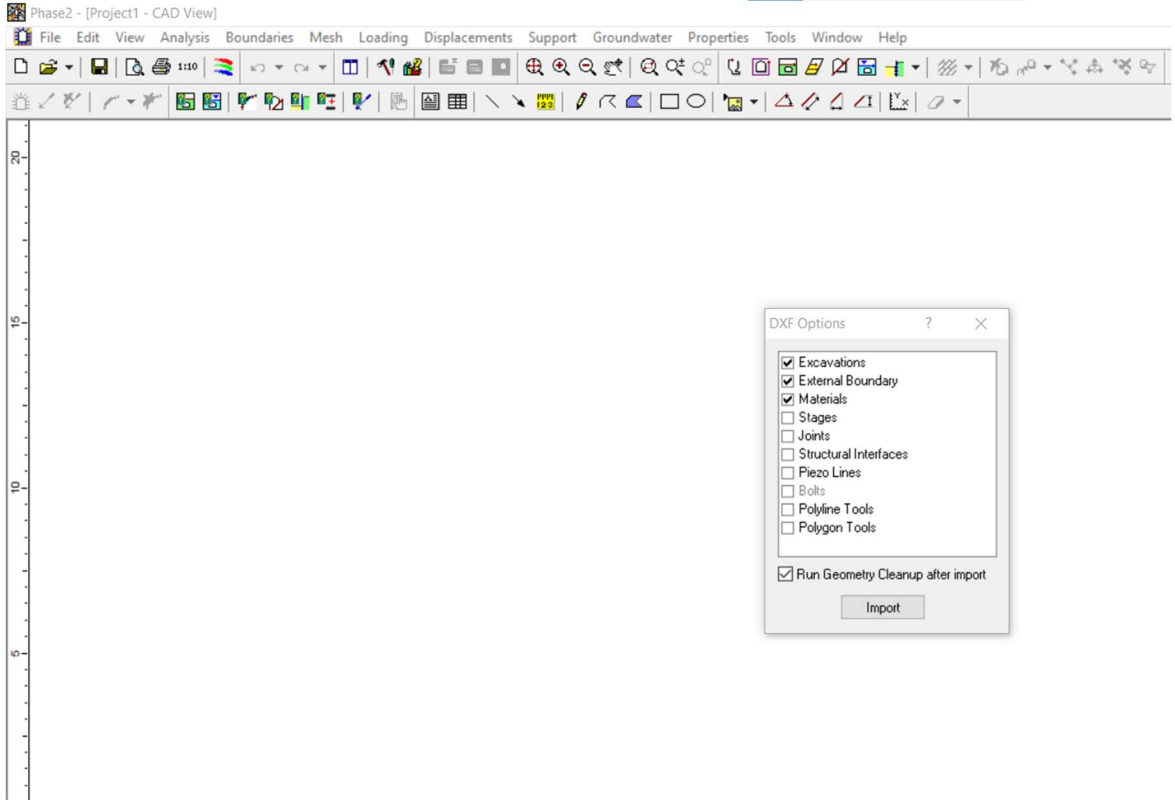


Şekil 25. Program görünümü

Sonra file butonuna basıp, import/import dxf./dxf options Seçeneğinden Autocad programımızda modelini çizdiğimiz heyelan modelini dxf ayarları içinden kazı, iç sınır ve materyal seçeneklerini seçip programa taşırız.



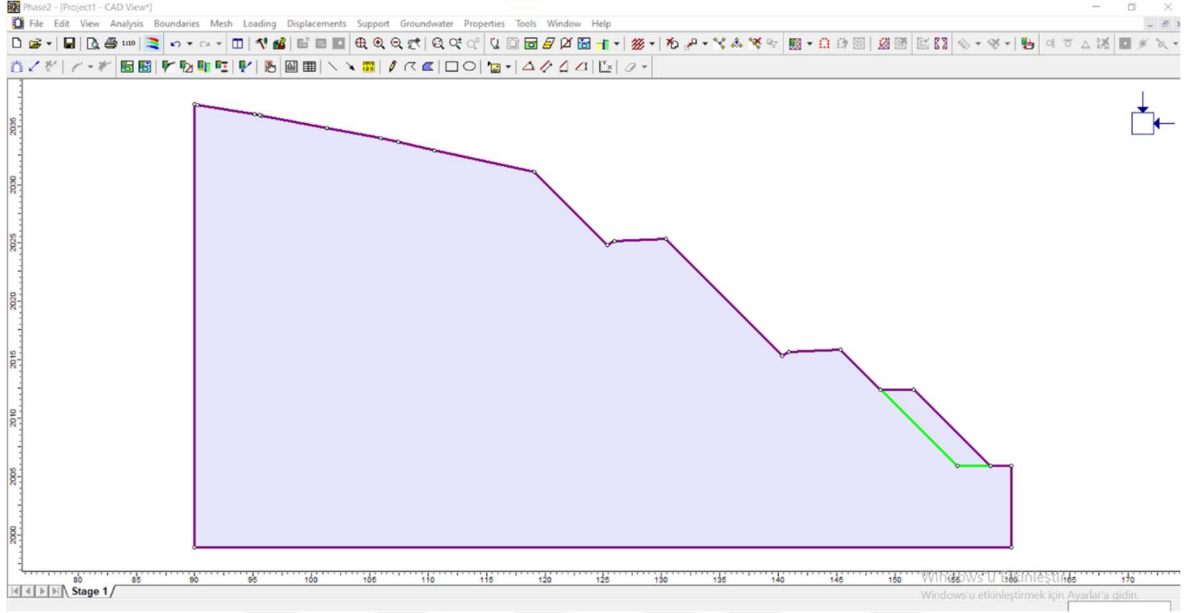
Şekil 26. Program görünümü



Şekil 27. Program görünümü

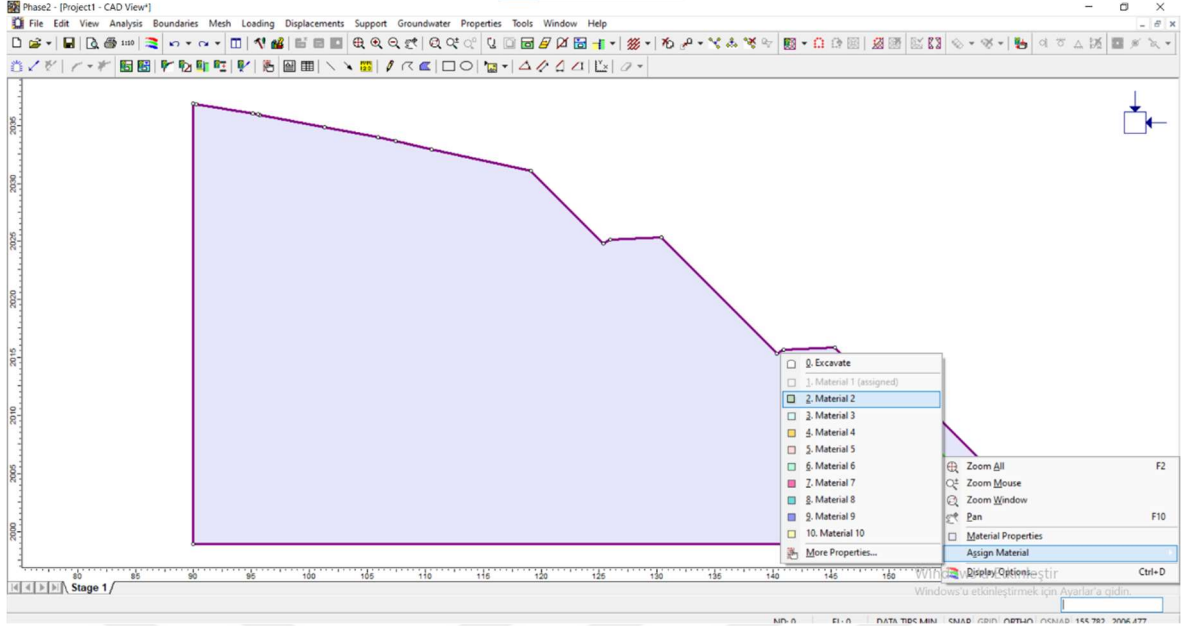
Seçtikten sonra model aşağıdaki gibi programa aktarılır.

- 1Y/1D Eğiminde Tahkimatlı Sonlu Elemanlar Analizi



Şekil 28. Program görünümü

Sisteme heyelan modelini aktardıktan sonra bu dxf. Formatındaki modelde Autocad programında oluştururken yeşil çizgi ile çizilen sınırdan sonrası taş tahkimat topoğudur. Programda şev bitiş yerine bu topoğu oluşturarak şev stabilitesini korumak amaçlanmıştır. Phase programında da analizler öncesinde tabi zeminle taş tahkimatın malzeme farkını tanımlamak için topuk noktası üzerine gelinip sağ tuşa basılıp Assign Material/Material 2 seçilerek iki malzeme birbirinden ayrılır. Malzeme 1 mor olarak malzeme 2 yeşil olarak gözükür.

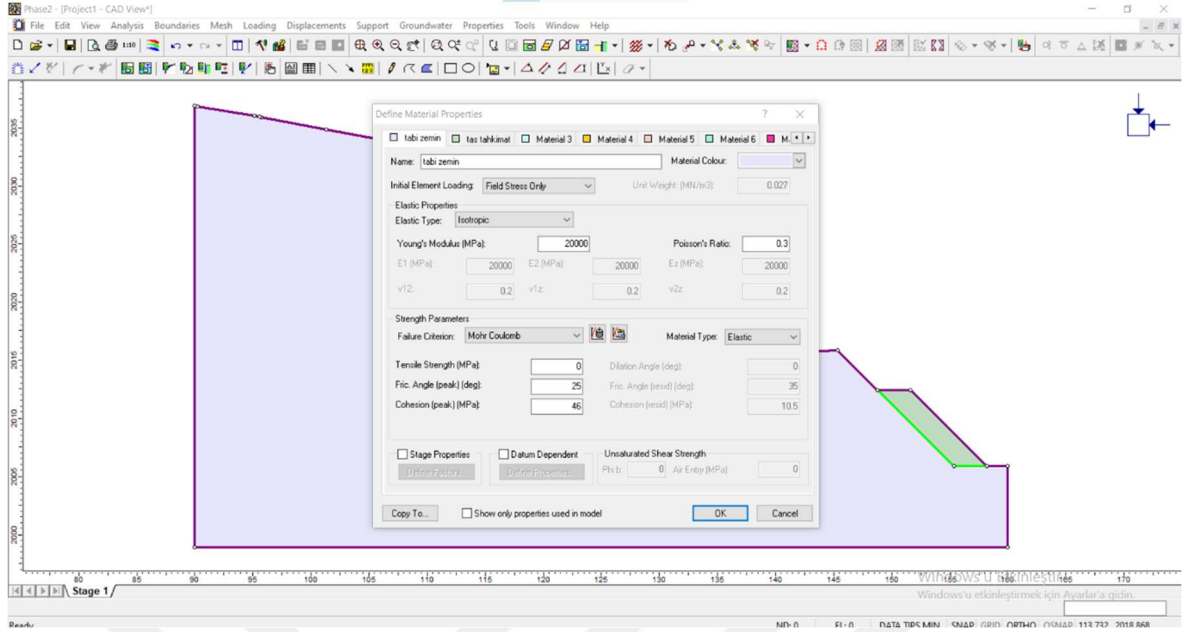


Şekil 29. Malzeme atama



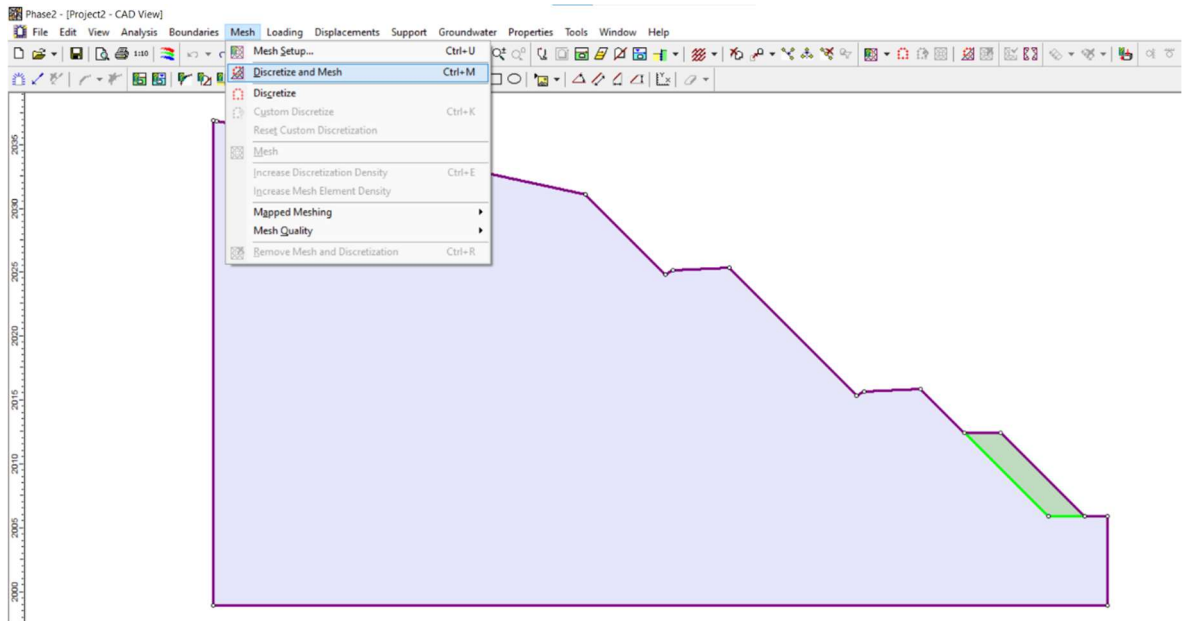
Şekil 30. Malzeme atama

Malzeme atama yapıldıktan sonra, malzeme 1'in üstüne gelip sağ tuşa basıp burdan Materyal Properties seçeneğinden malzeme parametrelerini gireceğimiz sayfa açılır ve buraya malzemelere ait kayma mukavemeti açısı, kohezyon ve vb. değerler girilerek malzeme parametreleri tanımlanır.

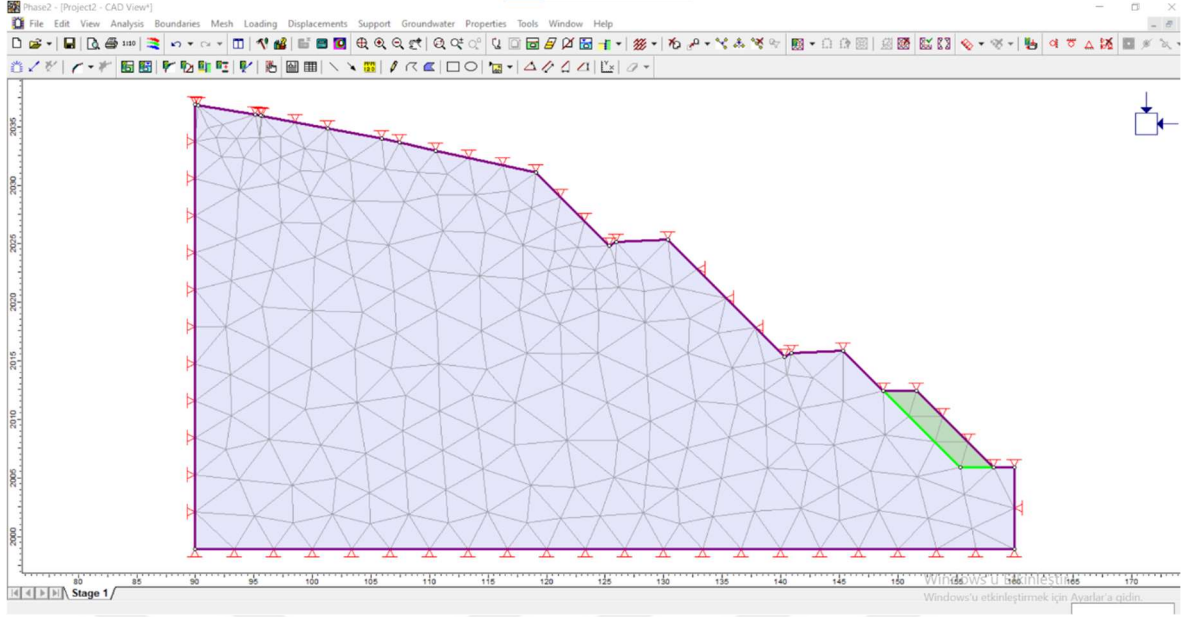


Şekil 31. Malzeme parametrelerini yazılıma tanımlama

Artık sistem analiz için hazır durumda olup, Sonlu Elemanlar Modelini kullanarak sistemi bir ağ halinde bölüp çözümleyebiliriz. Bunun için sol üst menüdeki aşağıdaki şekilde görüleceği üzere Mesh/Mesh Setup/Discretize and mesh'ten sistem sonlu elemanlar ağına dönüşür.

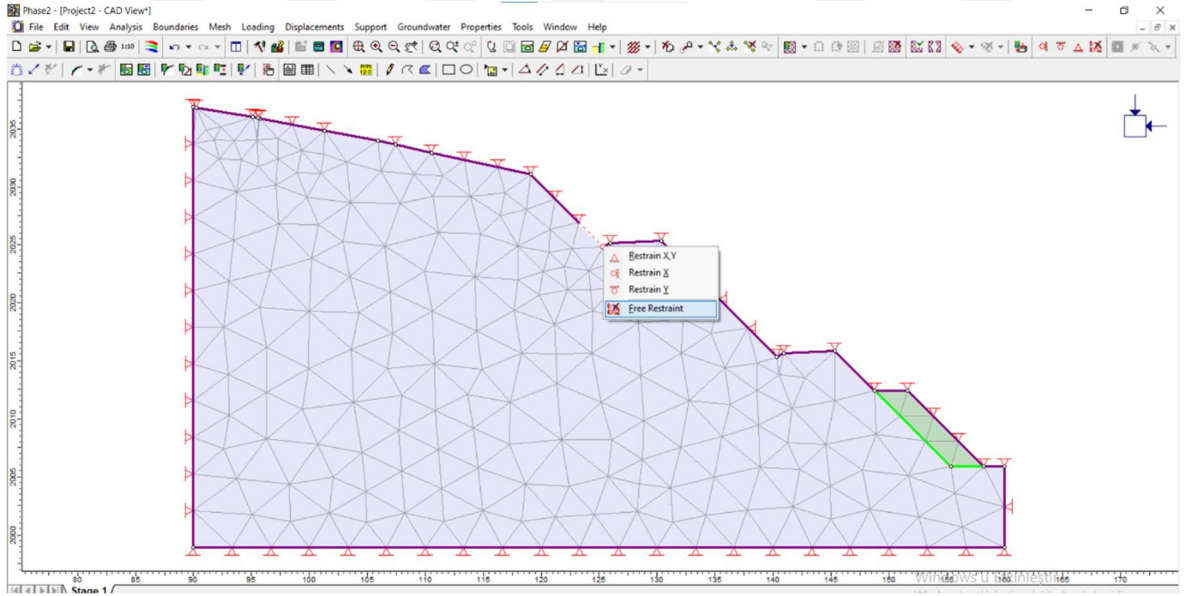


Şekil 32. Sonlu elemanlar ağına dönüştürme işlemi

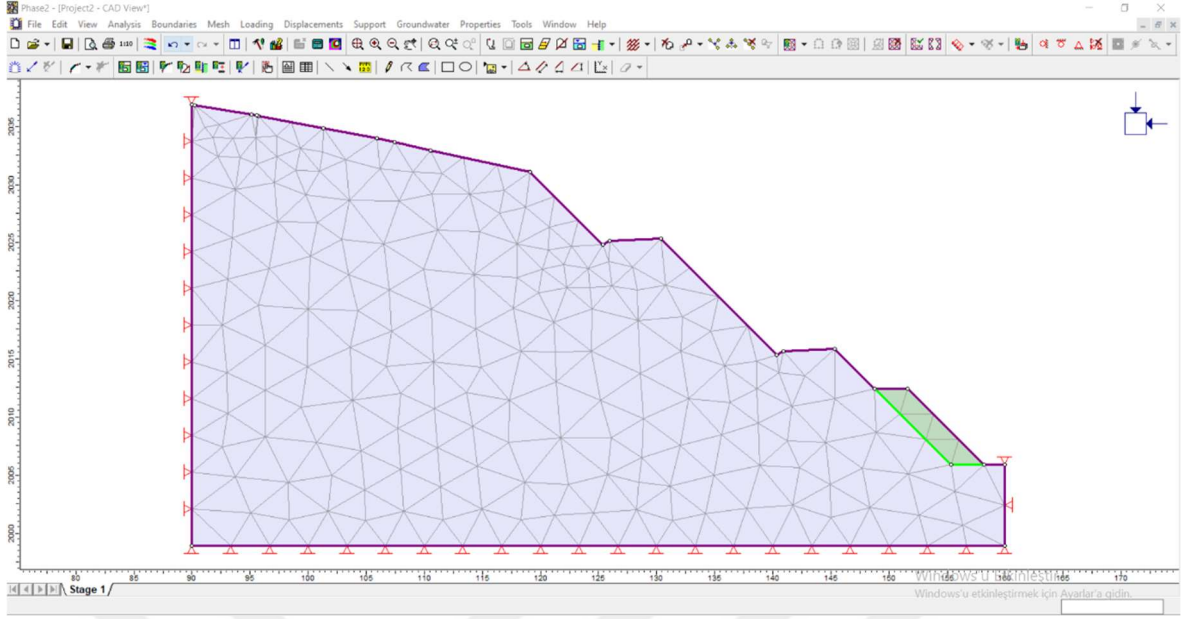


Şekil 33. Sonlu elemanlar ağına dönüştürme işlemi

Bölme yapıldıktan sonra kırmızı renkte olan mesnetlerin sabit olmayanları Free Restrain komutu ile aşağıdaki şekildeki gibi silinir.

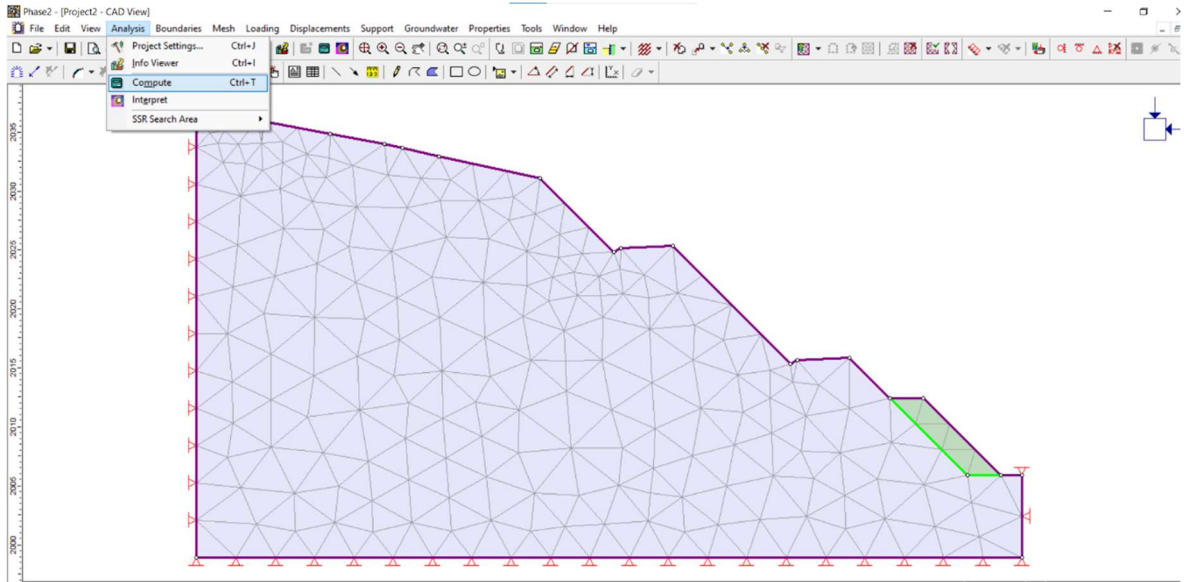


Şekil 34. Mesnetleri kaldırma işlemi

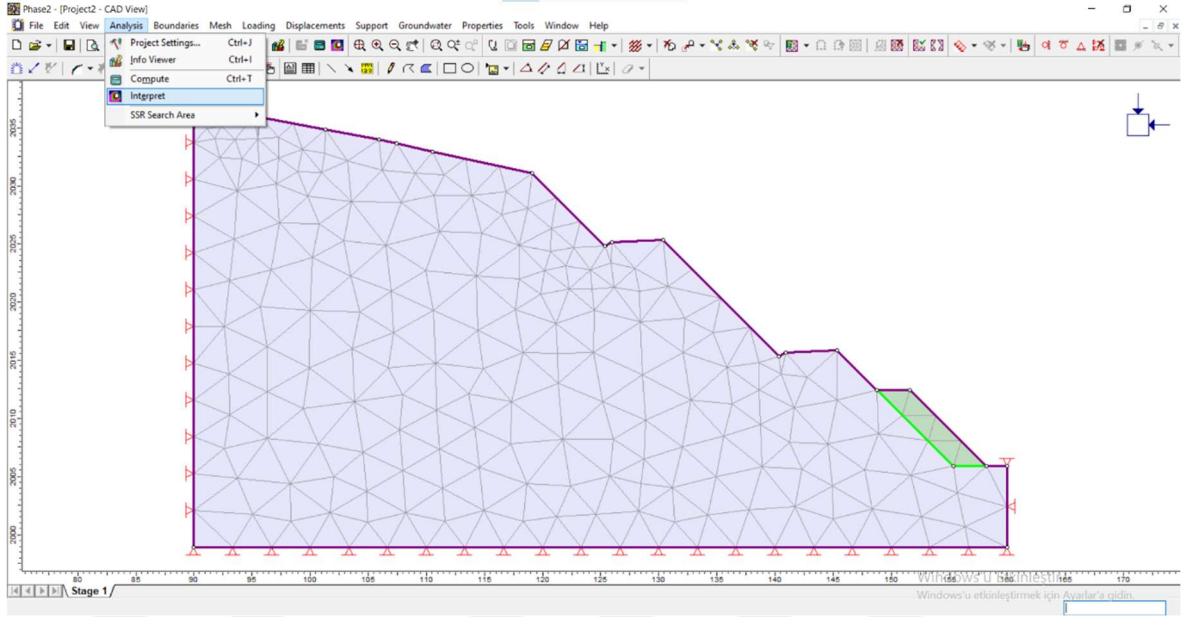


Şekil 35. Mesnetleri kaldırdıktan sonraki hali

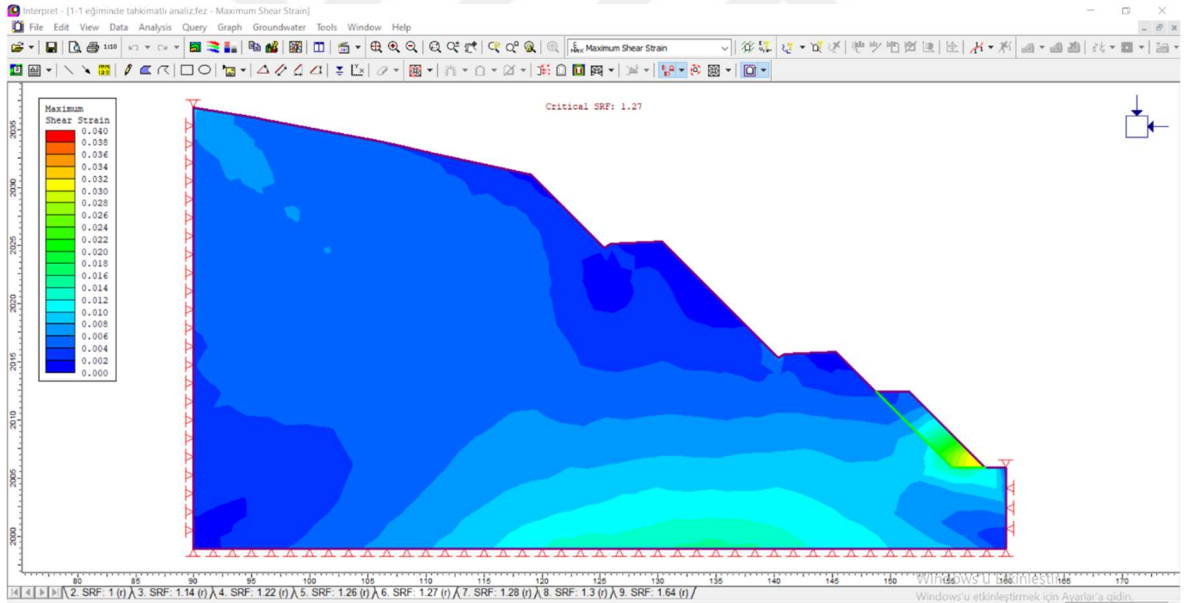
Sistem artık analize hazır olup, sol üstteki Analysis/Compute komutuyla hesaplama yapıp sonra da Analysis/Interpret komutuyla aşağıdaki Şekil 37. de gözüktüğü gibi analiz yapılır.



Şekil 36. Hesaplama komutu

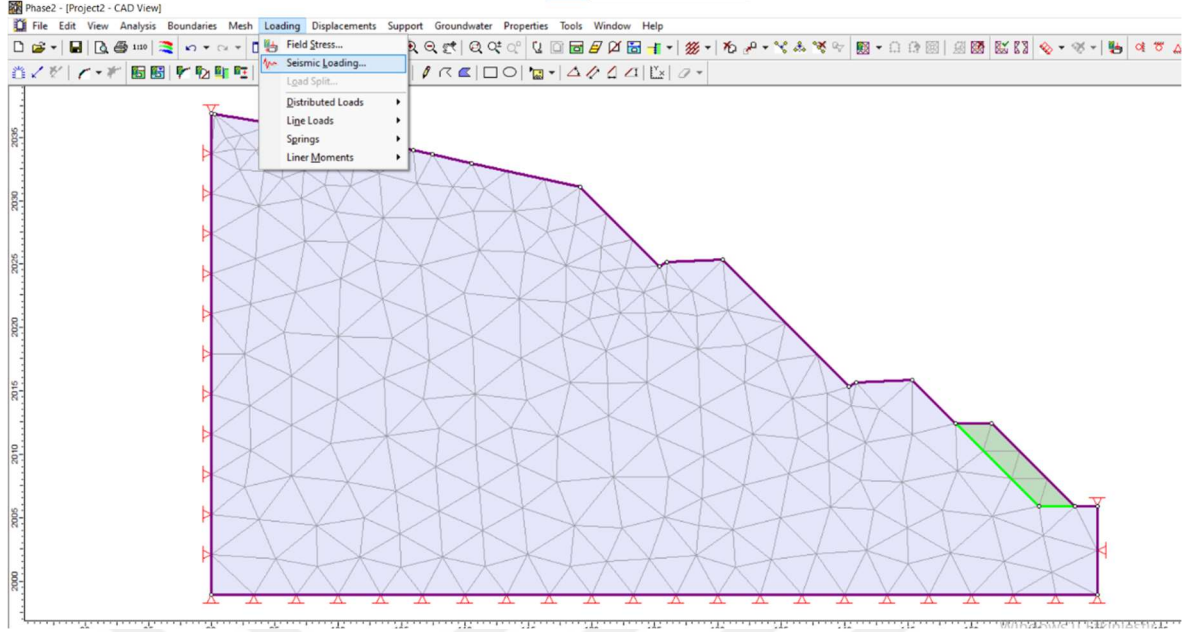


Şekil 37. Analiz komutu

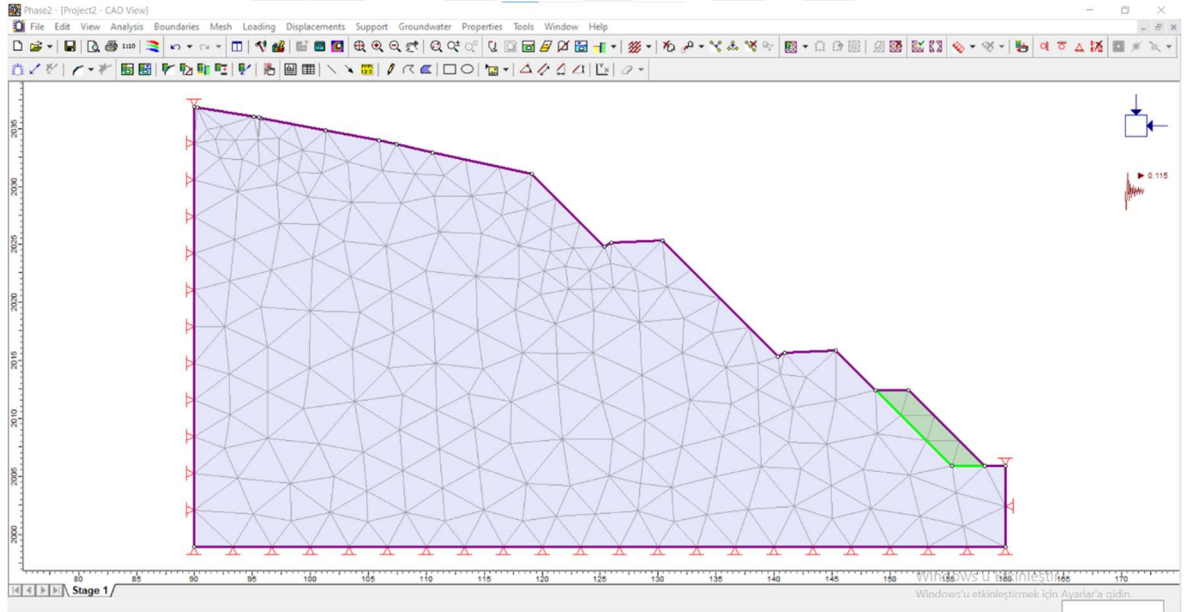


Şekil 38. Analiz görüntüsü

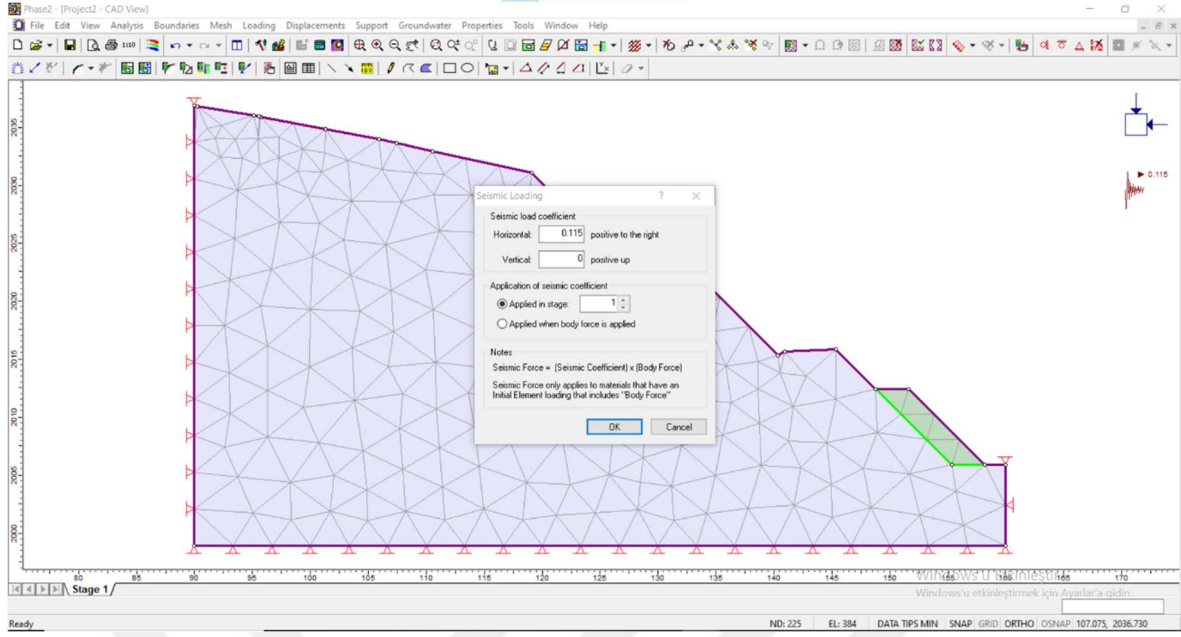
Üstteki analizden de görüleceği üzere sisteme şev topoğuna taş tahkimat tanımlayınca analiz sonuçlarında güvenlik faktörü 1.27 değeri yani şev stabilitesi sağlandığı görülmektedir. En son olarak sisteme dinamik yük olan deprem yüklemesi de ekleyerek dinamik yük altındaki durumu gözlemleyeceğiz. Deprem yükü eklemek için sol üstte Loading/Seismic Loading/Horizontal yani yatay yük olarak 0.115 g deprem ivmesi yüklenerek aşağıdaki şekillerdeki sonuçlar alınmıştır.



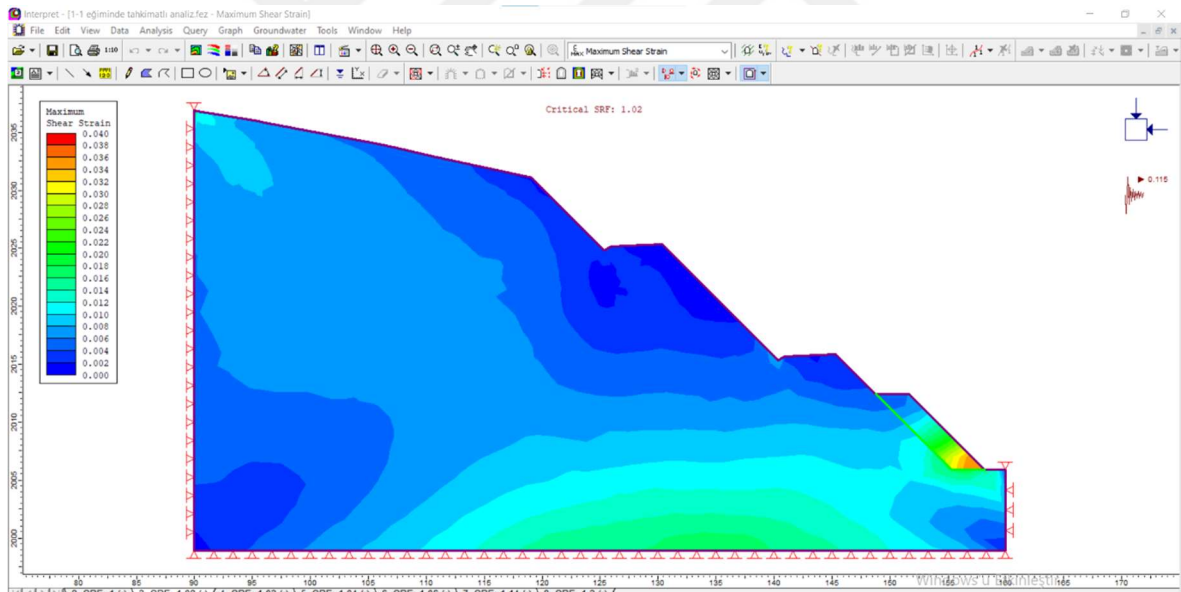
Şekil 39. Deprem yüklemesi



Şekil 40. Deprem yüklemesi



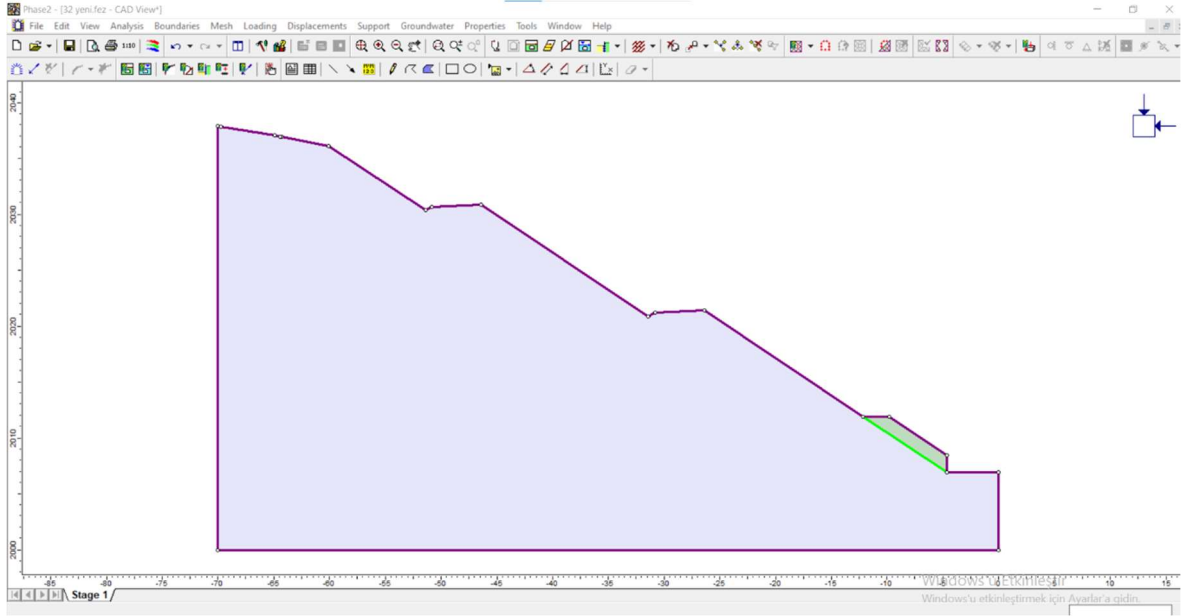
Şekil 41. Sisteme deprem ivmesi girilmesi



Şekil 42. Dinamik yük altındaki sonuç

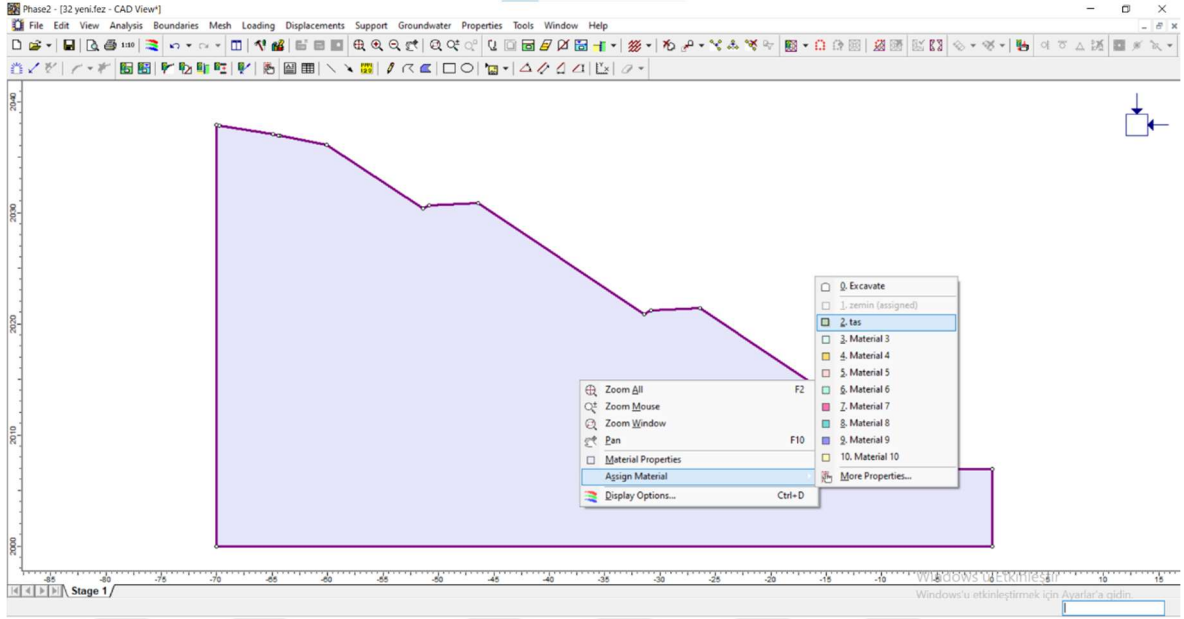
Üstteki analizden de görüleceği üzere dinamik yükler altında da analiz sonuçlarında güvenlik faktörü 1.02 yani şev stabilitesi sağlandığı görülmektedir.

• 3Y/2D Eğiminde Tahkimatlı Sonlu Elemanlar Analizi



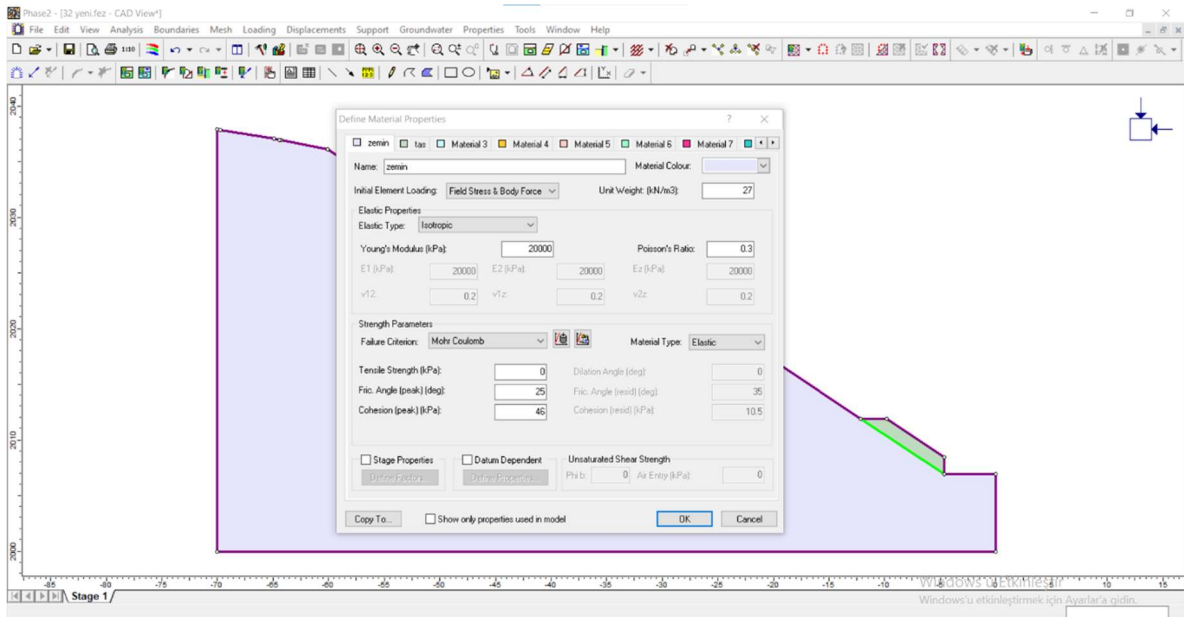
Şekil 43. Program görünümü

Sisteme heyelan modelini aktardıktan sonra bu dxf. Formatındaki modelde Autocad programında oluştururken yeşil çizgi ile çizilen sınırdan sonrası taş tahkimat topuğudur. Programda şev bitiş yerine bu topuğu oluşturarak şev stabilitesini korumak amaçlanmıştır. Phase programında da analizler öncesinde tabi zeminle taş tahkimatın malzeme farkını tanımlamak için topuk noktası üzerine gelinip sağ tuşa basılıp Assign Material/Material 2 seçilerek iki malzeme birbirinden ayrılır. Malzeme 1 mor olarak malzeme 2 yeşil olarak gözükür.



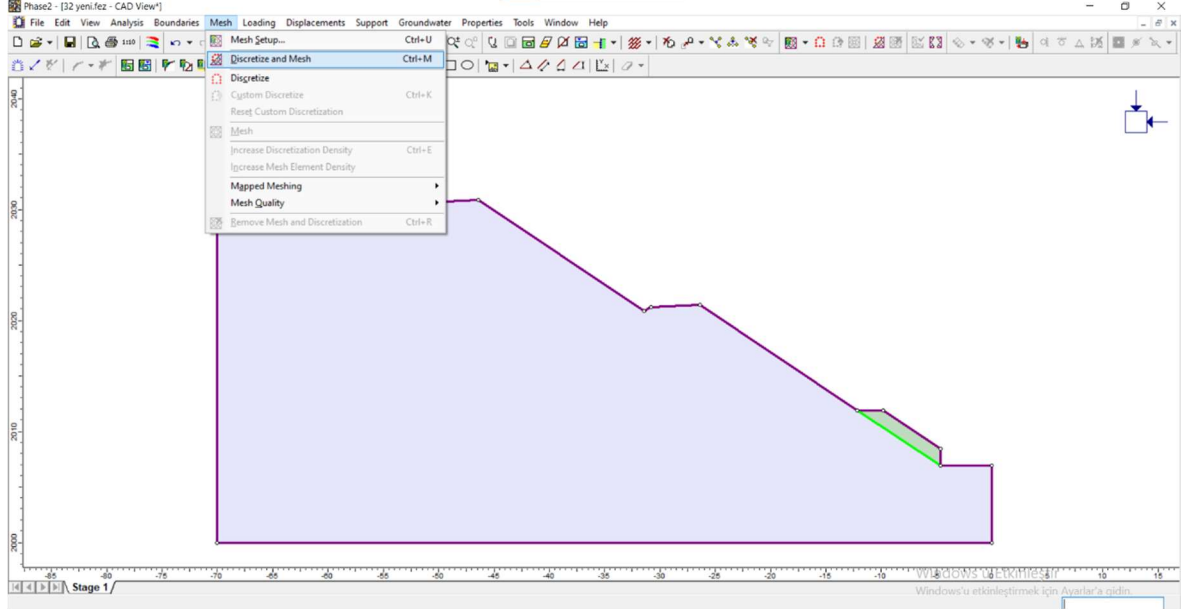
Şekil 44. Malzeme atama

Malzeme atama yapıldıktan sonra, malzeme 1'in üstüne gelip sağ tuşa basıp burdan Materyal Properties seçeneğinden malzeme parametrelerini gireceğimiz sayfa açılır ve buraya malzemelere ait kayma mukavemeti açısı, kohezyon ve vb. değerler girilerek malzeme parametreleri tanımlanır.

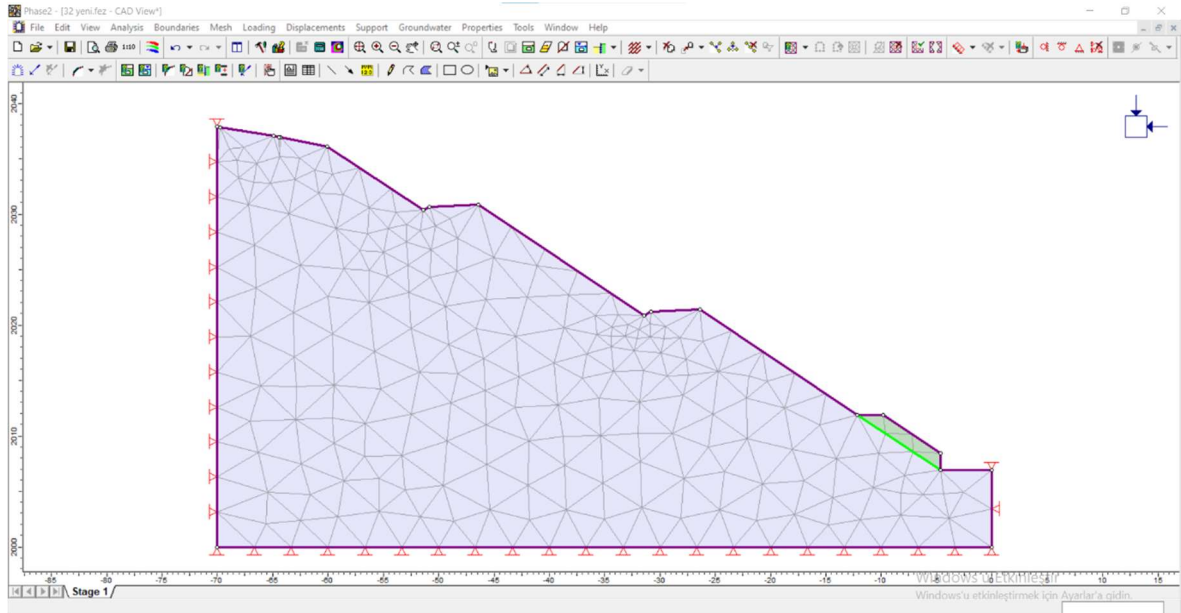


Şekil 45. Malzeme parametrelerini yazılıma tanımlama

Artık sistem analiz için hazır durumda olup, Sonlu Elemanlar Modelini kullanarak sistemi bir ağ halinde bölüp çözümleyebiliriz. Bunun için sol üst menüdeki aşağıdaki şekilde görüleceği üzere Mesh/Mesh Setup/Discretize and mesh'ten sistem sonlu elemanlar ağına dönüşür.

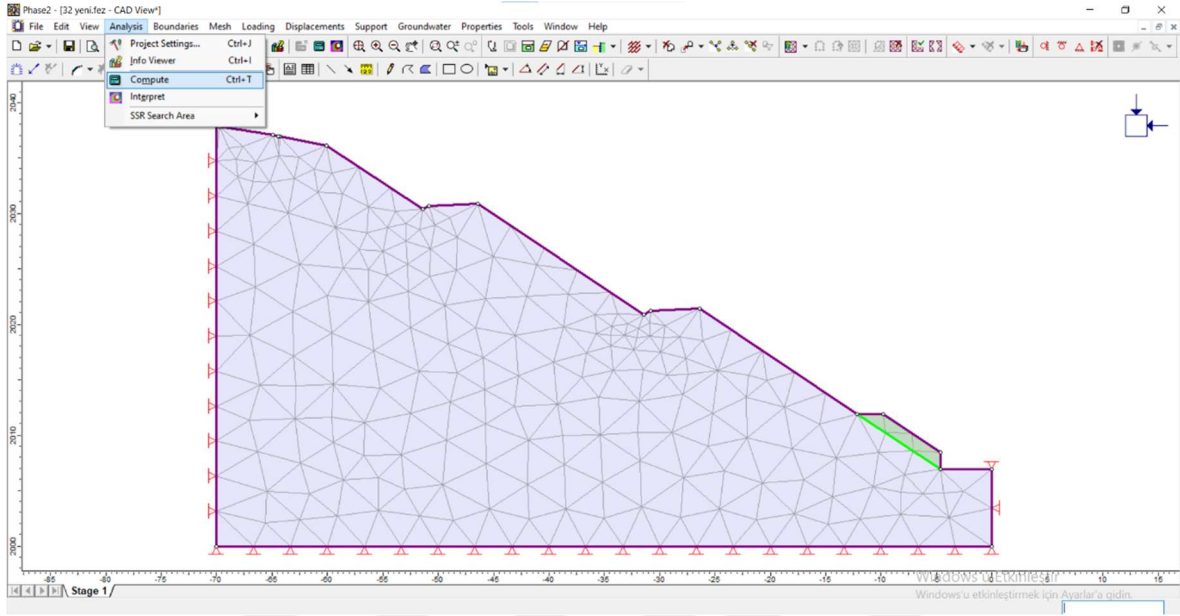


Şekil 46. Sonlu elemanlar ağına dönüştürme işlemi

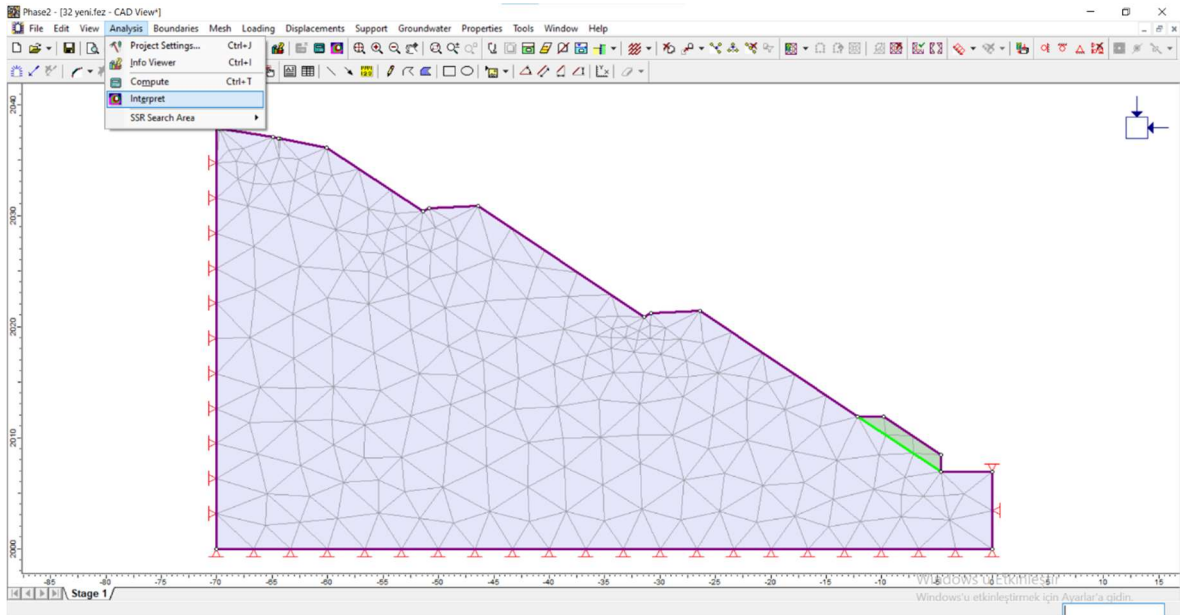


Şekil 47. Sonlu elemanlar ağına dönüştürme işlemi

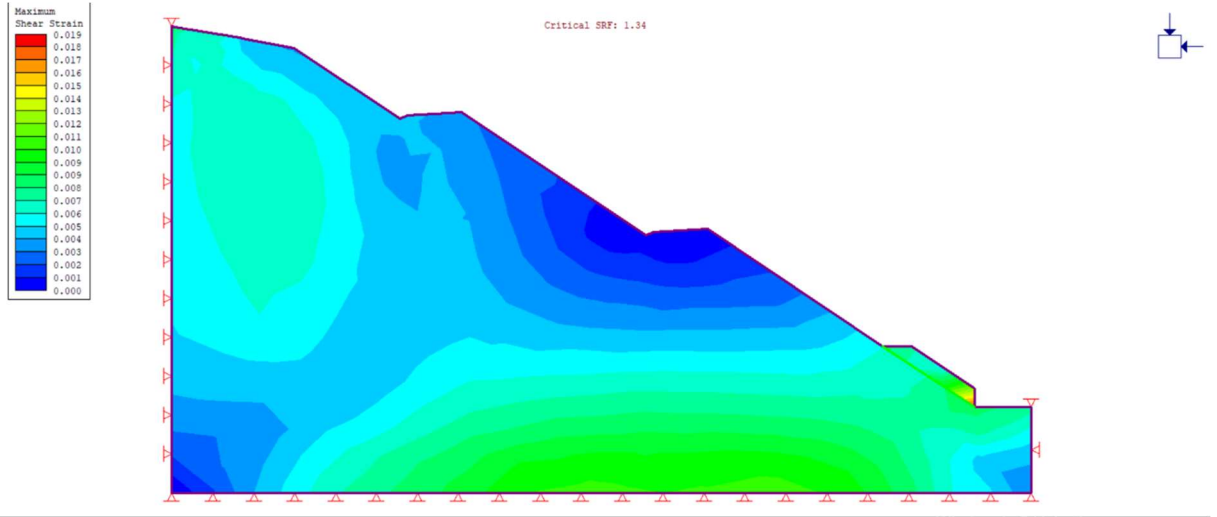
Sistem artık analize hazır olup, sol üstteki Analysis/Compute komutuyla hesaplama yapıp sonra da Analysis/Interpret komutuyla aşağıdaki Şekil 49. da gözüktüğü gibi analiz yapılır.



Şekil 48. Hesaplama komutu

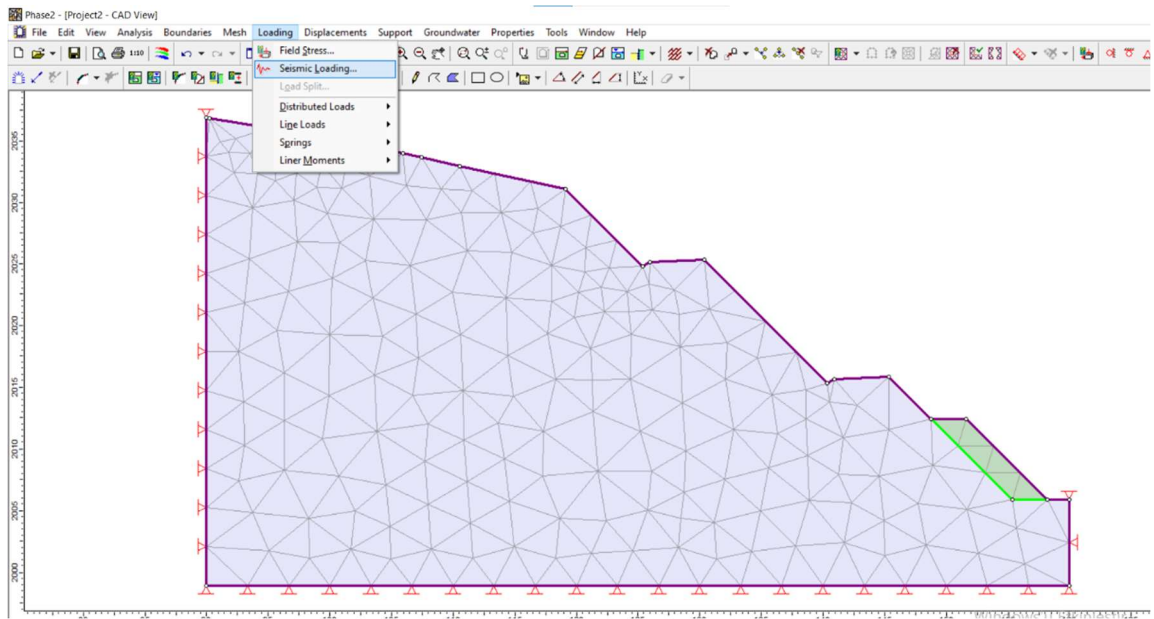


Şekil 49. Analiz komutu

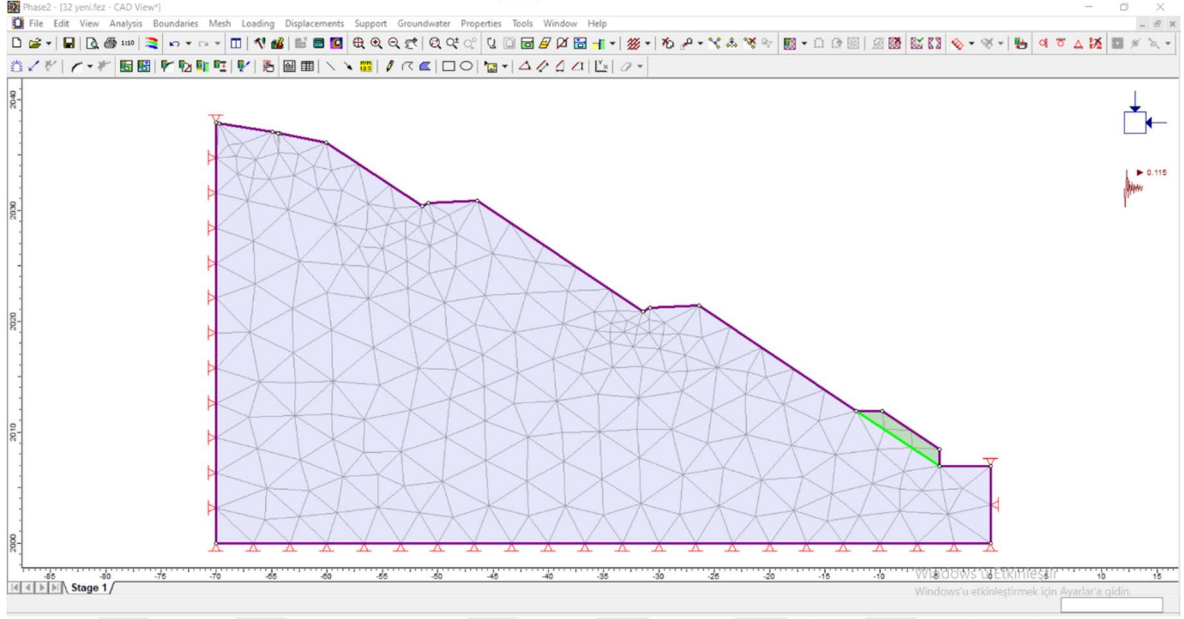


Şekil 50. Analiz görüntüsü

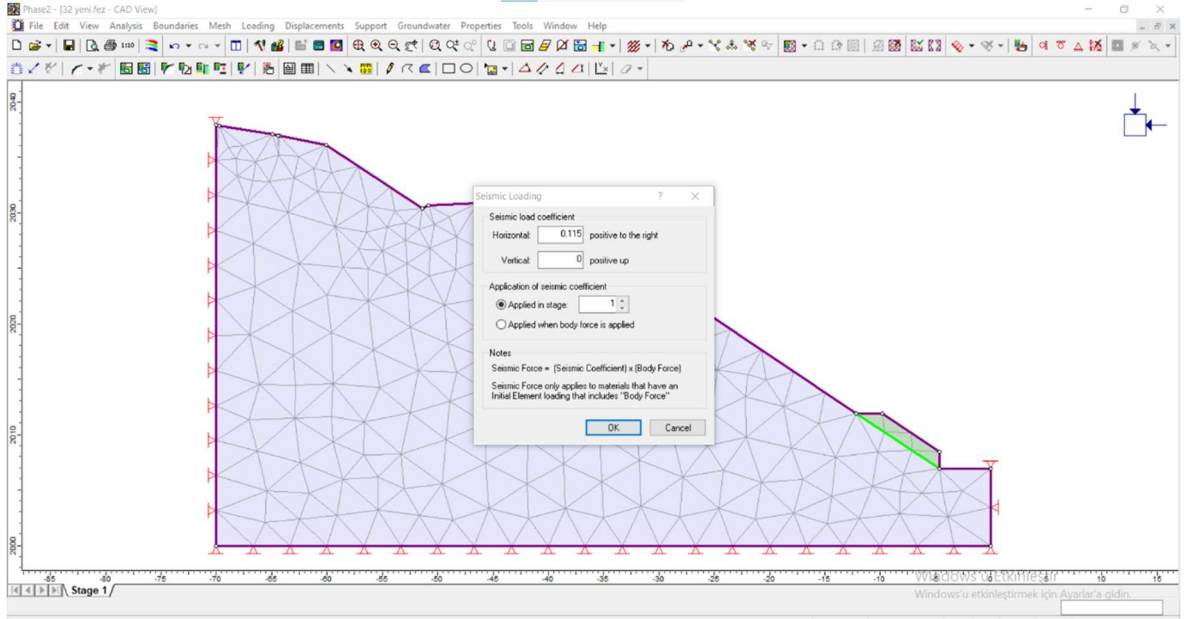
Üstteki analizden de görüleceği üzere sisteme şev topoğuna taş tahkimat tanımlayınca analiz sonuçlarında güvenli kritik değer 1.34, yani şev stabilitesi sağlandığı görülmektedir. En son olarak sisteme dinamik yük olan deprem yüklemesi de ekleyerek dinamik yük altındaki durumu gözlemleyeceğiz. Deprem yükü eklemek için sol üstte Loading/Seismic Loading/Horizontal yani yatay yük olarak 0.115 g deprem ivmesi yüklenerek aşağıdaki şekillerdeki sonuçlar alınmıştır.



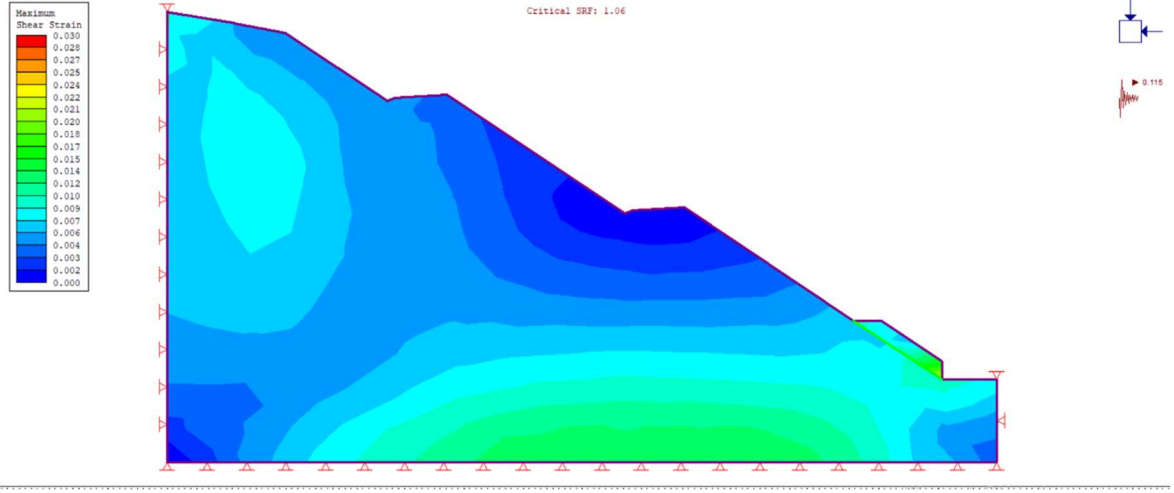
Şekil 51. Deprem yüklemesi



Şekil 52. Deprem yüklemesi



Şekil 53. Sisteme deprem ivmesi girilmesi



Şekil 54. Dinamik yük altındaki sonuç

Üstteki analizden de görüleceği üzere (güvenlik faktörü 1.06) dinamik yükler altında da analiz sonuçlarında güvenli yani şev stabilitesi sağlandığı görülmektedir.

4.2. Slide Programı (Likit Limit Prensibi) ile Analiz ve Çözüm Alternatifleri

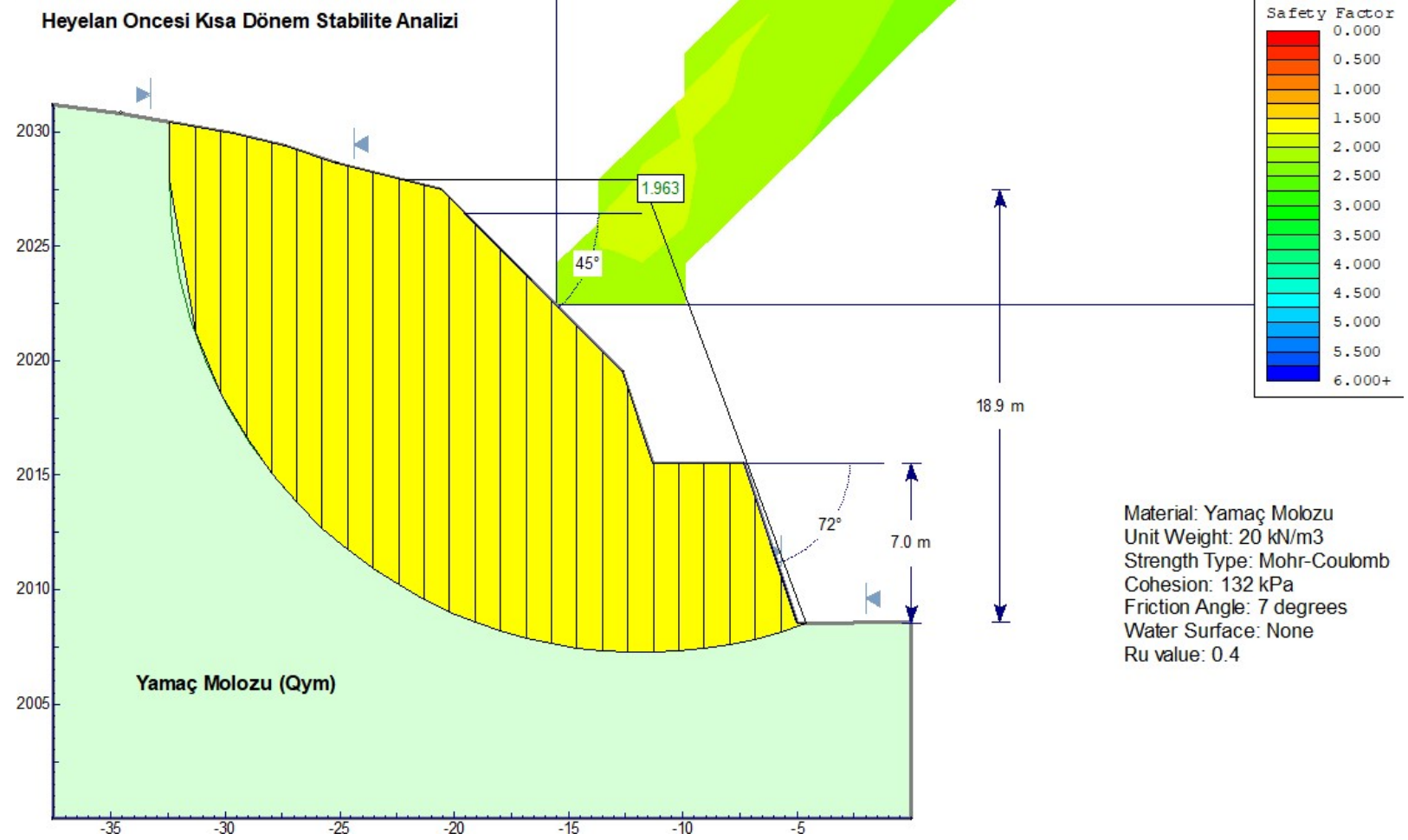
Slide programı kaya ve zemin mühendisliğinde kullanılan eğim stabilitesi analizi için geliştirilmiş limit denge yöntemi prensibi ile çalışan bir yazılımdır. Rocscience tarafından üretilen bu yazılım, geoteknik mühendislerinin şev (eğim) stabilitesi analizlerini yapmalarına yardımcı olur.

Slide programı geleneksel dilim yöntemiyle (Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, vb.) analiz yapar. Slide programında gerçekçi malzeme modeli verileri girilir (Kohezyon, kayma mukavemeti açısı, zemin cinsi, vb.). Buna göre şev stabilize analizi yaparak güvenlik katsayıları hesaplanır.

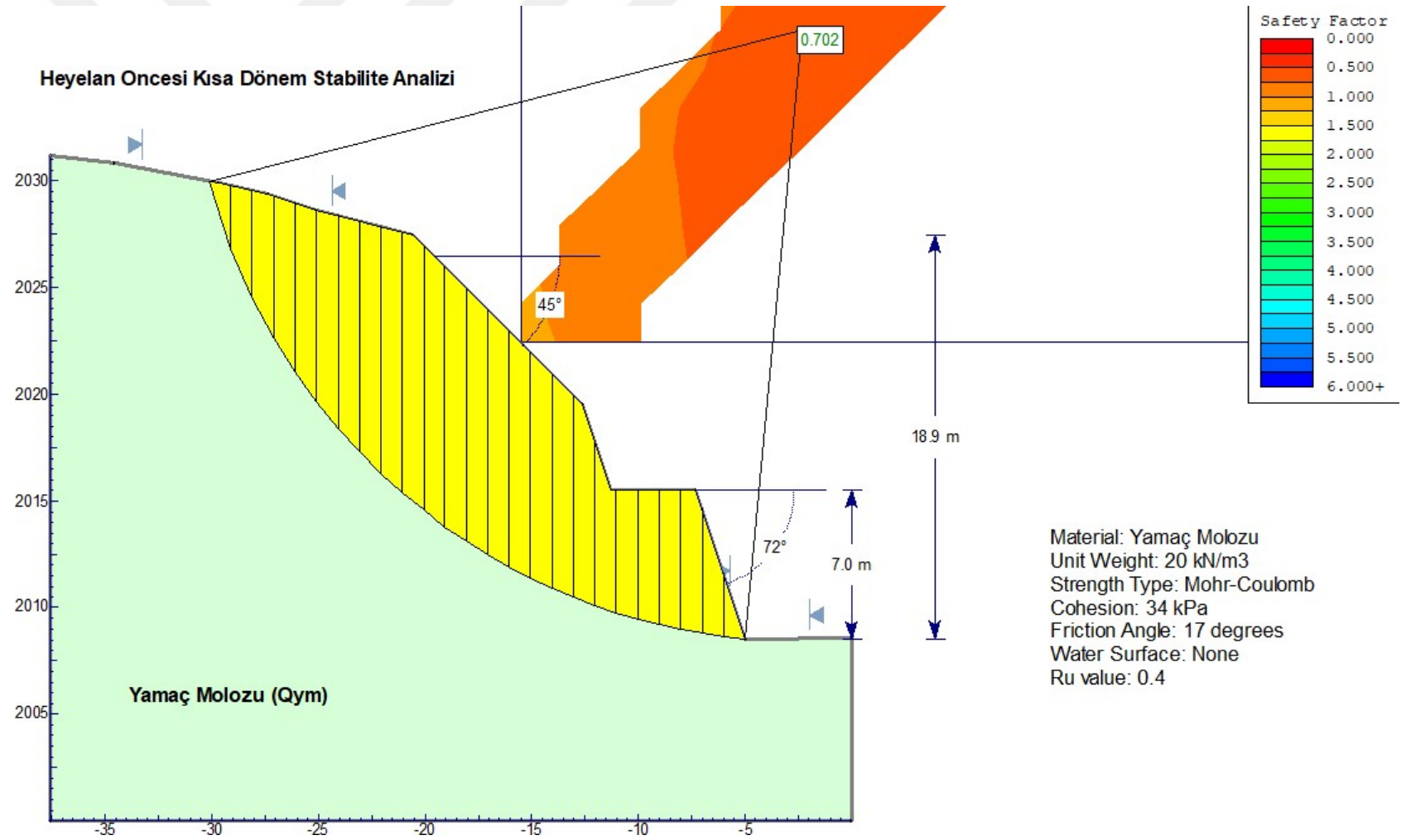
Ayrıca programda istenildiği (opsiyonel) takdirde deprem etkilerini ve dinamik yüklemeleri programa girilerek Dinamik Analiz de yapabilmeye imkan sağlamaktadır.

En kötü durumdaki dinamik analize göre çıkan sonuca göre iksa, kazık, geoteknik duvar, tahkimat gibi destekleme sistemleri yazılıma girerek şev güvenli hale getirilir.

Aşağıda heyelan kesitinin Slide Programında dilimlere bölünen model görülmekte olup, zemin parametreleri girilerek yapılan analiz sonuçları görülmekte ve en doğru çözüm önerisi belirlenmiştir.



Şekil 55. Km: 2+980 kesiti üzerinde yapılan heyelan öncesi kısa dönem stabilite analizi



Şekil 56. Km: 2+980 kesiti üzerinde yapılan heyelan öncesi uzun dönem stabilite analizi

Analizler yapılırken suyun etkisi hesaplanmış, birim için boşluk suyu basıncı eklenmiştir ($ru=0,4$). Yapılan analizlerde kısa dönem parametreleri ile oldukça yüksek güvenlik sayıları elde edilmiş, uzun dönem parametreleri ile duraylılık için yeterli güvenlik sayısının elde edilemediği görülmüştür.

Bu analizler kazılar tamamlandıktan hemen sonra şevin bir süre duraylılığını sağlayacağını ancak sonrasında yenilmenin kaçınılmaz olduğunu göstermektedir.

Analizlerde güvenlik sayıları sadeleştirilmiş bishop yöntemi ile yapılmış olup sadeleştirilmiş Bishop yönteminde kayma yüzeyinin dairesel ve dilimler-arası kuvvetlerin yatay olduğu kabul edilir. Dairenin merkezi etrafındaki moment dengesi ve her bir dilim için düşey yöndeki kuvvet dengesi sağlanır. Basitleştirilmiş bishop yöntemi analizi slide v6.020 programı yardımı ile yapılmış, hem kısa dönem hem uzun dönem güvenlik sayıları hesaplanmıştır.

Yukarıdaki şekillerde (Şekil 55. Ve Şekil 56.) sadeleştirilmiş bishop yöntemi ile yapılan analiz çıktıları sunulmuştur.

Ayrıca yöntemin daha iyi anlaşılması adına Sadeleştirilmiş Bishop yöntemi eşitliği verilmiş, 25 dilime bölünen şevlerden bir tanesi için (12 nolu dilim) elle analiz yapılmış, güvenlik sayısı hesaplanmıştır. Örnek hesaplama uzun dönem parametreleri ile yapılmıştır. Sadeleştirilmiş Bishop yöntemi eşitliği;

$$F = \frac{\sum \left[\frac{c \Delta l \cos \alpha + (W - u \Delta l \cos \alpha) \tan \emptyset}{\cos \alpha + (\sin \alpha \tan \emptyset) / F} \right]}{\sum W \sin \alpha} \quad (5)$$

Burada;

c ; Birime ait Kohezyon (kPa)

$\emptyset$; Kayma Mukavemeti Açısı ($^{\circ}$)

Δl ; Dilim Genişliği (m)

u ; Boşluk Suyu Basıncı

α ; Şev Eğimi

W ; Dilim Ağırlığı

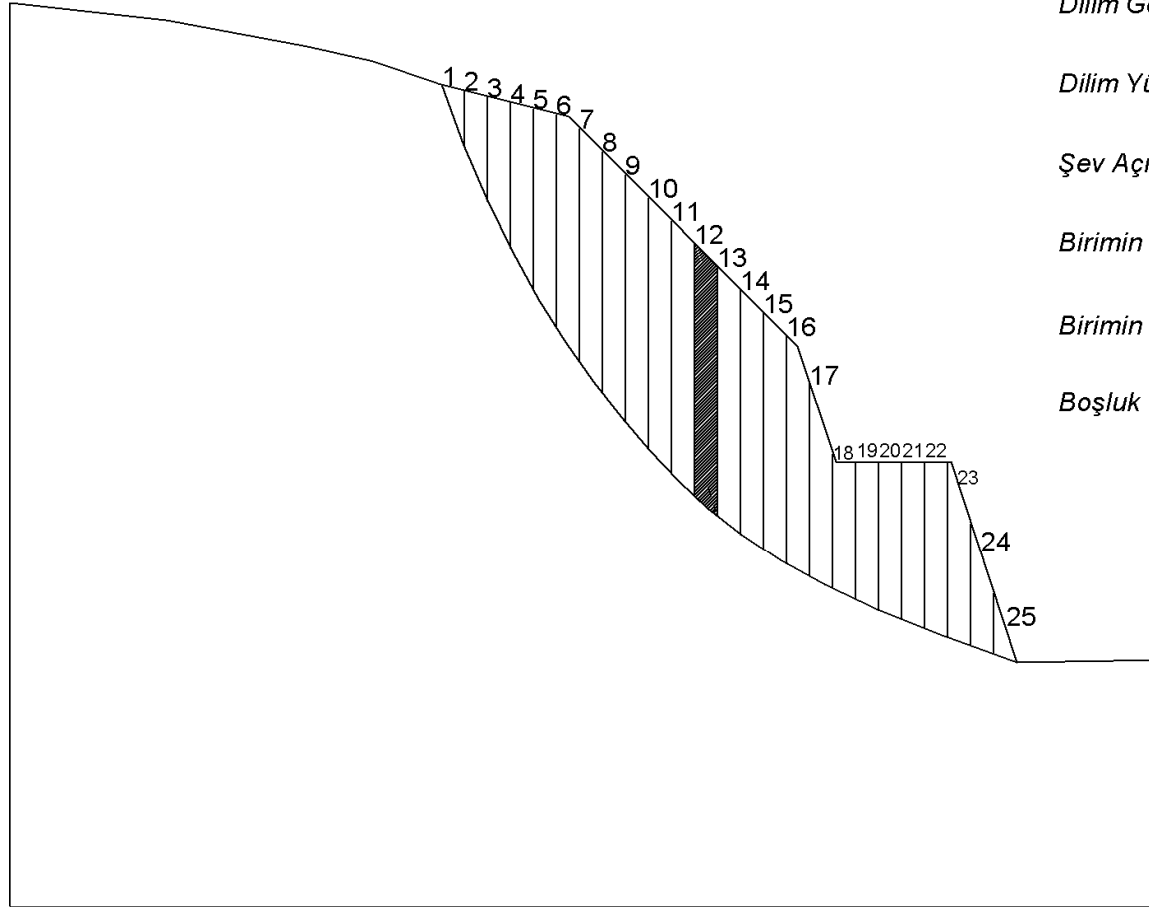
F ; Güvenlik Katsayısı

olup değerler yerine konacak olursa;

$$F = \frac{\sum \left[\frac{c(34)Al(1,004)\cos\alpha(35) + (W(240,927) - u(95,956)Al(1,004)\cos\alpha(35))\tan\theta(17)}{\cos\alpha(35) + (\sin\alpha(35)\tan\theta(17))/F(1)} \right]}{\sum W(240,927 \sin\alpha(35))} \quad (6)$$

Yukarıdaki denklemde güvenlik sayısı 0,56 bulunmuştur. Bu sonuç tek bir dilime ait olup, büyük dilimlerden birine aittir. Tüm dilimlerin ortalaması alındığında güvenlik sayısı yükselecektir. Analiz modeli ve kullanılan parametreler aşağıdaki şekilde sunulmuştur.





DİLİM NO: 12

Dilim Ağırlığı,	$W;$	240,927	kN
Dilim Genişliği,	$\Delta x;$	1,00432	m
Dilim Yüksekliği,	$h;$	11,8	m
Şev Açısı,	$\alpha;$	35	°
Birimin Kohezyonu,	$c;$	34	kPa
Birimin İçsel Sürtünme Açısı,	$\phi;$	17	°
Boşluk Suyu Basıncı,	$u;$	95,956	kPa

Şekil 57. Km: 2+980 kesiti üzerinde elle yapılan analize ait 12. dilim bilgileri ve görünümü

Laboratuvardan elde edilen sonuçlar her ne kadar bize yenilmenin kaçınılmaz olduğunu gösterse de gerek örneklemede yapılabilecek hatalar, gerek laboratuvarda arazi ortamının bire bir yansıtılamaması gibi durumlar optimum mühendisliğin yapılabilmesi adına parametrelerin teyidini zorunlu bırakmaktadır.

Heyelanlı ortamlarda birime ait parametre tahmininde kullanılabilecek önemli yöntemlerden bir tanesi “GERİ ANALİZ” yöntemidir.

Geri analiz yöntemi yenilmeye uğramış bir şev için yenilmenin nedenlerini araştırmaya yönelik güvenilir bir yöntemdir. Ancak geri analiz yönteminin doğru bir şekilde çalışması için önemli bir nokta vardır ki buda heyelan geometrisinin doğru bir şekilde ortaya konulmasıdır. Heyelanın tacı, topuğu, kayma derinliği, kayma düzlemi ne kadar doğru bir şekilde belirlenebilirse elde edilen parametreler gerçeğe o kadar yaklaşmaktadır.

Burada önemli olan hususlardan bir tanesi de geri analizin yenilme olmadan önceki topografik koşullarda yapılmasıdır. Sonuç olarak geri analiz yöntemi güvenlik sayısının 1’e eşit olduğu ve yenilmenin neden gerçekleştiğinin araştırılmasına yönelik bir çalışmadır ve zaten yenilmiş bir yüzeyde yapılmasının mantığı olmamaktadır.

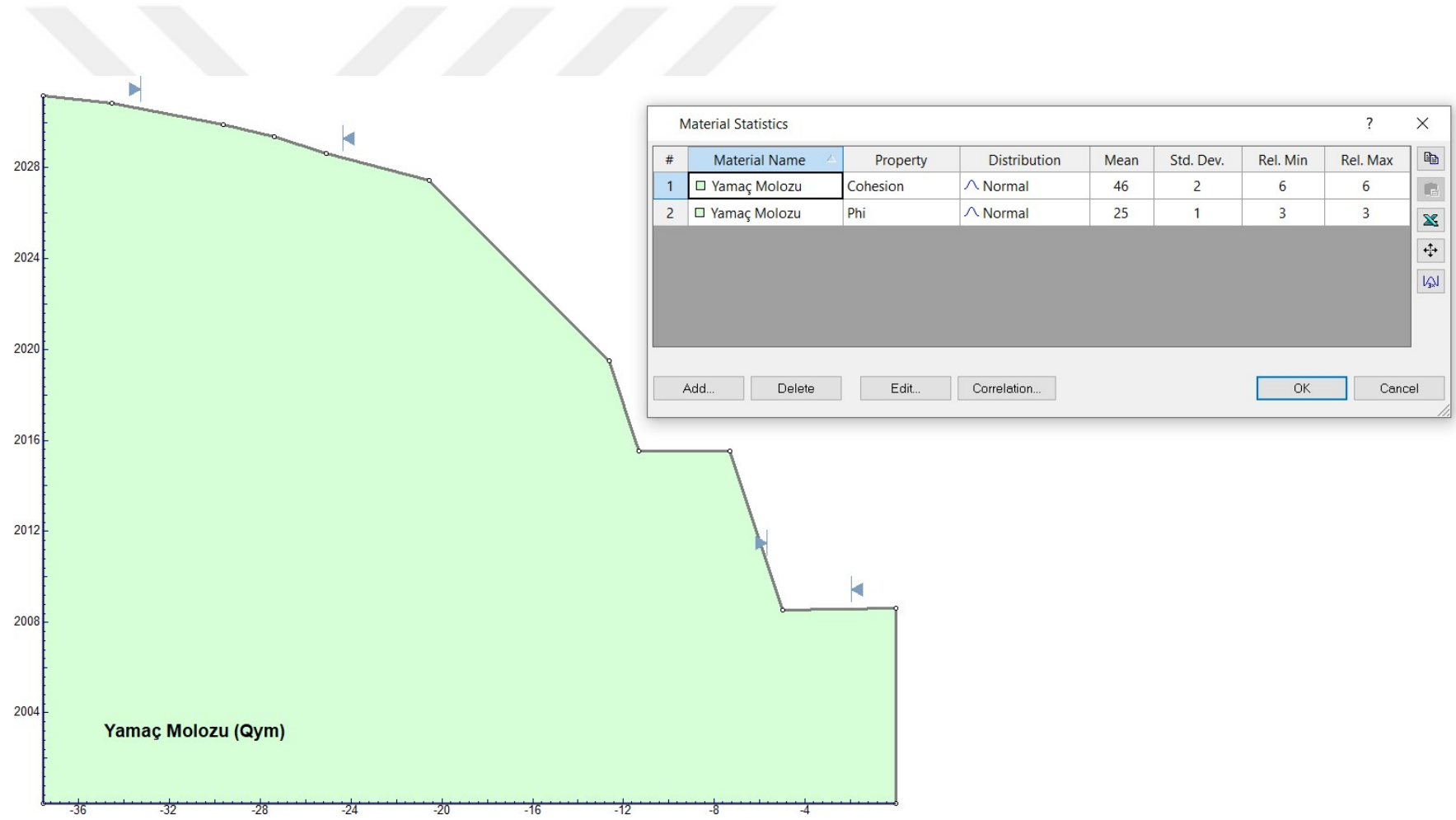
Heyelan sahasında elimizde hem ilksel topoğrafya, hem heyelan sonrası topografya bulunmakta olup heyelanın taç ve topuk kısmı açıkça görülmektedir. Ayrıca yapılan analizlerde duraylılık probleminin uzun dönem parametreleri ile oluştuğu görülmüştür.

Yukarıdaki tüm koşullar dikkate alınarak geri analizler olasılıklı geri analiz yöntemi kullanılarak slide v6.009 programı ile yapılmıştır. Bu analiz yönteminde program bize tahmin ettiğimiz dayanım parametrelerine belirli bir aralık verme şansı tanımakta, bizim belirlediğimiz geometrik koşullar ve parametre aralıkları ile istediğimiz sayıda analizi otomatik olarak gerçekleştirme ve sonuçları grafiksel olarak yorumlamamıza olanak sağlamaktadır.

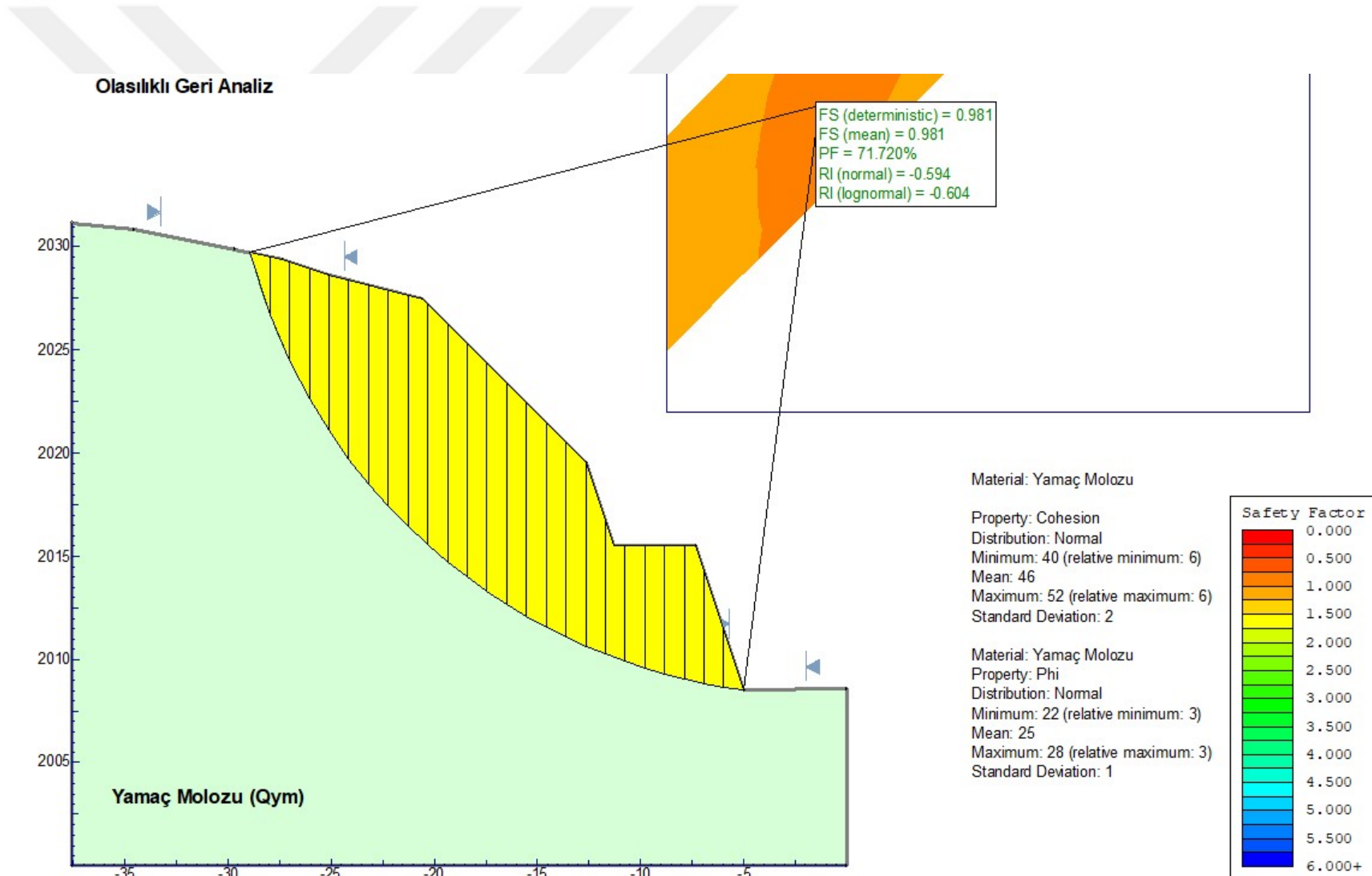
Laboratuvardan elde ettiğimiz parametrelerle yaptığımız analizlerde uzun dönem için güvenlik sayısı 0,7 olarak bulunmuş olup, kayma 1’in hemen altında oluşacağı için gerçekte bu parametrelerin biraz daha yüksek olacağı düşünülmüştür. Bu öngörüler doğrultusunda geri analizlerde kullandığımız parametre tahminlerimiz;

- Kohezyon, (c) 46 ± 6 kPa
- Kayma Mukavemeti Açısı, ($^{\circ}$) $25 \pm 3^{\circ}$

şeklinde olmuş ve oluşturulan model üzerinde 5000 adet geri analiz gerçekleştirilmiştir.



Şekil 58. Geri analiz modeli



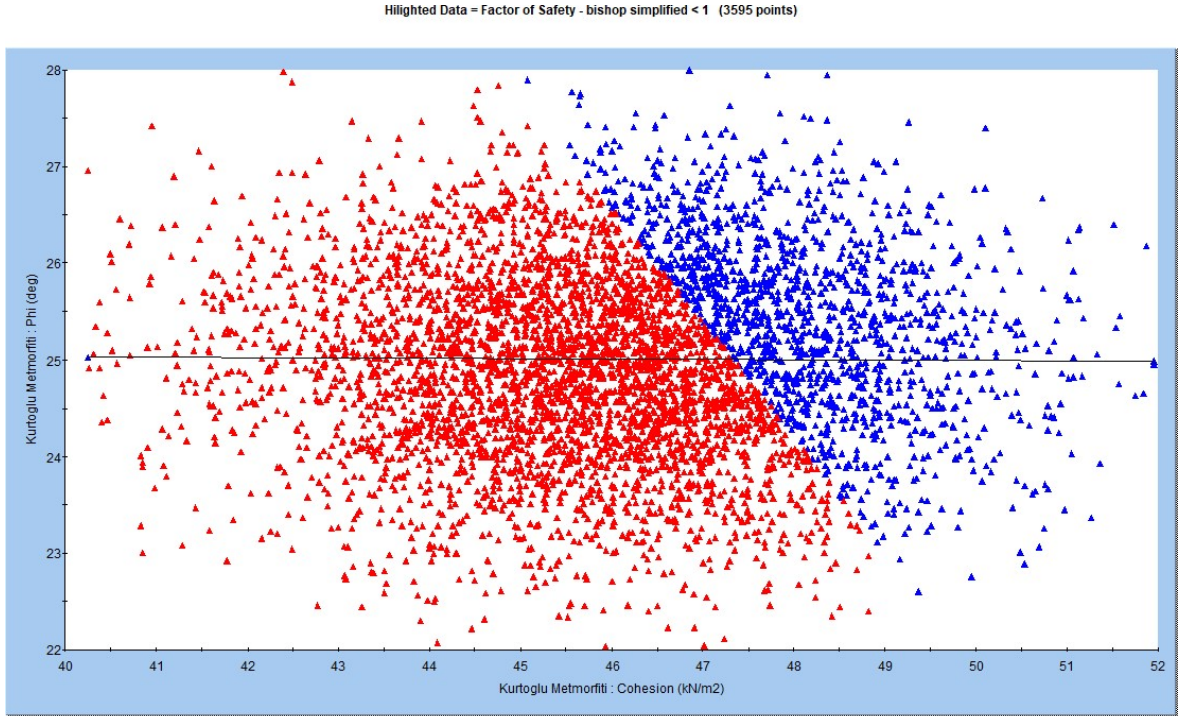
Şekil 59. Geri analiz sonucu

Olasılıklı geri analiz yönteminde program bize birkaç farklı sonuç sunmaktadır. FS (deterministic) değeri bizim tam olarak tahmin ettiğimiz değerle ($c=46\text{kPa}$, $\phi=25^\circ$, $\gamma=20\text{kN/m}^3$) yapılan analizin sonucu olup 0,981'dir. FS (mean) ise belirtilen aralıkta 5000 analizden elde edilen güvenlik sayılarının ortalaması olup 0,981'dir. PF (Probability failure) değeri güvenlik sayısı 1'in altında kalan analizlerin 1'in üstünde olanlara oranı olup yenilme olasılığı yüzdesidir. RI değeri analizin güvenliği ile ilgili bir değer olup daha çok iyileştirmeden sonra yapılan olasılıklı analizlerde dikkat edilmesi gereken bir değerdir.

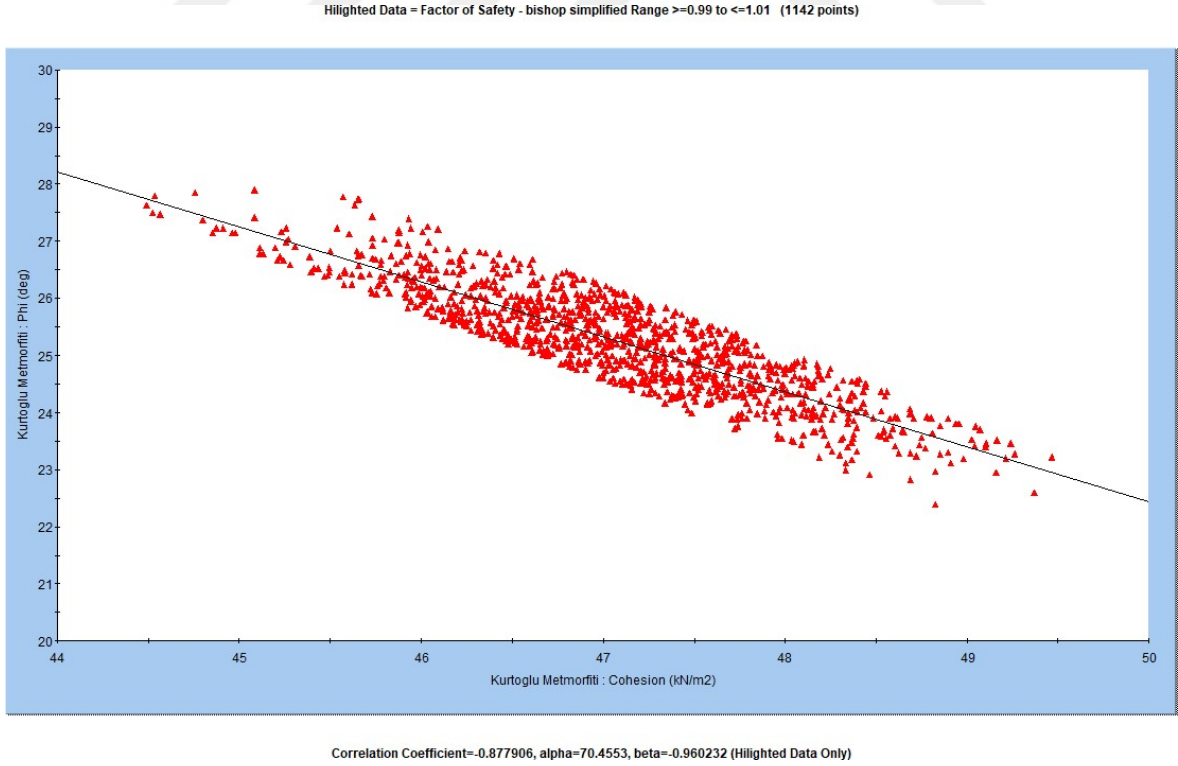
Olasılıklı geri analiz yöntemini biraz daha açıklayacak olursak, program bizim belirlediğimiz model üzerinde (kayma yüzeyi, taç, topuk vb.) bizim verdiğimiz parametre aralıklarında değiştirerek 5000 adet analiz yapmaktadır. Elde edilen sonuçların grafikleri yardımı ile de yüzeye ait en doğru makaslama dayanım parametrelerini elde etmemize olanak sağlamaktadır.

Bu model için kohezyon değeri 39-52 kPa arasında, kayma mukavemet değeri 22° - 28° arasında değişen 5000 adet analiz yapılmıştır.

Yapılan 5000 adet analizde kullanılan c - ϕ çifti bir grafik üzerine işlenmiş, bu grafikte kırmızı renkle belirtilen analizlerde güvenlik sayısı <1 , mavi ile belirtilenler ise güvenlik sayısı ≥ 1 olarak bulunmuştur.



Şekil 60. Geri analiz sonucu c- ϕ dağılımı grafiği



Şekil 61. Geri analiz sonucu G.S. = 0.99-1,01 aralığı-c- ϕ dağılımı grafiği

Olasılıklı geri analiz yönteminde güvenlik sayısının 1 veya 1'e en yakın olduğu durumları araştırdığımızdan dolayı bu 5000 sonucun içerisinde güvenlik sayısının 0,99 - 1,01 arasında kalan kesimleri ayrıştırılarak yeni bir grafik oluşturulmuş ve bir regresyon eğrisi elde edilerek birime ait en uygun veri çiftleri elde edilmeye çalışılmıştır. Bu regresyon eğrisinde her kohezyon değerine karşılık gelen bir kayma mukavemeti açısı değeri vardır ve kayma yüzeyine ait makaslama dayanım parametrelerinin bu aralıkta olduğunu kabul etmek yapılacak duraylılık analizleri için doğru olacaktır. Sonuç olarak heyelan sahasında bulunan Yamaç Molozu'na ait birimin makaslama dayanım parametrelerinin;

- Kohezyon, c ; 45-48 kPa
- Kayma Mukavemeti Açısı, ϕ ; 23° - 27°

aralığında değişim gösterdiği anlaşılmaktadır.

5. HEYELANA AİT ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Aşağıda Şekil 62’de görülen heyelanın taç kısmı, yol ekseninin 25-30 metre gerisine kadar gitmekte daha da gerisinde gerilme çatlakları görülmektedir.



Şekil 62. Heyelanın taç kısmı

En ekonomik ve güvenilir çözüm bu malzemenin tamamen kaldırılmasıdır. Bu amaçla km:2+980 kesiti üzerinde kazı planı yapılmış, kayma dairesinin altına inebilecek şekilde şev açıları belirlenmiştir.

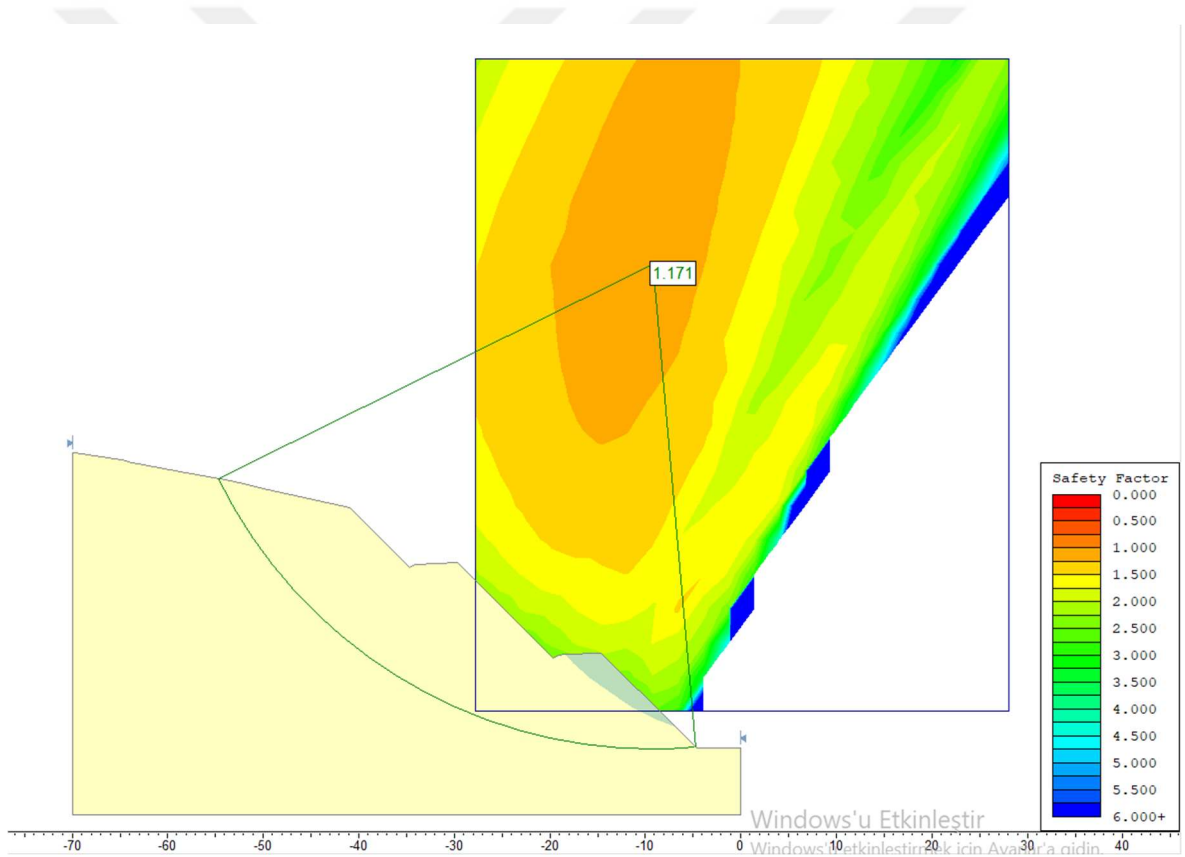
Geometrik olarak en uygun şev açısının 3Y/2D olduğu görülmüş (*ayrıca daha dik açılan şevlerde görülen stabilite sorunları şevin daha yatık açılması gerekliliğini doğurmaktadır*), topuğun güçlendirilmesi, malzemenin akmasının önlenmesi adına önüne istifli taş tahkimat yapılmasının da uygun olduğu hem Phase hem de Slide programlarında çalışılan alternatifler arasından da en uygun olduğu görülmüştür.

Tahkimat ayrıca heyelan potansiyeli olan birimde ileride oluşacak küçük stabilite problemlerini ve akmaları bertaraf edecek, aynı zamanda topuk oluşturacaktır.

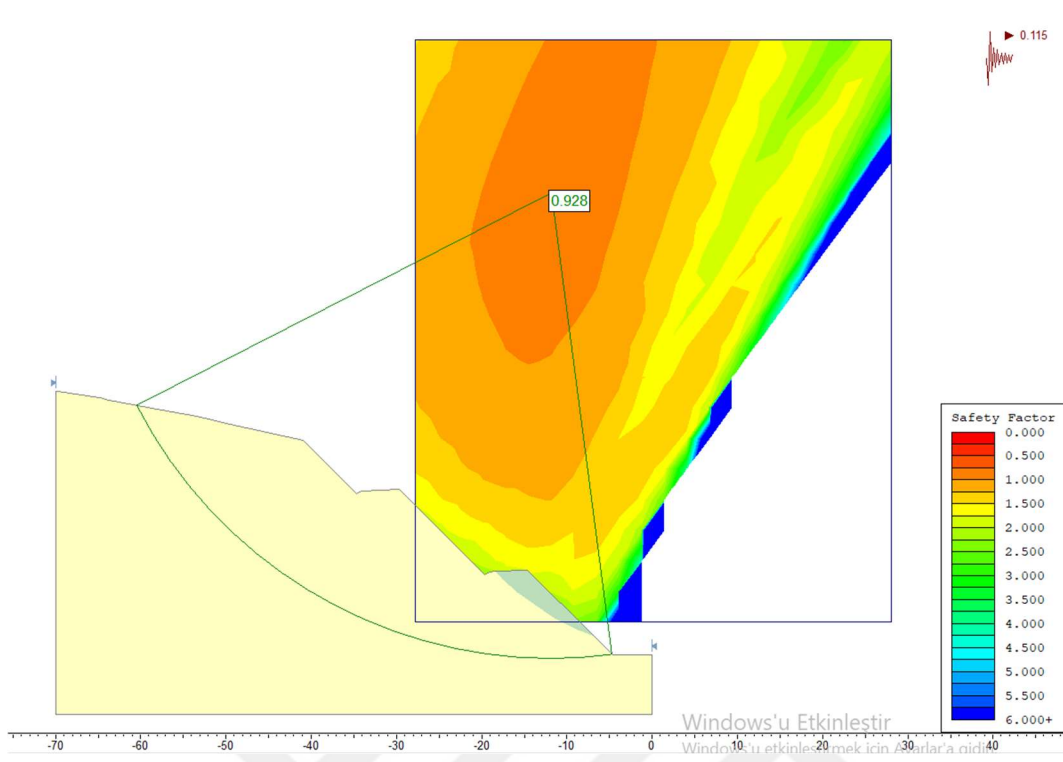
Oldukça yağış alan ve yılın belli zamanlarında kar altında kalan bölgede drenaj hendeğinin yapılması uygun olacaktır. Bu hendekler aynı zamanda kar yağdığında gerektiğinde karın atılması ve yolu açılması için de kullanılabilir.

Önerilen kesit aşağıda (Şekil 63. Ve Şekil 67.) verilmiş olup bu kazı planına ait stabilite analizleri daha önce PHASE 2 de yapmıştık, şimdi ise aşağıda Slide v6.020 programı ile yapılmıştır.

5.1. Tahkimatsız Durum Analizi (1Y/1D)

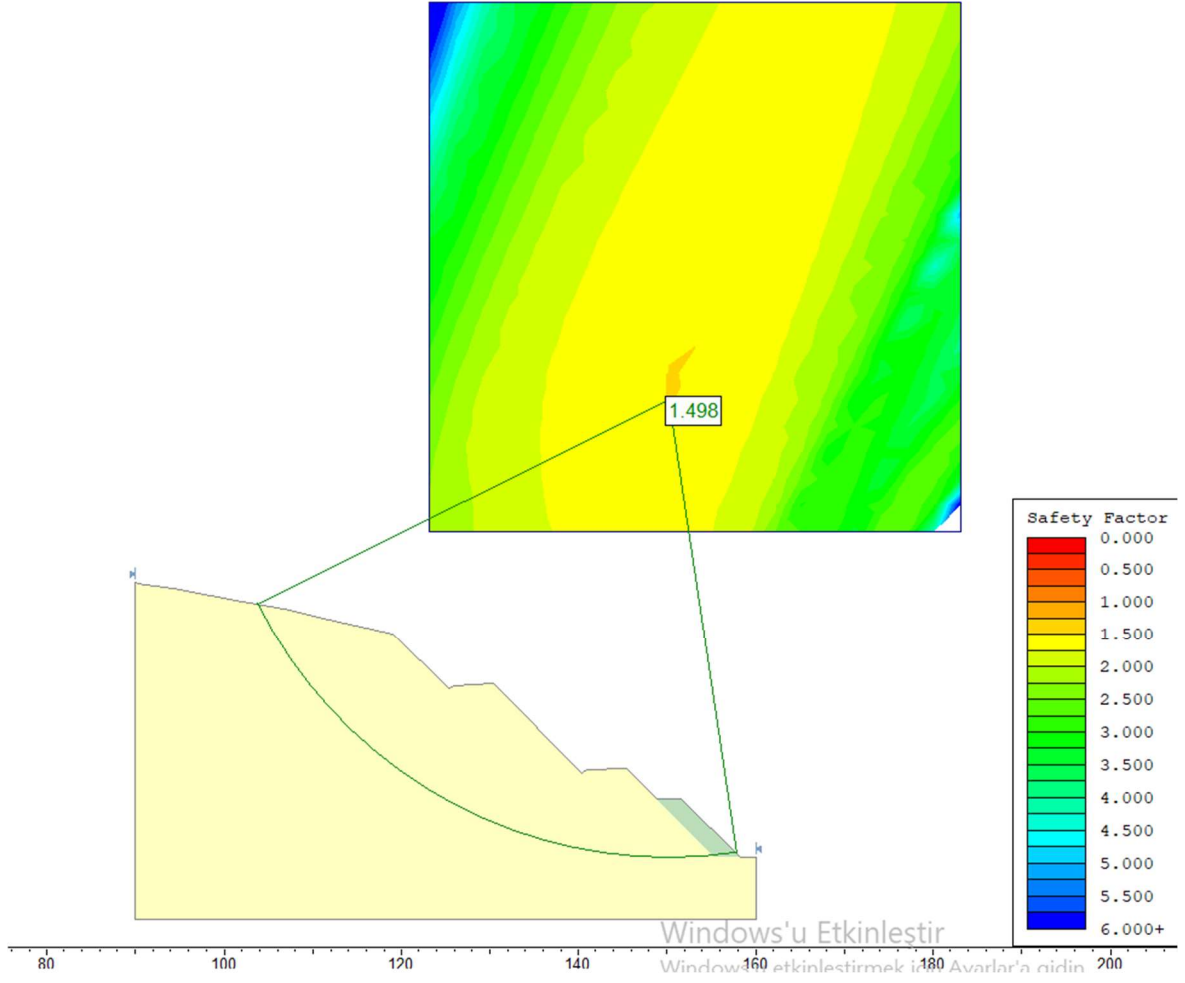


Şekil 63. Önerilen projeye ait statik durum uzun dönem stabilite analizi

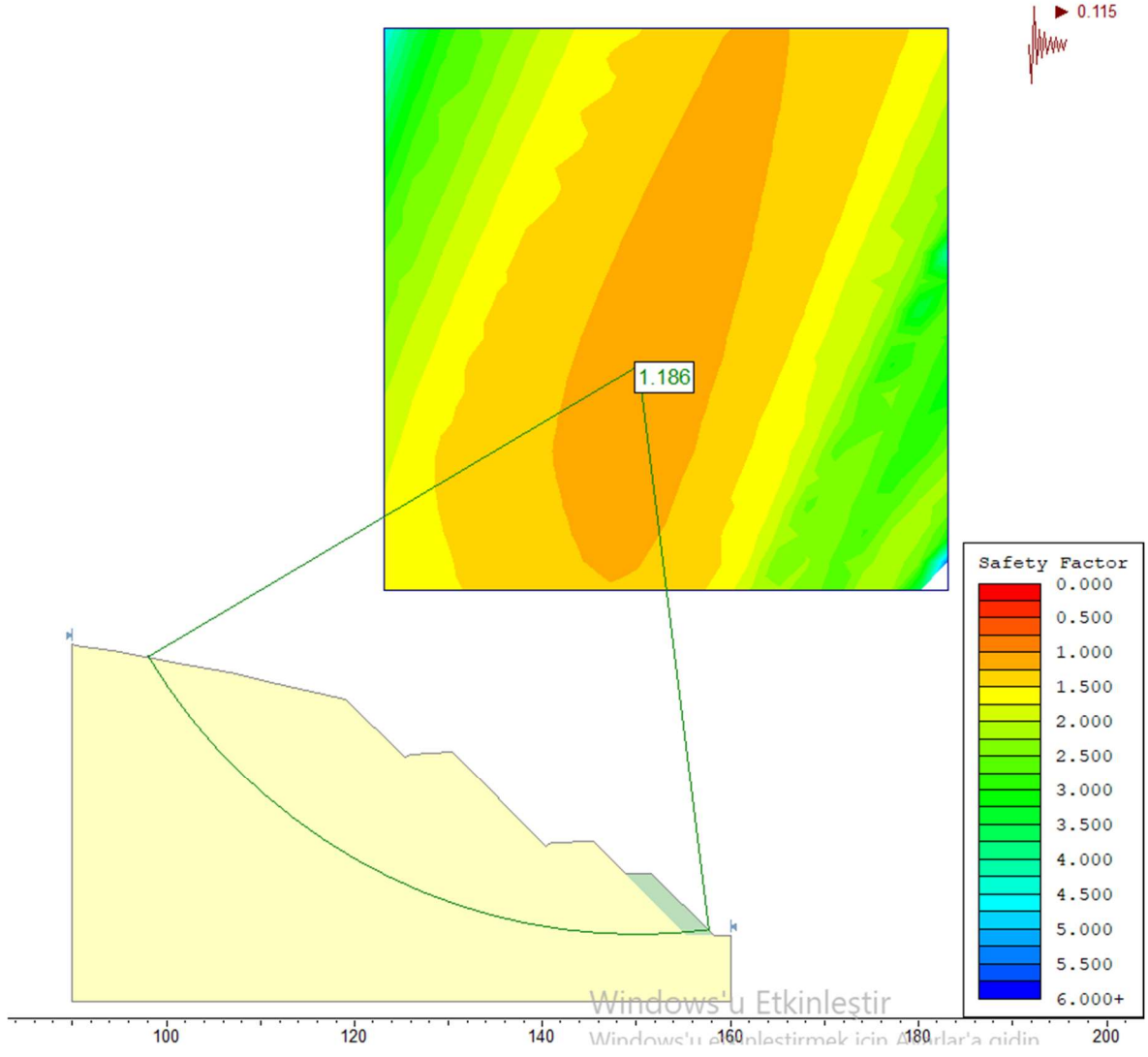


Şekil 64. Önerilen projeye ait dinamik durum uzun dönem stabilite analizi

5.2. Tahkimatlı Durum Analizi (1Y/1D)

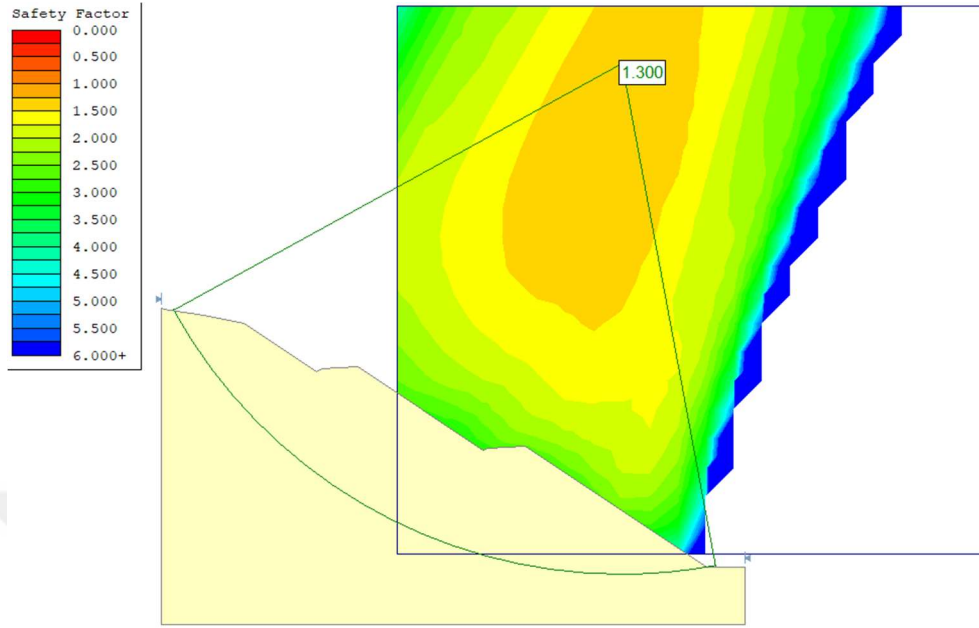


Şekil 65. Önerilen projeye ait statik durum uzun dönem stabilite analizi

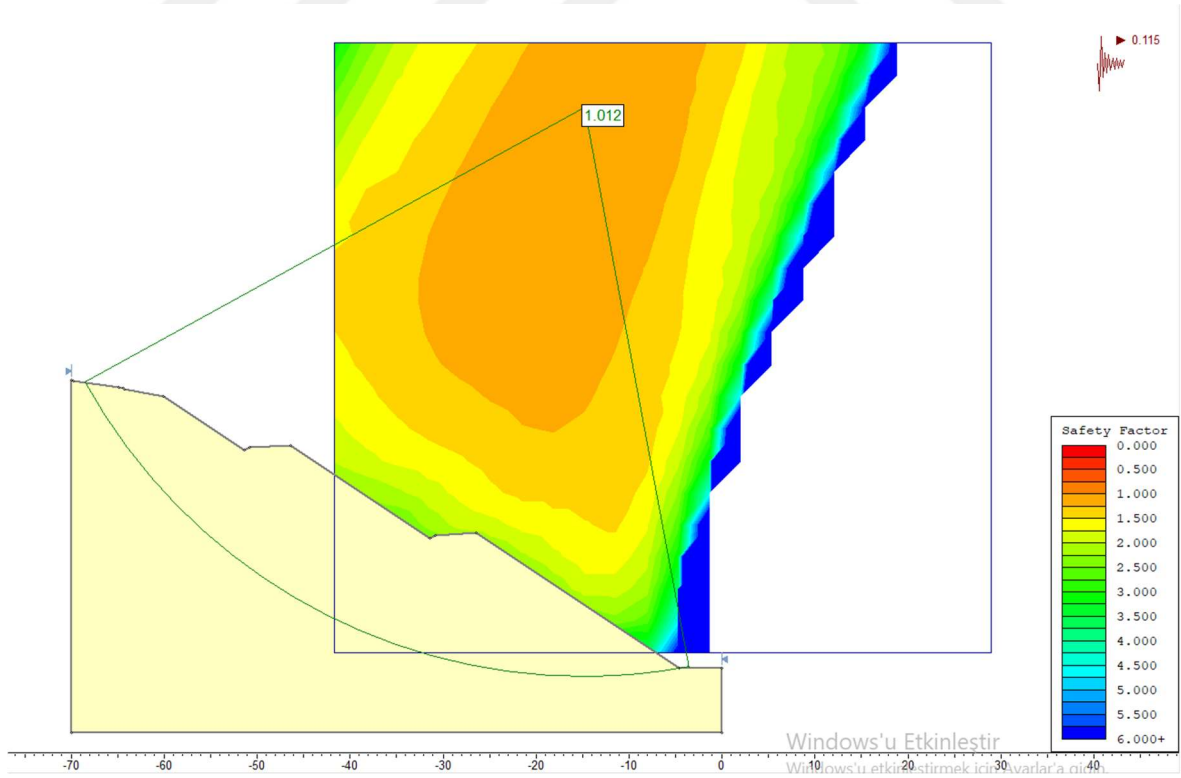


Şekil 66. Önerilen projeye ait dinamik durum uzun dönem stabilite analizi

5.3. Tahkimatsız Durum Analizi (3Y/2D)

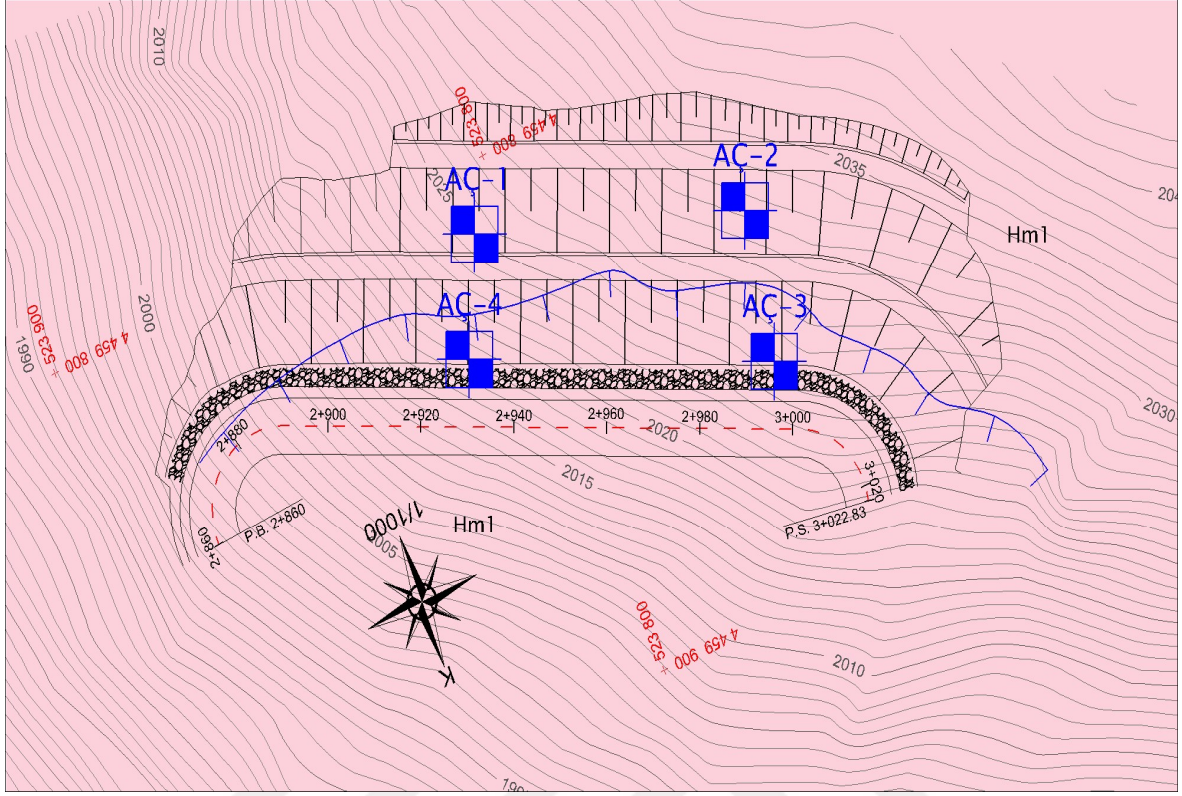


Şekil 67. Önerilen projeye ait statik durum uzun dönem stabilite analizi

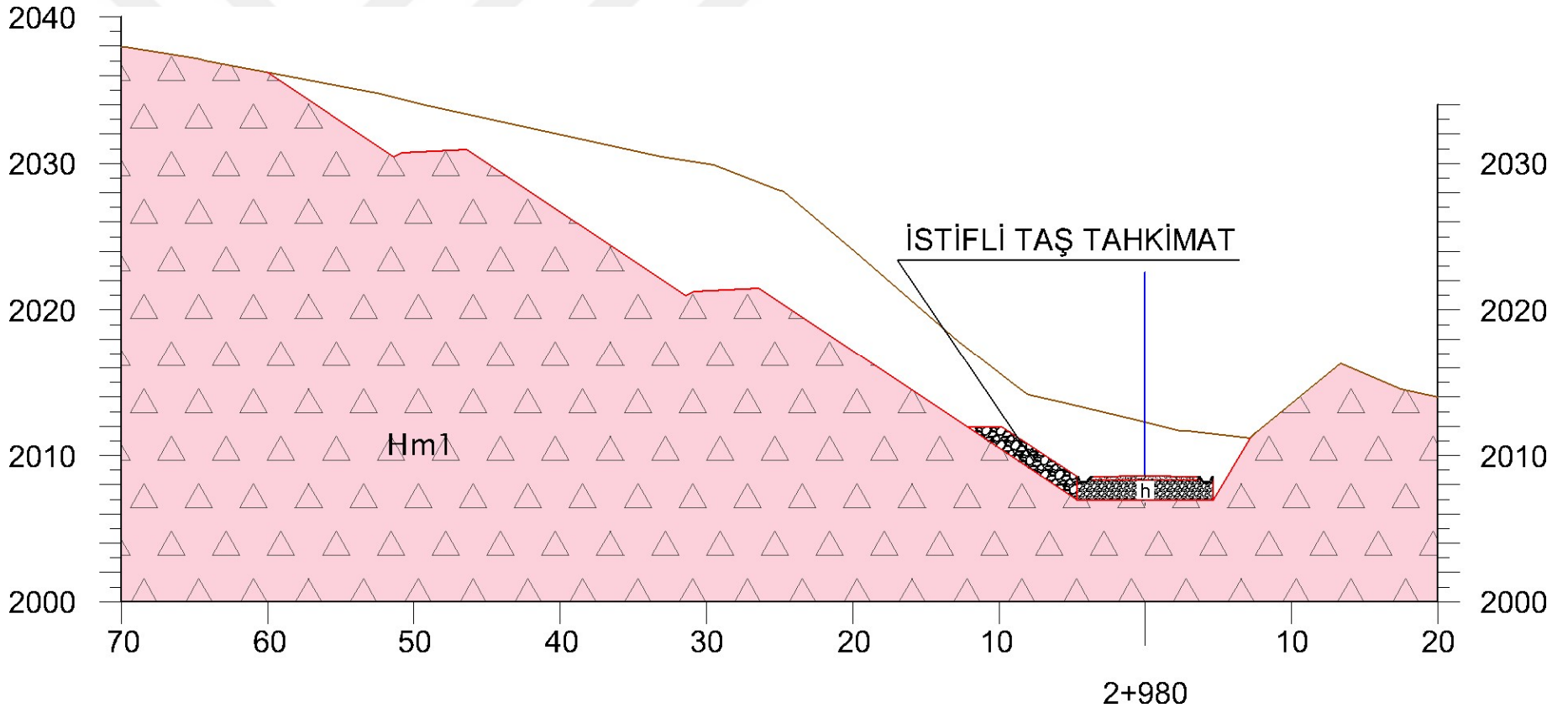


Şekil 68. Önerilen projeye ait dinamik durum uzun dönem stabilite analizi

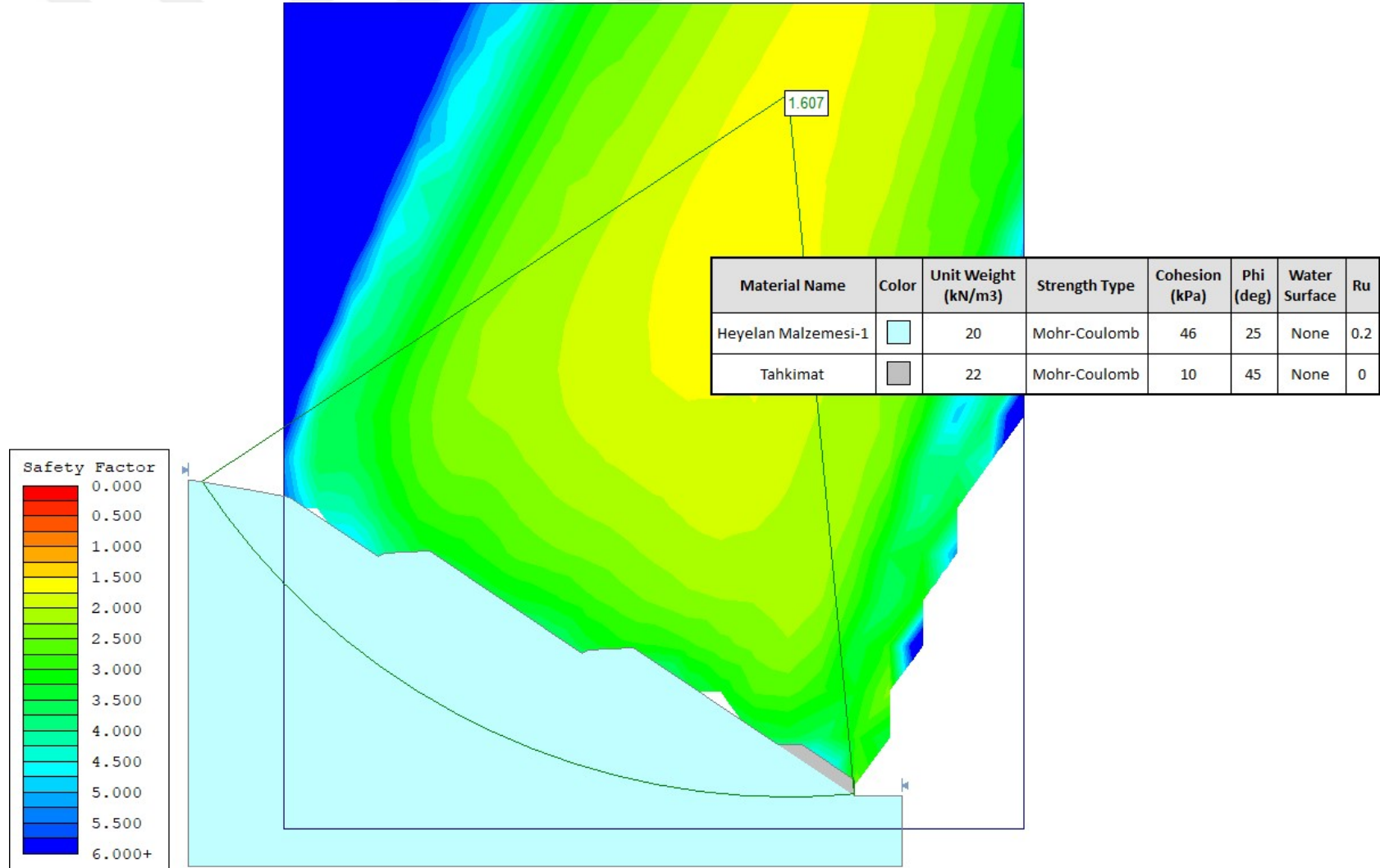
5.4. Tahkimatlı Durum Analizi (3Y/2D)



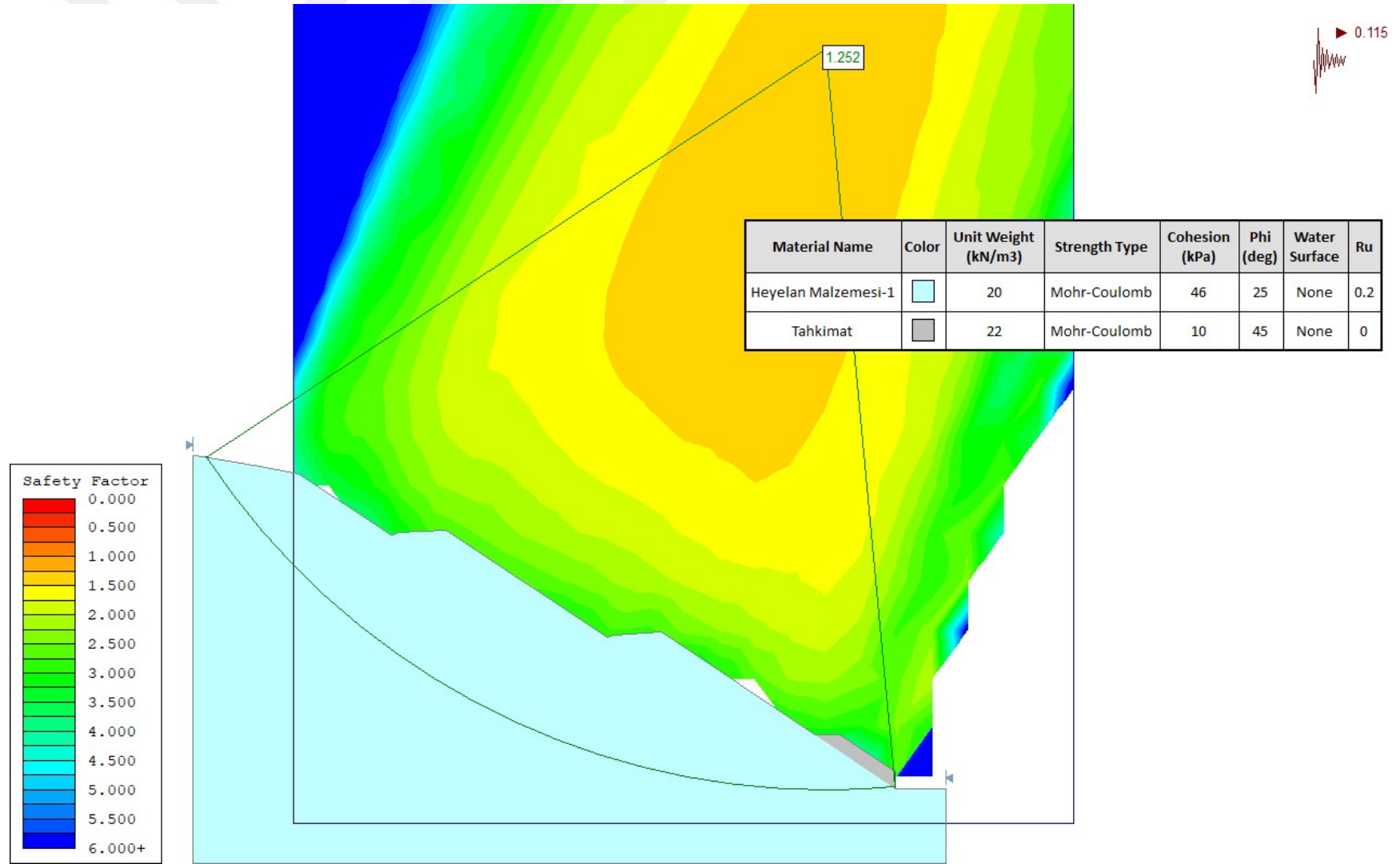
Şekil 69. Önerilen kazıya ait plan görünümü



Şekil 70. Önerilen 1 kazıya ait kesit görünümü



Şekil 71. Önerilen projeye ait statik durum uzun dönem stabilite analizi



Şekil 72. Önerilen projeye ait dinamik durum uzun dönem stabilite analizi

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez Gümüşhane ili Çevrepınar ilçesinde meydana gelen heyelanın mekanizmasının ortaya konulması, birimlere ait parametrelerin belirlenmesi, duraylılık analizlerinin yapılması ve çözüm önerilerinin sunulması amacıyla hazırlanmıştır.

- Çalışma alanı Gümüşhane il sınırları içerisinde Şiran ilçesine bağlı Çevrepınar Köyü'nün yaklaşık 1,5km kuzeydoğusunda yer almaktadır. Çevrepınar Gümüşhane il merkezine 75, Şiran ilçesine 20km uzaklıktadır.
- Çalışma alanı Kuvaterner yaşlı, kil, kumlu kil ve çakıllı kilden oluşuk yamaç molozu içerisinde yer almaktadır.
- Heyelan sahasında beklenen deprem ivmesi $PGA_{475} = 0.229g$ olup sanat yapıları için bu değerin, toprak yapıları için bu değerin yarısının kullanılması önerildiğinden stabilite analizlerinde 0,115g ivme değeri kullanılmıştır.
- Çalışma alanında 4 adet araştırma çukuru açılmış, bu çukurlardan elde edilen numuneler üzerinde birim hacim ağırlık, üç eksenli sıkışma dayanımı ve kesme kutusu dayanımı deneyleri yapılmıştır.
- Heyelan alanına ait mevcut durum değerlendirmesi yapılmış, ilksel proje üzerinden stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde laboratuvarından elde edilen uzun dönem parametreleri ile stabilitenin sağlanamadığı görülmüş, nitekim heyelanında bundan dolayı meydana geldiği kanaatine varılmıştır.
- Laboratuvarından elde edilen parametrelerin teyidi amacıyla olasılıklı geri analiz modeli oluşturulmuş, parametrelerin laboratuvarından bir miktar daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Sonrasında yapılan çalışmalarda bu parametreler kullanılmış, farklı çözüm önerileri denenmiş, en ekonomik ve güvenilir yöntem seçilerek uygulanması önerilmiştir.
- Çukurlarda her ne kadar mevsime bağlı olarak yer altı suyu ile karşılaşmadığı dönemler olsa da bölgenin aşırı yağışlı olması birimin her zaman için su taşıma potansiyelinin olduğunu göstermektedir. Bu nedenle analizler yapılırken bu durum ihmal edilmemiş, ortalama bir boşluk suyu basıncı hesaplara dahil edilmiştir.

- Phase ve Slide programlarında en son çalışılan analizde (0.115g) ivmeli depremli durumda dahil güvenlik katsayısı 1.06 çıkan alternatif çalışma uygun görülmüş olup, meydana gelen heyelan için şevlerin 3Y/2D olacak şekilde 5m genişliğinde palyelendirilerek açılması, önüne istifli taş tahkimat yapılması önerilmektedir.
- Yolun duraylılığının sağlanması, yağışlı zamanlarda araçların hareket kabiliyetlerinin engellenmemesi adına yol platformunun duvar taban kotuna kadar kazılarak ocak malzemesi ile blokaj yapılması uygun olacaktır. Aksi takdirde killi yapıda olan birim içerisinde yapılacak eğimli stabilize yol zamanla hem erozyon ile deforme olacak hem de araçların çıkışını çok zor hale getirecektir.
- Yapılan kazı planı ile heyelan malzemesinin tamamen kaldırılması planlanmaktadır. Kazı üst kottan başlayarak proje kotuna doğru yapılmalı, kazı açık bekletilmeyerek hemen tahkimat inşası tamamlanmalıdır.

Yapılan bu çalışmalar birimin oldukça zayıf olduğunu göstermektedir. İleride yol tabanında sıkıntı yaşanmaması adına bu kesimde de iyileştirme yapılması ve/veya buna yönelik çalışmalar yapılması önerilmektedir. Yol tabanında heyelanla gelmiş malzemenin kaldırılarak altına kaya dolgu serilmesi, yol platformunun bu kaya dolgu malzeme üzerine inşa edilmesi uygun olacaktır. Son olarak bilgisayar programlarında yapılan analiz alternatiflerine ait güvenlik katsayılarından oluşan tabloda aşağıdadır.

Analiz Durumu	(1Y/1D) Şevde Güvenlik Katsayısı	(3Y/2D) Şevde Güvenlik Katsayısı
Tahkimatsız Durum Analizi Slide	1,171	1,3
Tahkimatsız Durum Analizi+Deprem Slide	0,928	1,012
Tahkimatlı Durum Analizi Slide	1,498	1,607
Tahkimatlı Durum Analizi+Deprem Slide	1,186	1,252
Tahkimatlı Durum Analizi Phase	1,27	1,34
Tahkimatlı Durum Analizi+Deprem Phase	1,02	1,06

Tablo 3. Analiz Sonucu Güvenlik Katsayıları Tablosu

7. KAYNAKLAR

- AFAD, (2020). Türkiye Deprem Tehlike Haritası. Ankara: Ankara Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü.
- AFAD, (2020). 1900-20xx Deprem Kataloğu ($M \geq 4,0$). Ankara: Ankara Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü.
- Akbulut, İ., (2012). Şev Duraylılığı. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Ataş, P., (2017). Landslide Assessment And Stabilization Study Along The Tarsus – Çamlıyayla Provincial Road At KM: 11+640 – 12+080, M. Sc. Thesis, The Middle East Technical University, The Graduate School of Natural And Applied Sciences, Ankara
- Bıçakçı, O. ve Özgür, Ö., (1995). Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki karayolu heyelanları ve önleme metotları. 3.Ulaştırma Kongresi, s. 393-406. İstanbul.
- Bozkurt, S., (2019). Geoteknik Risk Analizinde Sonlu Elemanlar Teorisinin Kullanımı: Destekli Derin Kazılar İçin Bir Uygulama. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Cevher, F.S.M., (2021). Şev Stabilesi ve Şevlerin Güvenli Hale Getirilmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- Coduto, D. P., (2006). Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamalar. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Çopan, M., (2020). Derin Kazılı İksa Sisteminin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi: İstanbul – Basf Teknopark Örneği. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Dikmen, M., (2013). Kil Zemine Oturan Temellerin Oturma ve Taşıma Gücü Davranışına Geotekstil Takviyesinin Etkisinin Deneysel ve Plaxis 3D Programıyla İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- D.M.İ. (2020, Aralık) Resmi İstatistikler (İllerimize ait istatistiki veriler): <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme.ilveilceleristatistik.aspx?k=undefined&m=GUMUSHANE> adresinden alınmıştır.
- Duncan, J. M. ve Wright, (2005). Zemin Şevlerinin Duraylılığı. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Erol, G. A., (2018). Şev Stabilesi Problemlerinin Teorik ve Uygulamalı Olarak Araştırılması: Bakırdağ Heyelanı Vaka Analizi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.

- Halat, B. S., (2016). Derin Kazılarda Zemin Çivili Destek Sistemlerinin Sonlu Elemanlar Analiz Programı ile Değerlendirilmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Hatinoğlu, M.S., (2021). Derin Kazıların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modellemesi ve Analizi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Hunt, R.E., (2005). Geotechnical Engineering Investigation Handbook, Boca Raton: Taylor&Francis,
- Kabakçı, İ., (2017). Zemin Çivili Duvarların Tasarım İlkeleri ve Snap-2, Snailz, Plaxis, Slide Programları ile İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Karadağ, M.B., (2019). Çiftlikköy İlçesi Gençlik Caddesindeki Heyelanın Vaka Analizi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik.
- Kaynak, G., (2007). Uzungaya (Rize) Heyelanının Geoteknik İncelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Keleşoğlu, A. D., (2020). Sonlu Elemanlar Yöntem ile Heyelan Analiz: Kireçhane (Trabzon) Heyelanı Örneği. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Konuk, Ç., (2005). Şev Stabilitesi Analizi ve Şevlerde Deprem Etkisinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Korkutan, D., (2021). Şev Stabilitesi Bir Vaka Analizi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- Laman M., (2007). Zeminlerin Mekanik Davranışının Modellenmesi. Çukurova Üniversitesi, 25.Ulusal Mekanik Kongresi, s. 583-594. Isparta.
- M.T.A. (2008). 1/100000 Ölçekli Trabzon H42 Paftası. Ankara: Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- M.T.A. (2020, Temmuz) Yerbilimleri Harita Görüntüleyici ve Çizim Editörü: <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx> adresinden alınmıştır.
- Önalp, A. ve Arel, E., (2004). Geoteknik Bilgisi II Yamaç ve Şevlerin Mühendisliği. İstanbul: Birsan Yayınevi 1.Baskı
- Öz, D., (2007). Şev Stabilitesi ve Mühendislik Uygulamaları. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- Pehlivan, M., (2019). Cide-Özlüce-İnebolu Sahil Yolu Heyelanının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.

- Popescu, M. E. ve Sasahara, K., (2009). Landslides-Disaster Risk Reduction. Berlin Heidelberg: Springer.
- Şen, B., (2021). Bir Ankrajlı İksa Sistemi Geoteknik Tasarımda Malzeme Modeli Etkisinin İncelenmesi ve Aletsel Ölçüm Sonuçları ile Karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Turhan, M., (2018). Farklı Temel Tipleri İçin Betonarme Siloların Zeminlerde Oluşturduğu Etkilerin Plaxis Programı ile Belirlenmesi. Iğdır Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Iğdır.
- URL-1. (2020, Aralık) Gümüşhane Coğrafi Konum: <https://gumushane.csb.gov.tr/cografi-konum-adresinden-alinmistir>.
- Ün, B., (2019). Şev Stabilitesi ve Şev Hareketlerine Karşı Alınacak Önlemler. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Ünsal, N., (2005). İnşaat mühendisleri için jeoloji. Ankara: Alp Yayınevi

	Birim Sınırı
	Heyelan Sınırı
	Kayma Yüzeyi
	Araştırma Çukuru

Ek 2. Araştırma Çukur Listesi

No	SK No	Yer	Derinlik	Koordinat		
			(m)	N	E	Kot
1	AÇ-1	Heyelan Sahası	6,00	523807,0911	4459812,3011	2031
2	AÇ -2	Heyelan Sahası	6,00	523751,9029	4459831,1378	2031
3	AÇ -3	Heyelan Sahası	6,00	523756,6630	4459858,5433	2014
4	AÇ -4	Heyelan Sahası	6,00	523816,9652	4459832,5777	2015

ITRF96, 39°

Ek 3. Numuneler Üzerinde Yapılan Zemin Mekaniği Deneyleri

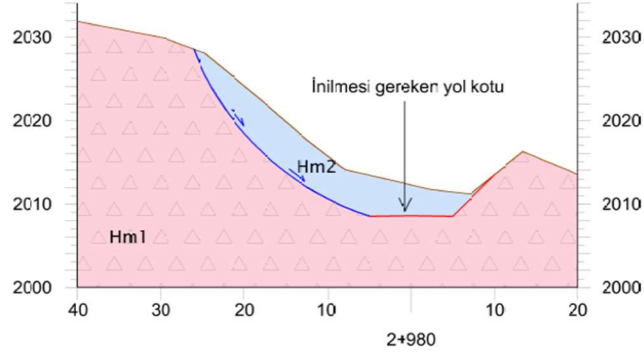
AÇ No	Numune Cinsi	Birim Hacim Ağırlık	USC S	Elekt Analizi		Atterberg Limitleri			Üç Eksenli Sıkışma Dayanımı		Kesme Kutusu Dayanımı			
		γ_n		+10	-230	LL	PL	PI	c	ϕ	c	ϕ	c (rez.)	ϕ (rez.)
		kN/m ³		%	%	%	%	%	kPa	°	kPa	°	kPa	°
AÇ-1	UD	19,8	CL	26,6	53,0	38,6	19,4	19,2			34	17	23	13
AÇ-2	UD		SC	33,3	42,3	35,1	18,1	17,0	Numune çakıllı olduğu için dağılmıştır.					
AÇ-3	UD	19,5	CL	2,0	77,0	43,6	21,8	21,8	132	7				
AÇ-4	UD		CL	7,3	73,1	41,5	21,2	20,3	Numune çakıllı olduğu için dağılmıştır.					

Ek 4. Birime Ait Parametrelerin Belirlenme Yöntemleri ve Kullanım Amaçları

Çukur No	Deney Tipi	Kohezyon	Kayma Mukavemeti Açısı	Rezidüel Kohezyon	Rezidüel Kayma Mukavemeti Açısı	Kullanım Amacı
AÇ-1	Üç Eksenli Sıkışma Dayanımı (UU)	132	7	-	-	Konsolidasyonsuz – Drenajsız koşullarda yapılır. Killi zeminlerde birimin kısa dönem parametreleri tayin edilir. Kısa dönem parametreleri, geçici şev kazıları, eğer destekleme yapılacaksa destekleme öncesi şev analizleri için kullanılabilir.
AÇ-3	Kesme Kutusu Dayanımı (CD)	34	17	23	13	Killi numune önce konsolide edilir daha sonra drenaja izin verilecek şekilde çok yavaş makaslanır. Killi zeminlerin drenajlı koşullarda, bir başka deyişle uzun dönem parametreleri tayin edilir. Böylece kalıcı şev stabilite analizlerinde kullanılacak parametreler elde edilir. Bu deneyin bir başka avantajı makaslama deneyinin geriye dönük tekrar yapılabilmesidir. Böylece makaslama yenilmesi gerçekleşmiş (heyelan yüzeyi) yüzeye ait rezidüel parametreler bulunur.

Ek 5. Heyelan Sonrası Mevcut Kesit

HEYELAN SONRASI MEVCUT KESİT



AÇIKLAMALAR

LİTOLOJİ

Eratem / Zaman	Sistem / Dönem	Seri / Devre	
			Heyelan Malzemesi (HM2) Heyelan sonucu akmış malzeme (Kil - Kum - Çakıl)
Paleozoik	Karbonifer		Heyelan Malzemesi (Hm1) Sarı - sarımsı kahverengi, düşük plastisiteli KİL, Kumlu KİL, Çakıllı KİL

SİMGELER

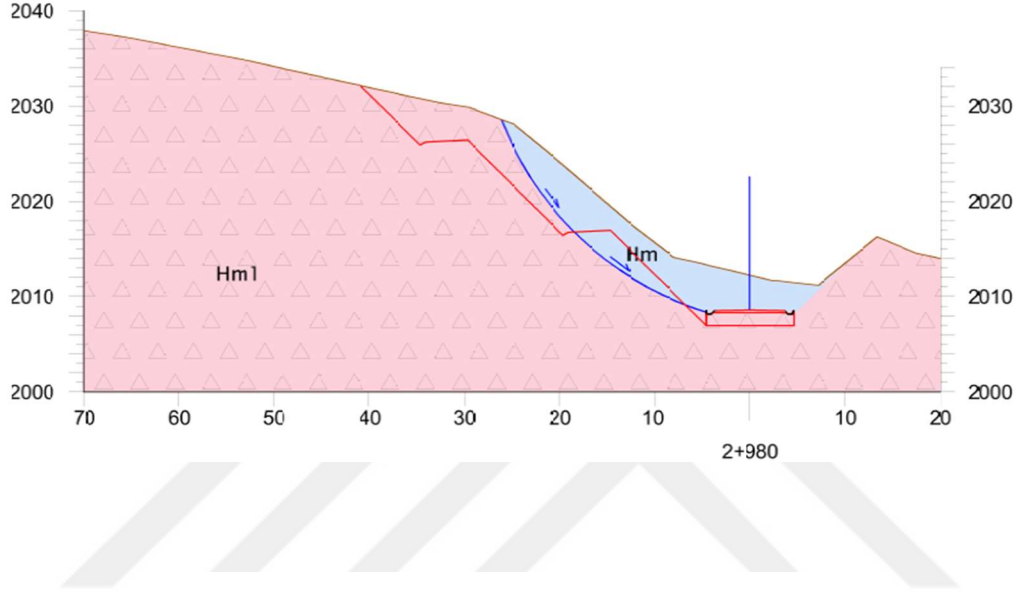
	Birim Sınırı
	Heyelan Sınırı
	Kayma Yüzeyi
	Araştırma Çukuru

	Birim Sınırı
	Heyelan Sınırı
	Kayma Yüzeyi
	Araştırma Çukuru

Ek 6. Analizi Yapılan Kazi Enkesitleri

KAZI ÖNCESİ

1Y/1D KAZI HATTI



AÇIKLAMALAR

LİTOLOJİ

Ertem / Zaman	Sistem / Dönem	Seri / Devre		
				Heyelan Malzemesi (HM2) Heyelan sonucu akm ş malzeme (Kil - Kum - Çakıl)
Paleozooyk	Karbonifer			Heyelan Malzemesi (Hm1) Sarı - sarımsı kahverengi, düşük plastisiteli KİL, Kumlu KİL, Çak ılı KİL

SİMGELER

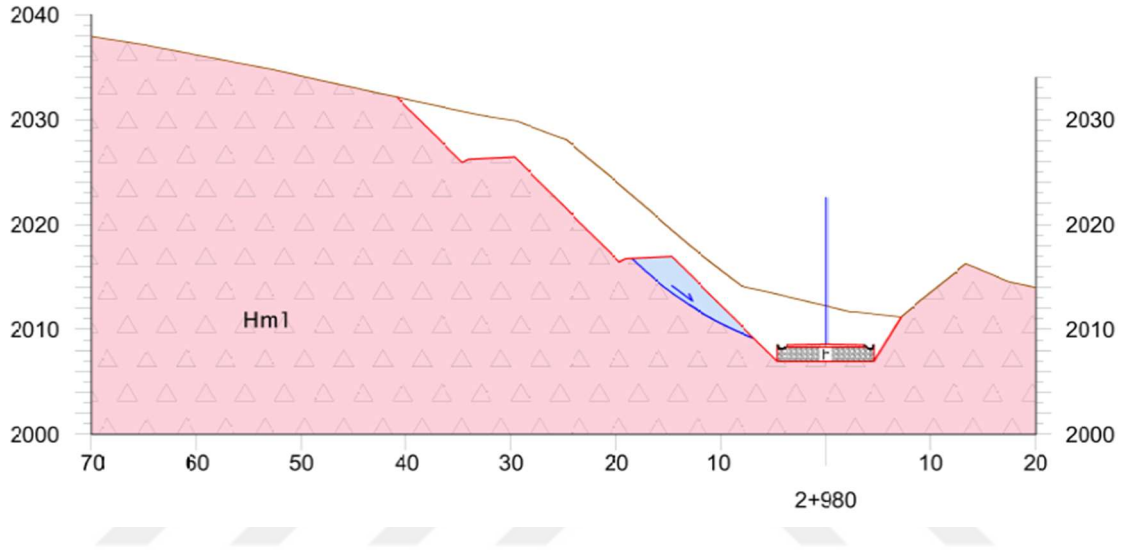


Kayma Yüzeyi

Ek 6'nın devamı

KAZI SONRASI

1Y/1D KAZI SONRASI



AÇIKLAMALAR

LİTOLOJİ

Ertem / Zaman	Sistem / Dönem	Seri / Devre	
Paleozoik	Karbonifer		Heyelan Malzemesi (HM2) Heyelan sonucu akmış malzeme (Kil - Kum - Çakıl)
			Heyelan Malzemesi (Hm1) Sarı - sarımsı kahverengi, düşük plastisiteli KİL, Kumlu KİL, Çakıllı KİL

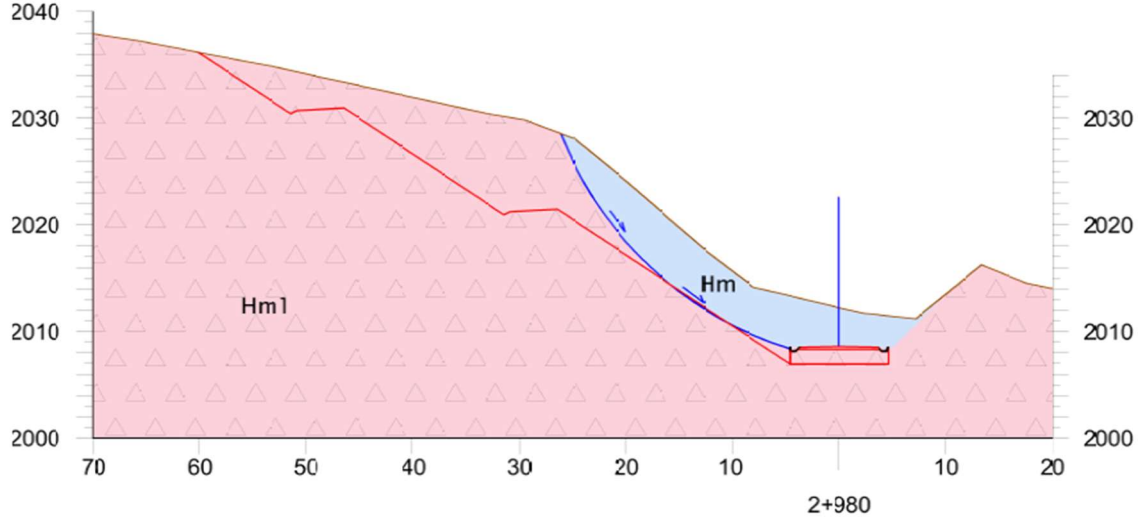
SİMGELER



Kayma Yüzeyi

Ek 7'nın devamı

3Y/2D KAZI HATTI



AÇIKLAMALAR

LİTOLOJİ

Eratem / Zaman	Sistem / Dönem	Seri / Devre	
Paleozoik	Karbonifer		
			Heyelan Malzemesi (HM2) Heyelan sonucu akmış malzeme (Kil - Kum - Çakıl)
			Heyelan Malzemesi (Hm1) Sarı - sarımsı kahverengi, düşük plastisiteli KİL, Kumlu KİL, Çakıllı KİL

SİMGELER

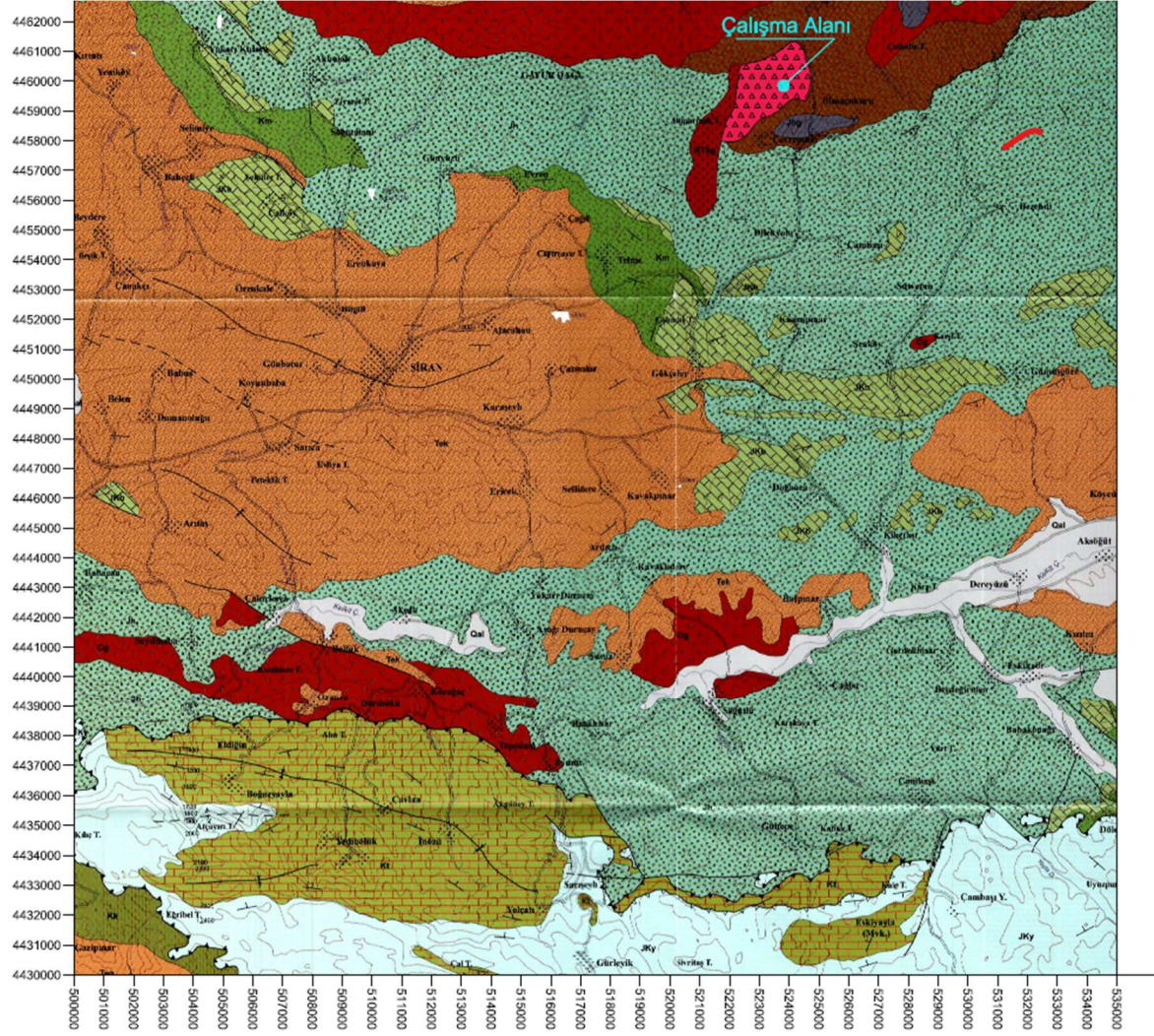


Kayma Yüzeyi

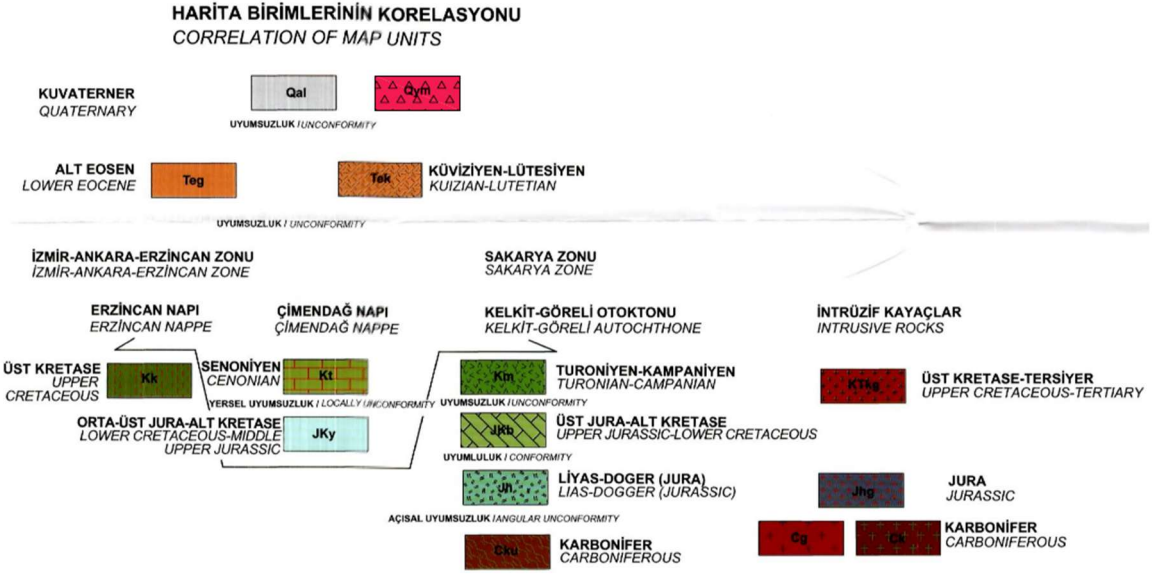
Kayma Yüzeyi

Kayma Yüzeyi

Ek 7. Genel Jeoloji Haritası ve Harita Birimlerinin Açıklaması



Ek 7'nin devamı



Ek 7'nin devamı

HARİTA BİRİMLERİNİN AÇIKLAMASI

EXPLANATION OF MAP UNITS

	Alüvyon <i>Alluvium</i>
	Yamaç Molozu <i>Slope Debris</i>
	Alüvyon <i>Alluvium</i>
	Kabaköy formasyonu: Andezitik-bazaltik lav, piroklastikler, kumtaşı, kireçtaşı, marn <i>Kabaköy formation: Andesitic-basaltic lava, pyroclastics, sandstone, limestone, marl</i>
	Gazipınarı formasyonu: Bloklı çakıltaşı, kumtaşı, kilitaşı ve kireçtaşı blokları <i>Gazipınarı formation: Blockly conglomerate, sandstone, claystone and limestone blocks</i>
	Kaçkar granitoyidi: Granit, granodiyorit, mikrogranit <i>Kaçkar granitoide: Granite, granodiorite, microgranite</i>
	Mescitli formasyonu: Pelajik kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn, kilitaşı, kumtaşı, tuf <i>Mescitli formation: Pelagic limestone, clayey limestone, marl, claystone, sandstone, tuff</i>
	Tömük formasyonu: Kireçtaşı bloklı çakıltaşı, kireçtaşı, kumtaşı, killi kireçtaşı, şeyl <i>Tömük formation: Conglomerate, limestone, sandstone, clayey limestone, shale with limestone blocks</i>
	Karayaprak karışığı: Volkanitler, tuf, aglomera, kumtaşı, kireçtaşı ve olistostromal kayalar <i>Karayaprak complex: Volcanites, tuff, agglomerate, sandstone, limestone and olistostromal rocks</i>
	Yeniköy formasyonu: Kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı, olistostromal kayalar ve kırıntılı volkanitler <i>Yeniköy formation: Limestone, cherty limestone, olistostromal rocks and clastic volcanics</i>
	Berdiga formasyonu: Çakıllı-kumlu kireçtaşı, oolitik kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kireçtaşı <i>Berdiga formation: Pebbly-sandy limestone, oolitic limestone, dolomitic limestone, limestone</i>
	Halgin granitoyidi: Granit, granodiyorit, kuvars diyorit <i>Halgin granitoide: Granite, granodiorite, quartz diorite</i>
	Hamurkesen formasyonu: Çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı, bazaltik-andezitik lav, piroklastikler <i>Hamurkesen formation: Conglomerate, sandstone, siltstone, mudstone, basaltic-andesitic lava, pyroclastics</i>
	Köse granitoyidi: Granit, granodiyorit, kuvars monzonit, kuvars diyorit, kuvars porfir <i>Köse granitoid: Granite, granodiorite, quartz monzonite, quartz diorite, quartz porphyry</i>
	Gümüşhane granitoyidi: Granit, granodiyorit, kuvars monzonit, mikro granit, kuvars porfir <i>Gümüşhane granitoid: Granite, granodiorite, quartz monzonite, micro granite, quartz porphyry</i>
	Kurtoğlu metamorfileri: Gnays, mikaşist, albit gnays, fillat, klorit şist, kuvars-serizit şist <i>Kurtoğlu metamorphics: Gneiss, micaschist, albite gneiss, phyllite, chlorite schist, quartz-sericite schist</i>

ÖZGEÇMİŞ

Onur PEKER, İlkokulu 1992-1997 yılları arasında Trabzon İskenderpaşa İlkokulu'nda tamamladı. 1997 yılında girdiği Anadolu Liseleri giriş sınavında gösterdiği başarı sonucu Trabzon Yunus Emre Anadolu Lisesini kazandı. Orta okulu 1997-2000 yılları arasında Trabzon Yunus Emre Anadolu Lisesinde tamamladı. Lise eğitimini 2000-2004 yılları arasında Trabzon Tefik Serdar Anadolu Lisesinde tamamladı. 2005 yılında girdiği Öğrenci Seçme Sınavında gösterdiği başarı sonucu Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimi almaya hak kazandı. 2005 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2009 yılında mezun oldu. 2009-2011 yılları arası Turkcell Superonline Altyapı Proje kontrolü olarak görev yaptı. 2011-2012 yılları arası askeri hizmetini tamamladı. 2012 yılında kamuya atanarak 2012-2016 yılları arası Devlet Su İşleri Kars 24.Bölge Müdürlüğünde görev yaptı. 2016-2020 yılları arası Devlet Su İşleri Ordu 75.Şube Müdürlüğünde görev yaptı. 2020 yılından itibaren de Devlet Su İşleri Trabzon 22. Bölge Müdürlüğünde Barajlar ve HES Şube Müdürlüğünde görev yapmakta olup, hala bu Şube Müdürlüğünde görev yapmaktadır.