

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İLETİM TÜNELİ KAZILARINDA UYGULANACAK DENETİMLİ
PATLATMALARIN PALEO-HEYELANLARIN ÜZERİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uğur ULU

KASIM 2023
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İLETİM TÜNELİ KAZILARINDA UYGULANACAK DENETİMLİ
PATLATMALARIN PALEO-HEYELANLARIN ÜZERİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Uğur ULU

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“JEOLJİ YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29/09/2023
Tezin Savunma Tarihi : 27/11/2023

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hakan ERSOY

Trabzon 2023

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Cumhuriyetimizin 100. yılında, eğitim hayatımda yeni bir adım atmanın mutluluğu içerisindeyim. Bu vesileyle, Cumhuriyetimizin kurucusu Ulu Önder Gazi Mustafa Kemal ATATÜRK'ü en kalbi duygularım ve sonsuz saygılarımla anıyor, minnet duyuyorum.

Kendisini tanıdığım lisans eğitimimden bu yana, mühendislik alanında bana ufuk katan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli tez danışmanım Prof. Dr. Hakan ERSOY'a katkılarından ötürü teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunuyorum.

Yüksek lisans eğitimim süresince kapılarını çaldığım, bölümümüzün değerli akademisyenleri, Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Oğuz SÜNNETÇİ ve Öğr. Gör. Murat KARAHAN'a desteklerinden ötürü çok teşekkür ediyorum.

Meslek hayatımda ve yüksek lisans serüvenimde desteklerini yanımda hissettiğim kıymetli meslektaşlarım; Enis KAPLAN, Cem DEMİRBAŞ, Ali TOSUN, Fırat TOMBAYOĞLU, M. Emre ALEMDAĞ kardeşlerime ve M. İlker BOZLAR ağabeyime; yüksek lisans eğitimim süresince, akademik bilgi birikimlerine danıştığım, kıymetli arkadaşlarım Arş. Gör. Dr. Ayşula KURT ve Doktorant Samet KALYONCU'ya; memleketi Araklı'da gerçekleştirdiğimiz çalışmada beni yalnız bırakmayan değerli dostum Durul BAKİOĞLU'na; teknik bilgisine danıştığım harita teknikeri Ahmet KASAP'a; teknolojik katkıları için OĞUZHAN HACISALİHOĞLU'na; yüksek lisans eğitimimi sağlıklı bir şekilde sürdürmem için her zaman desteklerini gördüğüm kıymetli müdürlerim Hasan KAMACI ve Mehmet Salih MAZLUM başta olmak üzere tüm idari amirlerime ve mesai arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Beni dünyaya getiren, hayata hazırlayan, emek veren kıymetli anneme ve babama, her zaman olduğu gibi tez çalışmasında da yanımda olan biricik kardeşim Gamze'ye, hayatımın en özel insanı neneme ve çok kıymetli aileme sevgilerim ve saygılarımla...

Uğur ULU
Trabzon, 2023

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İletim Tüneli Kazılarında Uygulanacak Denetimli Patlatmaların Paleo-Heyelanların Üzerine Etkisinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Hakan ERSOY’un 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. 27/11/2023

Uğur ULU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışma Amacı.....	3
1.3. Çalışma Alanının Genel Özellikleri	4
1.4. Önceki Çalışmalar	5
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	9
2.1. Giriş	9
2.2. Arazi ve Büro Çalışmaları	11
2.2.1. Çalışma Alanında Yapılan Jeoteknik Çalışmalar	11
2.2.1.1. Sondaj Uygulamaları ve Arazi Deneyleri (Presiyometre).....	11
2.2.2. Jeofizik Çalışmalar	15
3. BULGULAR.....	20
3.1. İnceleme Alanının Genel Jeolojisi.....	20
3.1.1. Çatak Formasyonu	22
3.1.2. Kızılkaya Formasyonu.....	22
3.1.3. Yamaç Molozu (Paleo-heyelan Malzemesi).....	22
3.2. İnceleme Alanı ve Çevresinin Heyelan Potansiyeli.....	23
3.3. Çalışma Alanı ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri.....	25
3.4. Çalışma Alanı ve Çevresinin Depremselliği.....	27
3.5. İletim Tüneli Kazı Patlatmaların Paleo-Heyelanlara Etkisi.....	28
3.5.1. Giriş	28
3.5.2. Yamaç Duraylılık Yönteminin Seçimi	30
3.5.3. Güvenlik Sayısı Kavramı ve Seçimi.....	31

3.5.4.	Yamaç Duraylılık Analizleri.....	33
3.5.4.1.	Mevcut Durum İçin Duraylılık Analizi	33
3.5.4.2.	Yağış Etkisi Dikkate Alınarak Duraylılık Analizi.....	40
3.5.4.3.	Deprem Etkisi Dikkate Alınarak Duraylılık Analizi	43
3.5.4.4.	Tünel Patlatma Etkisi Dikkate Alınarak Duraylılık Analizi.....	47
4.	SONUÇLAR.....	57
5.	KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ		



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

İLETİM TÜNELİ KAZILARINDA UYGULANACAK DENETİMLİ PATLATMALARIN
PALEO-HEYELANLARIN ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Uğur ULU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hakan ERSOY
2023, 62 Sayfa

Bu çalışmada, Trabzon ili Araklı ilçesi sınırları içerisinde kurulması planlanan bir hidroelektrik santrali projesi kapsamında 4.700 metre uzunluğundaki iletim tüneline gerçekleştirilecek patlatmaların üst kotlarda bulunan paleo-heyelanlara etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

İletim tünel güzergâhı ve çevresinde gerçekleştirilen 6 adet sondaj ve 4 farklı kuyuda yapılan presiyometre deneyleriyle paleo-heyelan malzemesinin jeoteknik özellikleri belirlenmiş, sondaj yapılamayan alanlarda 4 farklı profilde jeofizik ölçümler ifa edilmiştir. Güncel arazi çalışmalarının yanı sıra EİE tarafından 2004 yılında açılan sondaj kuyuları ve yerine getirilen çalışmaların ışığında, iletim tüneli kazısı esnasında oluşacak patlatma kaynaklı titreşimlerin etkisi göz önünde bulundurularak limit denge analizleri yapılmıştır. Deprem durumu, yağış etkisi ve patlatma kaynaklı titreşimlerin etkisi gibi farklı koşullara göre güvenlik sayısı değerleri hesaplanarak, kütle hareketi riski değerlendirilmiştir. Ortaya konulan analizler sonucunda üst kotlarda bulunan paleo-heyelanları harekete geçirebilecek en önemli etkenin deprem kaynaklı titreşimlerin olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, verilen anlık şarj dikkate alınarak hazırlanacak uygun patlatma paterninde patlatma kaynaklı herhangi bir heyelan riskiyle karşılaşılmayacağı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Paleo-heyelan, Hidroelektrik Santral, Tünel, Duraylılık Analizleri

Master Thesis

SUMMARY

EVALUATION OF THE EFFECT OF CONTROLLED BLASTING ON PALEO-LANDSLIDES
TO BE APPLIED IN CONVEYANCE TUNNEL EXCAVATIONS

Uğur ULU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geological Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Hakan ERSOY
2023, 62 Pages

In this project, it's aimed at the affects of explosions to paleo-landslides which take place on upper levels. These explosions are planned to be stated in 4700 meter-long conveyance tunnels as a part of the hidropower plants in Arakli, Trabzon.

Geotechnical characteristics of paleo-landslide material are designated by pressure-meter experiments that are applied in 6 drilling projects and 4 boreholes which took place on the route of and around conveyance tunnels. Besides up-to-date studies, with the help of the studies by EIE in 2004 which include drilling projects and other projects, limit-balance analyses are done with the consideration of vibration that is caused by explosions which would happen during the construction of conveyance tunnels. The risk of mass movements are evaluated with calculated rate of security ration on various conditions which would be a part of earthquake situations, the affect of rain and vibration that are caused by explosions. As a result of analyses, it's concluded that the vibrations that are caused by earthquakes are the most crucial factors on the movement of paleo-landslide. In addition to this, it's determined that there would be no risk of landslide whatsoever originated from explosion of suitable pattern that is laid out with the consideration of instant charge.

Key Words: Paleo-landslide, Hydroelectric Power Plant, Tunnel, Stability Analysis

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	01.01.1950 – 01.06.2018 tarihleri arasında Türkiye’de meydana gelen heyelan/kaya düşmeleri olaylarına ait istatistik verisi taşıyan il bazında harita.....	2
Şekil 2.	Proje sahasının ve iletim tüneli güzergahının Google Earth uydu görüntüsündeki konumu.....	4
Şekil 3.	Ayvadere Regülatörü ve Hidroelektrik Santrali Projesine ait iletim tünelinin 1/25.000 ölçekli Trabzon G44-a4 paftasındaki konumu.....	10
Şekil 4.	E_M/P_{Lm} oranına ve limit basınç (P_{Lm}) değerine göre zemin sınıflandırılması.....	14
Şekil 5.	Net limit basınç-işsel sürtünme açısı ilişkisi (Amar vd. 1991) ve çalışma konusu zeminlerin bu grafikteki yeri	15
Şekil 6.	Elektrik tomografi-1 ve elektrik tomografi-2 kesitleri.....	18
Şekil 7.	Elektrik tomografi-3 ve elektrik tomografi-4 kesitleri.....	19
Şekil 8.	Çalışma alanı ve çevresine ait jeoloji haritası	21
Şekil 9.	Türkiye heyelan yoğunluk haritası.....	24
Şekil 10.	Karadere çevresinde görülen lokal akmalar	24
Şekil 11.	Çalışma alanı ve yakın çevresinde görülen lokal kütle hareketleri.....	25
Şekil 12.	Çalışma alanının AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritasındaki konumu ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyine göre maksimum yer ivmesi değeri.....	27
Şekil 13.	Şev duraylılığı yapmak için farklı heyelan kütlelerinden alınan kesit hatları.....	34
Şekil 14.	A-B jeolojik kesiti ve şev duraylılık analizlerinde kullanılan girdi parametreleri (paleo-heyelan-1).....	35
Şekil 15.	C-D jeolojik kesiti ve şev duraylılık analizlerinde kullanılan girdi parametreleri (paleo-heyelan-2).....	36
Şekil 16.	A-B jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu.....	38
Şekil 17.	C-D jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu.....	39
Şekil 18.	A-B jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu.....	41
Şekil 19.	C-D jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu.....	42

Şekil 20.	A-B jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu.....	45
Şekil 21.	C-D jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu.....	46
Şekil 22.	A-B jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu.....	49
Şekil 23.	C-D jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu.....	50
Şekil 24.	A-B jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu.....	52
Şekil 25.	C-D jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu.....	53
Şekil 26.	A-B jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu.....	54
Şekil 27.	C-D jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit değer) sonucu.....	55

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Ayvadere Regülatörü ve Hidroelektrik Santrali projesine ait iletim tünelinin özellikleri	9
Tablo 2. Sondaj loglarına göre belirlenmiş yamaç molozu kalınlıkları	11
Tablo 3. Yamaç molozlarında presiyometre deney sonuçlarının derinliğe bağlı değişimi	12
Tablo 4. Limit basınç (P_L) değerlerine göre zeminlerin sınıflandırılması (AFNOR NF P94-261)	12
Tablo 5. E_M/P_L oranına göre zeminlerin sınıflandırılması (AFNOR NF P94-261).....	13
Tablo 6. MASW-Kırılma Ölçü Koordinatları (WGS 84).....	15
Tablo 7. Elektrik Tomografi Ölçü Koordinatları (WGS 84)	16
Tablo 8. Sismik Profil 1 için hesaplanan dinamik ve elastik parametreler	16
Tablo 9. Sismik Profil 2 için hesaplanan dinamik ve elastik parametreler	16
Tablo 10. Sismik Profil 3 için hesaplanan dinamik ve elastik parametreler	17
Tablo 11. Sismik Profil 4 için hesaplanan dinamik ve elastik parametreler	17
Tablo 12. 2018 TBDY'ye göre yerel zemin sınıfları.....	28
Tablo 13. ABD ve İngiltere tarafından önerilen şev/yamaç duraylılığına yönelik farklı şartlar için kabul edilen en küçük güvelik sayıları (F)	32
Tablo 14. Kanada tarafından önerilen şev/yamaç duraylılığına yönelik farklı şartlar için kabul edilen en küçük güvenlik sayıları (F)	33
Tablo 15. Sismik dalga yayılma hızı hesaplanırken kullanılan değerler	47
Tablo 16. Heyelan tabanı ile tünel tavanı arasındaki minimum mesafe (100 m, bakınız Tablo 15) dikkate alınarak gecikmeli atımda ateşlenen farklı patlayıcı miktarlarına göre hesaplanmış parçacık hızı ve yer ivmesi değerleri.....	47
Tablo 17. Farklı koşullar gözetilerek yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonuçları ve elde edilen sonuçlara göre heyelan riski değerlendirilmesi	56

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ϕ	: İçsel Sürtünme Açısı
a_{max}	: En Büyük Yatay Yer İvmesi
c_u	: Drenajsız Kayma Mukavemeti
E_M	: Menard Elastisite Modülü
E_t	: Statik ve Depremi İçeren Yükleme Durumlarına İlişkin Tasarım Etkileri
F	: Güvenlik katsayısı
kPa	: Kilopascal
k_h	: Statik-Eşdeğer Yatay Deprem Katsayısı
k_v	: Statik-Eşdeğer Düşey Deprem Katsayısı
m	: Metre
N_{60}	: Enerji Oranına (Er) ve kuyu Düzeltmesi Faktörlerine Göre Normalize Edilmiş SPT-N Değeri
P_L	: Limit Basınç
P_{Lm}	: TS EN ISO 22476-4:2013 Standardına Göre Limit Basınç
R	: Ateşleme Noktasından Uzaklık
R_t	: Tasarım Dayanımı
r_u	: Boşluk Suyu Basıncı Oranı
S_{DS}	: Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı
S_s	: Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı
S_1	: 1 sn Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı
u	: Gözenek Suyu Basıncı
V	: Sismik Dalganın Yayılma Hızı
V_p	: Boyuna Dalga Hızı
V_s	: Enine Dalga Hızı
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ANSYS	: Swanson Analiz Sistemleri
APDL	: Ansys Parametrik Tasarım Dili
CBS	: Coğrafi Bilgiler Sistemi
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
ISRM	: Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği
MASW	: Çok Kanallı Yüzey Dalgası Yöntemi

NACS : Kuzey Amerika Stratigrafi Komisyonu
PI : Plastisite İndisi
PPV : Maksimum Parçacık Hızı
TBDY : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
WGS 84 : Dünya Jeodezik Sistemi - 1984



1. GENEL BİLGİLER

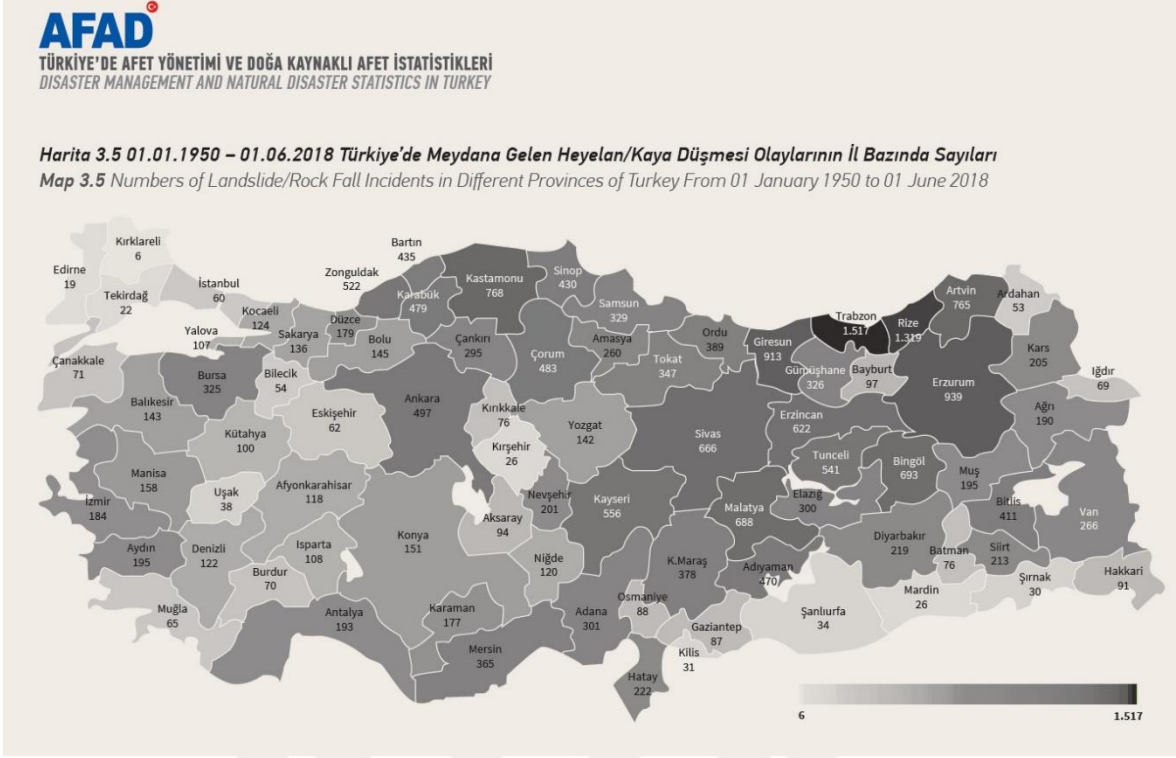
1.1. Giriş

Günümüzde teknolojik ve ekonomik koşulların gelişmesiyle birlikte, patlatmalı faaliyetlerin sürdürüldüğü tünel ve madencilik gibi sektörler atılım gerçekleştirmiş, bununla birlikte çalışma alanları yaygınlaşmış ve günlük yaşantılarında bu çalışmalardan etkilenen kişi sayısı da artmıştır. Hal böyle olunca araştırmacılar bu patlatmalı faaliyetlerin gerek doğaya gerekse de insan yaşamına etkilerini araştırıp, olumsuz yönlerini en aza indirmeyi hedeflemişlerdir. Gerçekleştirdiğimiz çalışmanın da bu kapsamda değerlendirilmesi mümkündür.

Tünellerde zemin sınıflarına göre kazı yöntemi tercih edilmektedir. Zayıf zemin sınıflarında mekanik kazı, sağlam zemin sınıflarında ise patlatmalı kazı uygulanmaktadır. Çalışma alanı sınırları içerisinde olan Çatak ve Kızılkaya formasyonlarında magmatik kökenli kayaçların yoğunluğu dikkat çekmektedir. Magmatik kökenli kayaçlar genellikle sağlam zemin özellikleri göstermekte ve üzerlerinde gerçekleştirilen tünel faaliyetlerinde yaygın olarak patlatmalı kazı yöntemi tercih edilmektedir. Zaman kazanımı, iş makinalarının verimli kullanımı, pratik hareket kabiliyeti ve daha ekonomik çözümler sunması patlatmalı kazıların tercih edilmesinin etkenleridir.

Doğu Karadeniz Bölümü yaygın akarsu kaynaklarıyla birlikte hidroelektrik santralleri için önemli bir potansiyele sahiptir. Artan enerji ihtiyacıyla birlikte, Karadeniz’de hidroelektrik santrali projelerinin de sayısı artmaktadır.

Türkiye, 2023 yılı temmuz ayı sonu itibarıyla kurulu enerji gücünün en büyük oranını hidroelektrik santrallerinden sağlamaktadır, bu oranın değeri %30’dur, yine aynı zaman diliminde ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, lisansız santraller de dâhil olmak üzere, 12.251’dir ve bunların 751’i hidroelektrik santral olup en yüksek miktarı ifade etmektedir. (URL-1, 2023).



etkileşimden aldığımız yönle, Ayvadere Regülatörü ve Hidroelektrik Santrali projesini kapsayan saha; mevcut durum, yağış, deprem ve tünelde gerçekleştirilen patlatma etkilerine göre incelenmiştir.

1.2. Çalışma Amacı

Bu çalışmada, Trabzon ili Araklı ilçesi Merkezköy, Hasköy ve Değirmencik Mahalleleri sınırları içerisinde Araklı Elektrik Üretim ve İnşaat A.Ş. firmasınınca inşa edilmesi hedeflenen Ayvadere Regülatörü ve Hidroelektrik Santrali projesi kapsamında açılacak olan iletim tüneline gerçekleştirilen patlatmaların üst kotlarda bulunan paleo-heyelanlara etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bu bağlamda ilgili firma tarafından;

1. İletim tünel güzergâhı üzerinde tünel kotuna kadar farklı konumlarda dört adet olmak üzere toplam derinliği 178 m olan sondajlar yapılmıştır,
2. Paleo-heyelan malzemesi üzerinde olmak üzere ve heyelan malzemesini tamamıyla kapsayan toplam derinliği 300 m olan iki adet sondaj yapılmıştır,
3. Paleo-heyelan malzemesinin jeoteknik özelliklerini ortaya koymak için dört farklı kuyuda ikişer metre aralıklarla presiyometre deneyleri yapılmıştır,
4. Arazide sondaj yapmaya müsait olmayan alanlarda paleo-heyelan malzemesinin düşey devamlılığının ve jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla dört farklı profilde jeofizik ölçümler gerçekleştirilmiştir.

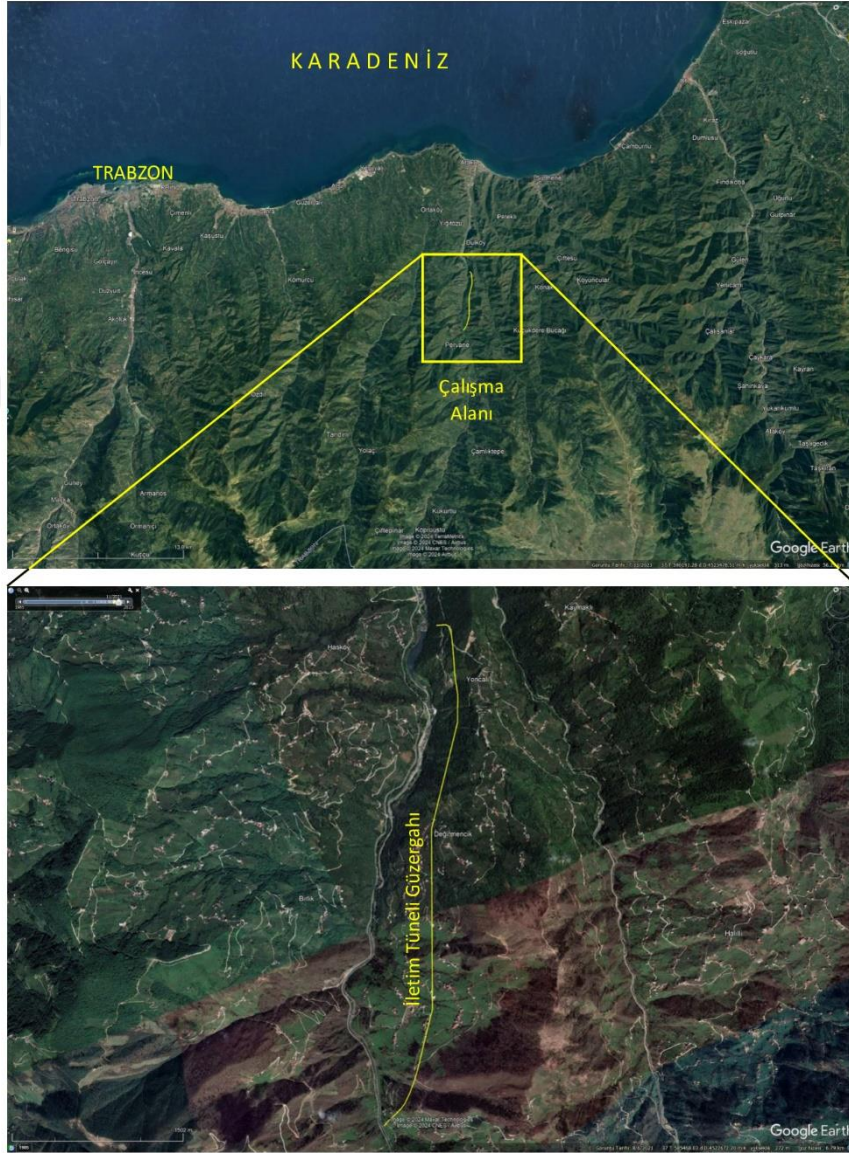
Bu çalışma kapsamında, güncel arazi çalışmalarından elde edilen verilerin ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) tarafından 2004 yılında açılan sondajlar ile yapılan çalışmaların değerlendirilmesiyle;

1. 1/25.000 ölçekli ayrıntılı bir jeoloji haritası hazırlanmıştır.
2. Uydu görüntülerinden ve hava fotoğraflarından faydalanılarak arazi çalışmaları yapılmış, tünel güzergâhı boyunca yüzeyleme veren paleo-heyelan malzemesinin yanal devamlılığı ve yayılımı tespit edilmiştir.
3. Paleo-heyelan malzemesinin düşey devamlılığı (kalınlığı) sondaj verileri ve jeofizik ölçüm sonuçları değerlendirilerek belirlenmiştir.
4. Paleo-heyelan malzemesinin jeoteknik özellikleri arazi ölçümleri ve deneyleri değerlendirilerek belirlenmiştir.

5. Tünel kazısı sırasında yapılacak patlatmaların paleo-heyelan malzemesi üzerindeki etkisi (anlık şarj) tüm verilerle birlikte değerlendirilerek incelenmiştir.

1.3. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

Çalışma alanı Doğu Karadeniz Bölümü'nde bulunmakta ve 1/25.000 ölçekli Trabzon G44-a4 paftası içerisinde yer almaktadır. Söz konusu alan; Trabzon ilinin, Araklı ilçesinin Hasköy, Merkezköy ve Değirmencik Mahallelerini kapsamaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Proje sahasının ve iletim tüneli güzergahının Google Earth uydu görüntüsündeki konumu

Çalışma alanı engebeli yapısıyla Karadeniz'in tipik özelliklerini yansıtmaktadır. Bu görüşü destekler nitelikte yüksekliğin güneyden kuzeye doğru azalışını çalışma alanında bulunan şu tepelerle gözlemlemek mümkündür: Helan Tepesi (872 m), Hocaların Tepesi (759 m) ve Helimana Tepesi (552 m). Araklı ilçesinin batısında Yanbolu Çayı, doğusunda Küçükdere Çayı mevcutken, projenin su kaynağı olan Karadere Çayı vadi boyunca derin ve geniş bir alanda yayılarak Araklı sınırları içerisinde denize kavuşmaktadır.

Araklı ilçesi, Trabzon'un 33 km doğusunda, Karadere'nin getirdiği "V" şeklinde delta üzerinde kurulmuştur. (Suiçmez vd., 1996) Trabzon'dan Araklı'ya ulaşım D-010 karayolundan, Araklı'dan çalışma alanına ulaşım ise 61-26 numaralı il yolundan, asfalt sathi kaplamalı zemin üzerinden sağlanmaktadır.

1.4. Önceki Çalışmalar

Erçıkıdı vd. (2004) "Patlatma Kaynaklı Yersarsıntısı Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi" adlı makale çalışmalarında, Trabzon'un Araklı ilçesinde bulunan Taşönü kalker ocağındaki üretim için gerçekleştirilen patlatmaların, ocağın yakınında bulunan yerleşim yerlerine etkisini araştırmışlardır. Instantel Minimate Plus Model aracılığıyla ölçülen yersarsıntısı sinyalleri ile gerçekleştirilen analizler sonucu, patlatma sonrası açığa çıkacak titreşimlerin önceden tahmini için bulunan kararlılık katsayısı 0,71 olmuştur. Bununla birlikte, atımlar sonucunda her basamak kendi içinde değerlendirildiğinde daha yüksek katsayılarının elde edildiği tespit edilmiştir. Çalışmalar sonucunda ortaya çıkan eşitlik ile mesafe tablosu sunulmuş ve çevrenin patlatmadan kaynaklı çevresel olumsuzluklardan en az oradan etkilenmesi için patlatma koşullarının düzenlenmesi hedeflenmiştir. "PPV – Yer Değiştirme", "Frekans – Yer Değiştirme" ve "PPV – İvme" arasındaki etkileşim de 38 adet ölçümle değerlendirilmiştir.

Reis vd. (2009) "Deprem ve Patlatmaların Rize Bölgesi Heyelanlarına Etkisi" adlı makale çalışmalarında, deprem ve patlatma çalışmalarının yağış etkisiyle heyelanların oluşumuna, heyelan duraylılığına etkilerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak, Rize özelinde lokasyon boyutunda değerlendirmişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda, depremlerin heyelan oluşumu üzerine direkt etkilerinin varlığını tespit edememiş, patlatma kaynaklı heyelanların ise ocak mesafesine göre etkilerini gözlemlemişlerdir. Bu sonuca istinaden deprem ve heyelan etkisini ortaya koymak adına daha fazla veriye sahip olunması

gerektiğini bildirip, heyelan yerini, oluşum zamanını ve konuyla alakalı diğer parametreleri içeren konumsal bir veri tabanının oluşturulması gerektiğini belirtmişlerdir.

Kekeç (2010) “Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin, Bazı Kaya Madde ve Kütle Özelliklerine Göre İrdelenmesi” adlı doktora tezi çalışmasında yapay titreşim hareketleri ile oluşan patlama kaynaklı yersarsıntılarını temsil eden parçacık hızlarının kaya kütlesi özelliklerine göre değişimini araştırmıştır. Çalışmada, laboratuvar verilerinin yanı sıra saha çalışmaları da değerlendirilmiştir. Laboratuvar çalışmaları için dokuz farklı kayaç örneği kullanılmıştır. Yoğunluk belirleme, porozite, tek eksenli basınç dayanımı gibi kaya mekaniği deneylerinde kullanılmak amacıyla toplanan numuneler ISRM’1981 standartlarına göre hazırlanmıştır. Ayrıca titreşim testi için hazırlanan numune örneklerinin ölçüleri 50x15x10 cm olmakla birlikte özellikle çeşitli süreksizlikleri baz alarak hazırlanmıştır. Titreşim testlerinde kayaçlar içinde ilerleyen sismik dalgalarla, yapay olarak oluşturulan titreşimler kayaç içyapısının sismik hareket iletme durumu araştırılmıştır. Kaya mekaniği deneyleri ve titreşim testleri sonuçları arasındaki ilişki elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle korelasyon katsayısı kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda maksimum parçacık hızı değeri ile yoğunluğun etkileşim halinde olduğu görülmüştür. Porozitenin maksimum parçacık hızları ile arasındaki ilişki değerlendirildiğinde, aralarında doğru orantılı bir etkinin olduğu tespit edilmiştir. Süreksizlikler üzerinde yapılan analizlerde, 90⁰, 45⁰ ve 0⁰ açıları ile modellemeler yapılmış ve bileşke maksimum parçacık hızlarındaki yüzde azalım açısı arttıkça yüzde azalma miktarının da azaldığı görülmüştür. Arazi çalışmaları için Konya Çimento A.G.’ye ait açık ocak işletme tekniğiyle patlatmalı kazıyla üretim yapan kireçtaşı ocağı çalışma bölgesi olarak temel alınmıştır. Instanetel markasının bir patlatma sismograf modeli olan Minimate Plus ile patlatma sonucu oluşan yersarsıntılarını incelenmiş ve sönümlenme katsayıları belirlenmiştir. Laboratuvar çalışmalarında elde edilen verilerin, saha çalışmalarında yapılan testlerle örtüştüğü tespit edilmiştir.

Karaman vd. (2015) “Bir Kireçtaşı Ocağında Şev Stabilitesi Durum Çalışmalarının Değerlendirilmesi” adıyla hazırladıkları makalelerinde, ilerleyen yıllarda gerçekleştirilecek çalışmalara yön vermek amacıyla Trabzon’un Araklı ilçesinde bulunan Taşönü kireçtaşı ocağını inceleyen çalışmaları ele almışlardır. Taşönü kireçtaşı ocağı; killi yapısı, eğimi ve yüksekliği fazla tutulan şevleri, bölgenin bol yağışlı iklim yapısı gibi etkenler ile gerçekleştirilen patlatmaların kontrolsüzlüğü sonucunda düzlemsel kayma ve heyelanların sık görüldüğü bir arazi olduğu belirtilmiştir. Bu detaylar kapsamında araştırmacıların

çalışmaları değerlendirilmiş, patlatma etkisinin en aza indirgenmesi için çeşitli öneriler sunulmuştur.

Özel (2016) “Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntısının Sonlu Eleman Yöntemiyle Modellenmesi” adını verdiği yüksek lisans tezinde, tünel kazıları için gerçekleştirilen patlatmaların yüzeyde meydana getirdiği parçacık hızı ve zemin titreşimiyle söz konusu sarsıntıların tarihi yapılar üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmasında eşdeğer elastik sınır yöntemi kullanarak patlatmalar sonuç oluşan basınç yükünü tespit etmiştir. ANSYS Workbench yazılımı aracılığıyla bu yük verisiyle tünel tasarımı üzerinde çalışılmış ve zemin sarsıntısı araştırması yapılmıştır. Erzurum Lalapaşa Camisi tarihi yapı örneği alınarak üzerinde yapılan çalışma da ANSYS APDL üzerinde modellenmiştir. Zemin modelleri analizlerinde elastisite modülünün yanı sıra Poisson oranının parçacıkların hız değerlerine ve zemin titreşimi üzerine etkisi araştırılmıştır.

Arıkan (2018) “Patlatmaların Şev Duraylılığına Etkilerinin Yüzey Dalgalarının Bastırılması Yöntemi İle En Aza İndirilmesi” adlı yüksek lisans tezinde patlatma kaynaklı dalgaların şevler üzerindeki etkisini araştırmıştır. Yazar tarafından ciddi heyelan problemlerinin yaşandığı belirtilen, Bursa ili Orhaneli ilçesinde bulunan Gümüşpınar Linyit Sahası ve Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü ait Çan Linyitleri İşletmesi çalışma sahaları olarak seçilmiştir. Söz konusu sahalarda, şevleri harekete geçirme ihtimali bulunan patlatmaların sebep olduğu sismik dalgaların teşkil etme gerekçeleri ve yayılım mekanizmaları araştırılmıştır. Ayrıca çalışmayı harekete geçiren prensip yüzey dalgalarının ideal gecikmeler sonucunda hedeflenen aşamada söndürülmeleri olmuş ve buradan hareket edilmiş, şevler için bir tehlike unsuru oluşturmayan kontrol altında gelişen patlatma dizaynı geliştirilmiş ve gerçek patlatma sonuçlarıyla model patlatma sonuçları karşılaştırılmıştır. Gerçek patlatma sonuçları ile örnek teşkil eden patlatma neticelerinin uyum içerisinde olması tavsiye edilen patlatma tasarımının kullanılabilirliğini ortaya çıkarmıştır. Bununla birlikte uygun gecikmelerle sismik dalgaların kendi içerlerinde söndürmelerini gerçekleştirmek için grupta atılan delik miktarının 15’i geçmemesi gerektiği de tespit edilmiştir.

Çiftçi (2018) “Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Zemin Parametrelerine Bağlı Olarak Tahmini” adını verdiği yüksek lisans tezi çalışmasında, yapay sinir ağları yöntemini kullanarak isabetli titreşim tahmini yapmayı amaçlamıştır. Yapay sinir ağı, data işleme amacıyla yapay sinir hücrelerinin farklı katmanlarca yapılandırılması ve numaralandırılmasıyla oluşturulur, yapılması istenen göreve yönelik bir dizi örnek bilgi

verilerek yapay sinir ağı eğitilir. 2016 yılının aralık ayından, 2017 yılının ağustos ayına kadar geçen dönemde, İstanbul Yeni Havalimanı projesi dâhilinde çeşitli imalatların temel kazıları sırasında yapılan patlatmalı kazı uygulamaları tez çalışması için takip edilmiş, kazılara en yakın risk taşıyan yapılar gözlenerek 95 adet titreşim verisi kayda alınmıştır. Arazi verileri ile %93.4'lük korelasyon oranı veren ağ ile hazırlanan tahminlerin uyumlu sonuçlar sunduğu gözlemlenmiştir.

Özkan (2019) "Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntısının Farklı Regresyon Modelleri ve Yapay Sinir Ağı ile Kestirimi" adlı yüksek lisans tez çalışmasında Kocaeli ilinin Çerkeşli ilçesinde bulunan agrega işletmesindeki patlatma çalışmalarında toplamda 66 adet patlatma verisi ölçmüştür. Atımlar sonucunda elde edilen veriler JKSimBlast patlatma tasarım programı aracılığıyla modellenmiştir. Çalışma kapsamında, patlatma kaynaklı titreşimlerin tahmin edilebilmesi için çalışma alanı özelinde çeşitli modeller geliştirilmiştir. 66 titreşim verisinin 44'ü rastgele seçilerek kullanılmış, artakalan 22'si ile modeller üzerinde testler gerçekleştirilmiş ve yanışları kıyaslanmıştır. Nihayetinde geliştirilen modeller arasında yapay sinir ağının en iyi sonuç veren model olduğu saptanmıştır.

Demirtaş (2019) "Aynı Jeolojik Formasyon İçerisinde Farklı Kaya Birimlerinde Yapılan Patlatmalı Kazılarda Türetilen Titreşim Tahmin Denklemlerinin Karşılaştırılması" adını verdiği yüksek lisans tez çalışmasında, İstanbul Pendik Kurtköy Mahallesi'nde yer alan bir inşaat projesinde gerçekleştirilen patlatmalı temel kazılarını incelemiştir. Söz konusu çalışmada, çalışma sahasının titreşim yayılım eşitliğinin bulunması ve çalışma sahasının yakınlarında bulunan aynı formasyona ait kaya birimlerinde türetilen titreşim yayılım eşitleri ile kıyaslanması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında 41 atımda 59 adet olay kayıt altına alınmıştır. Titreşim verileri derlenerek elde edilen denklemler karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda benzer jeolojik ortamlarda yapılacak patlatmalı kazıların birbirleri için kılavuz değerler oluşturacağı tespit edilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Trabzon ili Araklı ilçesi Merkezköy, Hasköy ve Değirmencik Köyü sınırları içerisinde Araklı Elektrik Üretim ve İnşaat A.Ş. tarafından kurulması planlanan Ayvadere Regülatörü ve Hidroelektrik Santrali projesinin amacı enerji üretimidir. Projenin su kaynağı Karadere'dir. Ayvadere Regülatörü ve Hidroelektrik Santrali, Karadere'nin 105 ve 50 kotları arasında yer alacaktır.

Proje kapsamında Ayvadere Regülatörü ile çevrilen sular, basınçlı iletim tüneli vasıtasıyla santral binasına ulaştırılacak ve burada türbinlenecektir. Projenin tamamlanmasıyla, Ayvadere Regülatörü ve Hidroelektrik Santrali toplamda var olan kurulu gücü 9 MWm / 8,37 MWe olacak ve yıllık toplam 30,13 GWh enerji üretilecektir. Ayvadere Regülatörü Karadere üzerinde, 105,00 m talveg kotunda yer alacaktır. Suyun regülatörden çevrilerek santrale aktarılacağı iletim yapısı 4.700,00 m uzunluğunda modifiye at nalı kesitli tünelden meydana gelmektedir.

Çökeltim havuzu regülatörün sağ sahilinde yer alacak ve üç gözlü olarak, 0,3 mm çapındaki danelerin çökmesini sağlayacak şekilde planlanmıştır. İletim tüneli 5,40 m çapında olmak üzere, çökeltim havuzu sonunda olacaktır. Yükleme havuzu iletim tünelinin sonunda yer alacak ve 37,00 x 10,00 x 13,53 m boyutlarına sahip olacaktır. Yükleme odası çıkışından itibaren toplam uzunluğu 80 m olan cebri borunun çapı 2,80 metredir.

İletim tünelinin özellikleri ile giriş ve çıkış koordinatları Tablo 1'de sunulmuş, proje alanının 1/25.000 ölçekli Trabzon G44-a4 paftasındaki konumu Şekil 3'te verilmiştir.

Tablo 1. Ayvadere Regülatörü ve Hidroelektrik Santrali projesine ait iletim tünelinin özellikleri

Tipi	Modifiye at nalı
Proje debisi	32 m ³ /s
Tünel uzunluğu	4700 m
Tünel çapı	5.40 m
Tünel içi su yüksekliği	3.83 m
Tünel eğimi	0.0005
Tünel giriş koordinatı	Y: 584375, X: 4520800
Tünel çıkış koordinatı	Y: 586125, X: 4524775

2.2. Arazi ve Büro Çalışmaları

2.2.1. Çalışma Alanında Yapılan Jeoteknik Çalışmalar

2.2.1.1. Sondaj Uygulamaları ve Arazi Deneyleri (Presiyometre)

Bu çalışma kapsamında, paleo-heyelan malzemesinin düşey ve yanal devamlılığını ortaya koyma, yerinde arazi deneyleri yapılarak heyelan malzemesinin jeoteknik özelliklerini tayin etmek amacıyla sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalarda sondaj logları değerlendirilerek yamaç molozu kalınlıkları belirlenmiştir. Bu kalınlıkları belirlemek için, iletim tünel güzergâhına denk gelecek şekilde tünel kotuna kadar farklı konumlarda toplam derinliği 178 m olmak üzere dört adet (BH-5, 30 m; BH-7, 48 m; HSK-1, 50 m; HSK-2, 50 m) paleo-heyelan malzemesi üzerinde ve heyelan malzemesini tamamıyla kat edecek şekilde toplam derinliği 300 m olmak üzere ise iki adet (TSK-2, 150 m; TSK-3, 150 m) sondaj yapılmıştır (Tablo 2).

Proje kapsamında yerinde arazi deneylerinden yararlanılmıştır. Bunun sebebi hem örselenmemiş örnek alınmasında yaşanacak zorlukların öngörülmesi hem de malzeme boyutları (çakıl ve blok) dikkate alındığında laboratuvar deneylerinden elde edilecek sonuçların arazi ortamını tam anlamıyla yansıtamayacağını bilmesidir. Bu yüzden dört farklı kuyuda iki metre ara ile presiyometre deneyleri yapılarak paleo-heyelan malzemesinin jeoteknik özellikleri ortaya koyulmuştur. Limit basınç ve elastisite modülü (Menard presiyometre modülü) değerleri Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 2. Sondaj loglarına göre belirlenmiş yamaç molozu kalınlıkları

	Tünel Girişi	Tünel Çıkışı	Heyelan - 2			Heyelan - 1
			HSK-1	HSK-2	TSK-2	TSK-3
Yamaç Molozu	0-18 m	-	0-18 m	0-30 m	0-27 m	0-39 m
Kaya	18-30 m	0-48 m	18-50 m	30-50 m	27-150 m	39-150 m

Tablo 3. Yamaç molozlarında presiyometre deney sonuçlarının derinliğe bağlı değişimi

Derinlik (m)	Heyelan-2						Heyelan-1	
	HSK-1		HSK-2		TSK-2		TSK-3	
	E _M	P _L	E _M	P _L	E _M	P _L	E _M	P _L
2	67	6,8	-	-	68	8,8	69	7,3
4	Blok	Blok	-	-	61	6,8	74	6,8
6	73	6,8	-	-	51	8,8	60	6,8
8	43	5,8	78	8,8	Blok	Blok	83	6,3
10	48	6,3	65	8,8	48	5,3	47	5,3
12	64	5,3	67	8,8	24	3,3	70	5,8
14	49	5,8	Blok	Blok	40	4,3	39	4,8
16	32	5,8	Blok	Blok	24	3,8	39	4,8
18	38	4,8	Blok	Blok	25	3,8	39	4,3
20	-	-	Blok	Blok	Blok	Blok	48	4,8
22	-	-	91	6,8	48	5,8	31	3,3
24	-	-	47	5,3	37	4,3	28	2,8
26	-	-	60	6,8	39	5,3	27	4,3
28	-	-	38	4,3	-	-	19	2,3
30	-	-	56	3,8	-	-	-	-
Ortalama	59	8	63	6,7	42	5,5	51	5,0
E _M /P _L	7,4		9,4		7,6		10,2	

Not: E_M ve P_L değeri kg/cm²'dir.

E_M: Menard elastisite modülü, P_L: Limit basınç

Presiyometre ölçümleri kullanılarak zeminleri sınıflandırmak için limit basınç (P_L) ve E_M/P_L oranı bilinmelidir. Tablo 4'te görülmekte olan basınç sınırının aynı değeri farklı zeminlere karşılık gelebilir. Bu yüzden Tablo 5'te sunulan ikinci bir ölçüt gereklidir.

Tablo 4. Limit basınç (P_L) değerlerine göre zeminlerin sınıflandırılması (AFNOR NF P94-261)

Zemin Tipi	Consistency	P _{Lm} (MPa)
Kil ve silt	Çok yumuşak-yumuşak	<0,4
	Sağlam	0,4-1,2
	Sert	1,2-2
	Çok Sert	>2
Kum ve çakıl	Çok yumuşak	<0,2
	Orta Yumuşak	0,2-0,5
	Gevşek	0,5-1
	Sıkı	1-2

Tablo 4'ün devamı

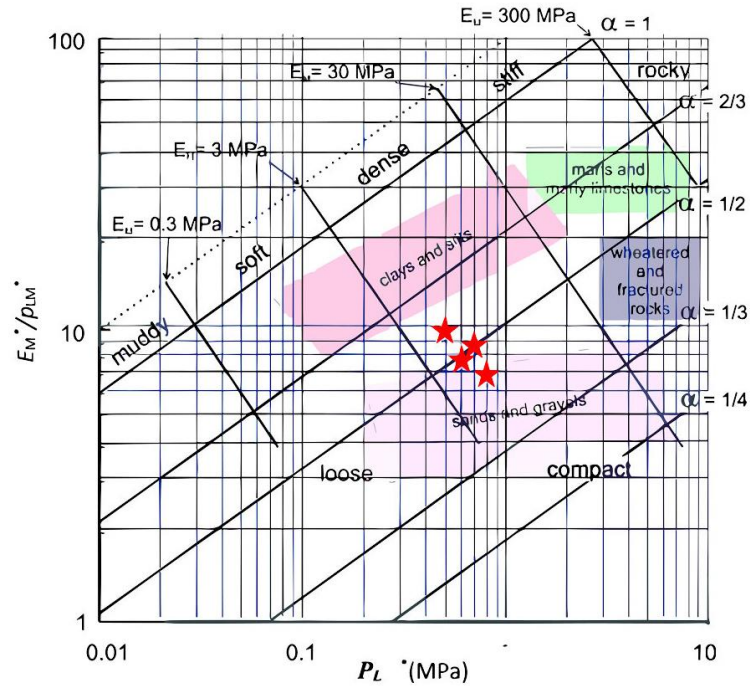
Zemin Tipi	Consistency	P_{Lm} (MPa)
Kireçtaşı	Yumuşak	<0,7
	Ayrışmış	0,7-3
	Yumuşak	>3
Marn ve marnlı kil	Yumuşak	<1
	Sert	1-4
	Çok Sert	>4
Kaya	Ayrışmış	2,5-4
	Kırıklı	>4

Tablo 5. E_M/P_L oranına göre zeminlerin sınıflandırılması (AFNOR NF P94-261)

E_M/P_{Lm}	Zemin Tipi
<5	Yoğrulmuş-örselenmiş zemin
5-8	Az konsolide veya hafifçe örselenmiş zemin
8-12	Normal konsolide kil
12-15	Hafif konsolide kil
>15	Aşırı konsolide kil
6-8	Çökelmiş kum ve çakıl
>10	Kumlar, kuru ve sıkı kumlar ve çakıllar

Ancak her iki tabloda da basınç sınırları ile oran sınırlarının aynı değerlere karşılık gelebildiği görülmektedir. Bu nedenle, Baund ve Gambin (2013) bu iki tablonun birleşiminden oluşan bir grafik önermişlerdir (Şekil 4). Bu grafik dikkate alındığında, paleo-heyelan malzemesinin “sıkı kum-çakıl” olarak sınıflandırılabilceği görülmektedir.

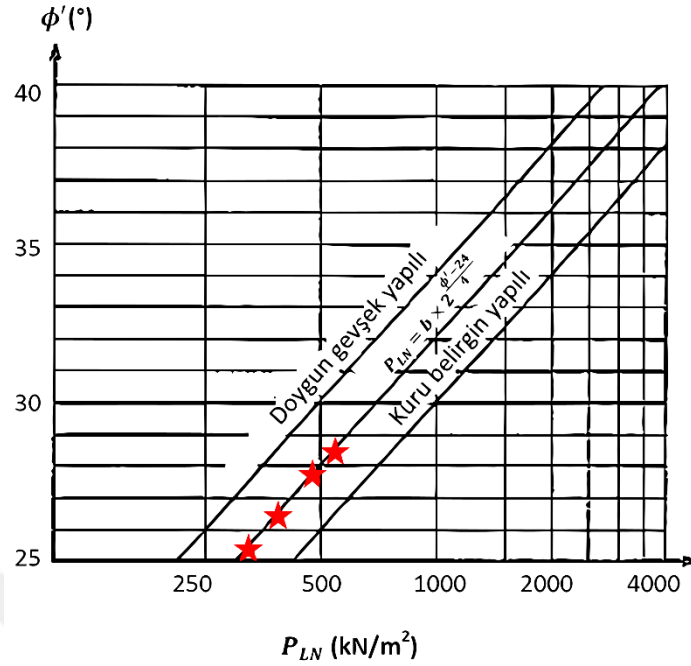
Ayrıca, sondaj logları, presiyometre deney verileri ve jeofizik ölçümleri sonuçları değerlendirildiğinde paleo-heyelan malzemesinin blok, çakıl ve daha az oranda kil içeren orta sıkı-sıkı kum olarak sınıflandırılabilceği görülmektedir. Sahip olunan değerler bütün bir zemin sınıflamasından çok proje konusu yamaç molozlarının mühendislik davranışını temsil etmektedir.



Şekil 4. E_M/P_{Lm} oranına ve limit basınç (P_{Lm}) değerine göre zemin sınıflandırılması

Çalışma kapsamında, yaklaşık 40 metreye varan yamaç molozundan örnek alıp laboratuvar ortamında gerçekleştirilecek deneylerle yamaç duraylılık analizlerinde kullanılacak kayma direnci parametrelerini tespit etmek mümkün değildir. Çünkü malzeme çok düşük kohezyonlu olduğu için sahayı tam anlamıyla temsil edecek örselenmemiş örnek alabilmek mümkün değildir. Bu sebeple kayma direnci parametreleri presiyometre deney verileri ışığında tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu maksatla Muller (1970) tarafından önerilen eşitliğe göre hazırlanan grafik (Şekil 5) kullanılarak içsel sürtünme açısı değerleri belirlenmiştir. Grafik değerlerinde yamaç molozuna ait içsel sürtünme açısı değerlerinin $25,5^\circ - 28,5^\circ$ arasında olduğu görülmüştür.

Kayma dayanımı parametrelerinin presiyometre deney verilerinden yararlanılarak hesaplanabilmesi için gerekli koşul bir diğerinin "0" kabul edilmesidir ve bu durumda yamaç molozu kohezyonu değerinin "0" olarak kabul edilmesi gerekmektedir. Ancak yapılan arazi gözlemleri ve karot loglarının değerlendirilmesi sonucunda kil ve silt boyutlu malzemenin de varlığı gözlenmektedir. Bu yüzden literatür verileri değerlendirilerek kohezyon değeri için en kötü koşul dikkate alınarak, bu değer 10 kPa kabul edilmiştir (Bell 1983, 2007).



Şekil 5. Net limit basınç-içsel sürtünme açısı ilişkisi (Amar vd. 1991) ve çalışma konusu zeminlerin bu grafikteki yeri

2.2.2. Jeofizik Çalışmalar

Çalışma kapsamında paleo-heyelan malzemesinin düşey ve yanal devamlılığı ile jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla sondaj çalışmalarına ek olarak dört farklı profilde jeofizik ölçümler (Sismik Kırılma-MASW ve Çok Elektrotlu Elektrik Tomografi) ortaya koyulmuştur.

Tablo 6 ve Tablo 7’de jeofizik ölçüm koordinatları verilmiştir.

Tablo 6. MASW-Kırılma Ölçü Koordinatları (WGS 84)

Profil Adı	Profil Boyu	Koordinatlar			
		Başlangıç		Bitiş	
		X	Y	X	Y
Sismik Profil 1	57 m	584854.9	4521728	584891.9	4521773
Sismik Profil 2	57 m	584631.9	4520844	584662.9	4520797
Sismik Profil 3	57 m	586087.9	4522998	586072.9	4522943
Sismik Profil 4	57 m	585367.9	4521751	585356.9	4521693

Tablo 7. Elektrik Tomografi Ölçü Koordinatları (WGS 84)

Profil Adı	Profil Boyu	Koordinatlar			
		Başlangıç		Bitiş	
		X	Y	X	Y
Ert-1	235 m	584819	4521959	584843.6	4521725
Ert-2	235 m	584542.9	4520943	584670.9	4520748
Ert-3	235 m	586100.8	4523079	586049.5	4522852
Ert-4	235 m	585400.1	4521906	585356.0	4521676

Çalışma kapsamında sismik profil ölçüsü için jeofon aralıkları 3 m, ofset mesafesi 12 m seçilmiş ve toptan hat uzunlukları 57 m olarak elde edilmiştir. Tüm profillerde inceleme derinliği (veri elde edilebilen derinlik) 20 metredir. Sismik ölçüm sonucunda mühendislik parametreleri elde edilmiş olup aşağıda özetlenmiştir (Tablo 8, 9, 10 ve 11).

Tablo 8. Sismik Profil 1 için hesaplanan dinamik ve elastik parametreler

Tabaka No		V_P (m/sn)		V_S (m/sn)		V_P/V_S		Derinlik (m)	
1		750		190		3,95		0 - 3,60	
2		1570		300		5,23		3,60 -	
Yoğunluk		Poisson Oranı		Kayma Modülü		Elastisite Modülü		Bulk Modülü	
gr/cm ³	Tanımlama	-	Sıklık	kg/cm ²	Dayanım	kg/cm ²	Dayanım	kg/cm ²	Sıkışma
1,62	Orta	0,47	Çok Gevşek	585	Zayıf	1715	Zayıf	8333	Az
1,95	Yüksek	0,48	Çok Gevşek	1755	Orta	5198	Orta	45726	Yüksek

Tablo 9. Sismik Profil 2 için hesaplanan dinamik ve elastik parametreler

Tabaka No		V_{Port} (m/sn)		V_{Sort} (m/sn)		V_P/V_S		Derinlik (m)	
1		900		380		2,37		0 - 3	
2		1300		515		2,52		3-	
Yoğunluk		Poisson Oranı		Kayma Modülü		Elastisite Modülü		Bulk Modülü	
gr/cm ³	Tanımlama	-	Sıklık	kg/cm ²	Dayanım	kg/cm ²	Dayanım	kg/cm ²	Sıkışma
1,70	Orta	0,39	Gevşek	2455	Orta	6832	Orta	10497	Orta
1,86	Orta	0,41	Çok Gevşek	4933	Sağlam	13881	Sağlam	24856	Orta

Tablo 10. Sismik Profil 3 için hesaplanan dinamik ve elastik parametreler

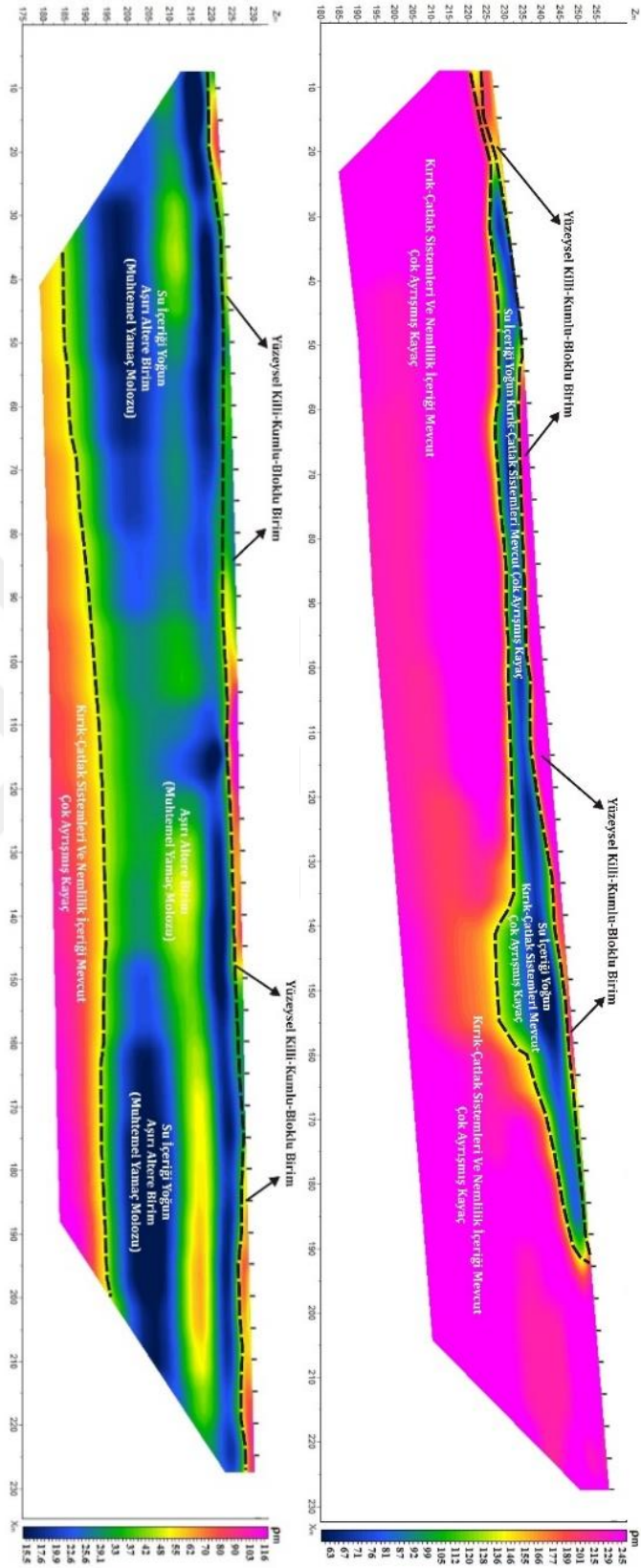
Tabaka No		V _P (m/sn)		V _S (m/sn)		V _P /V _S		Derinlik (m)	
1		735		170		4,32		0 - 4,00	
2		1600		305		5,25		4,00 -	
Yoğunluk		Poisson Oranı		Kayma Modülü		Elastisite Modülü		Bulk Modülü	
gr/cm ³	Tanımlama	-	Sıklık	kg/cm ²	Dayanım	kg/cm ²	Dayanım	kg/cm ²	Sıkışma
1,61	Orta	0,47	Çok Gevşek	465	Zayıf	1369	Zayıf	8077	Az
1,96	Yüksek	0,48	Çok Gevşek	1823	Orta	5400	Orta	47745	Yüksek

Tablo 11. Sismik Profil 4 için hesaplanan dinamik ve elastik parametreler

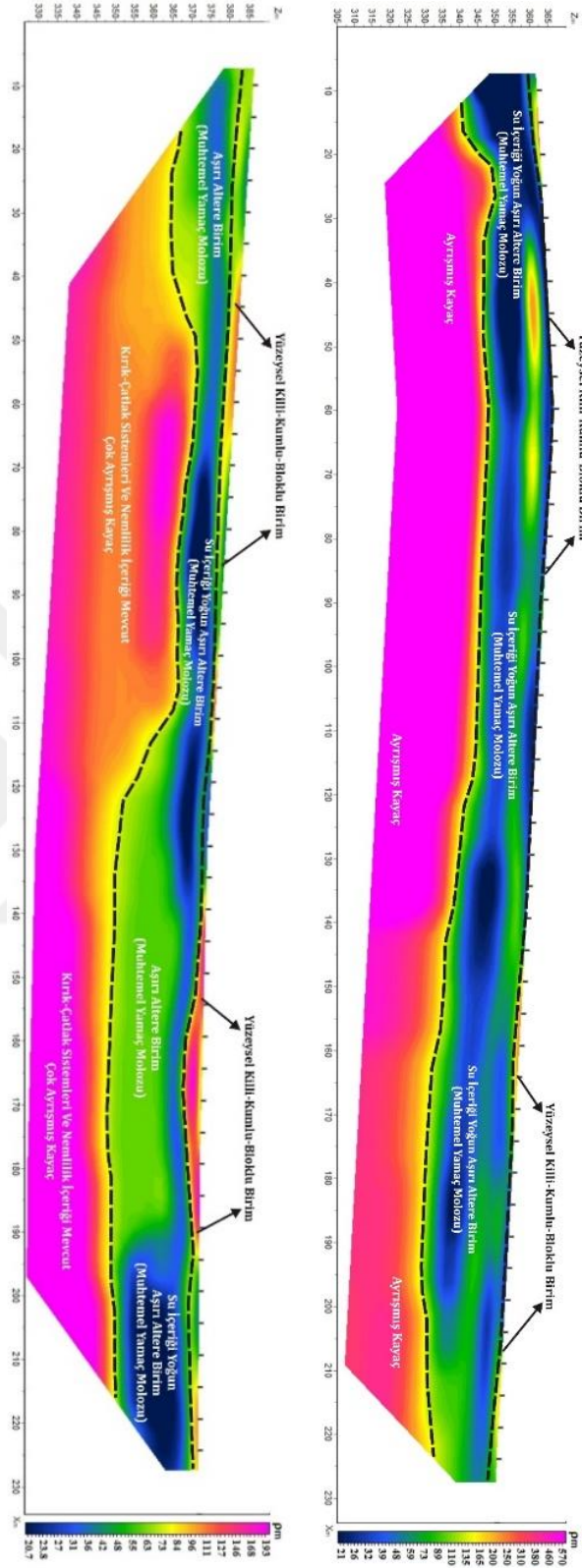
Tabaka No		V _P (m/sn)		V _S (m/sn)		V _P /V _S		Derinlik (m)	
1		700		270		2,59		0 - 4,10	
2		1725		405		4,26		4,10 -	
Yoğunluk		Poisson Oranı		Kayma Modülü		Elastisite Modülü		Bulk Modülü	
gr/cm ³	Tanımlama	-	Sıklık	kg/cm ²	Dayanım	kg/cm ²	Dayanım	kg/cm ²	Sıkışma
1,59	Orta	0,41	Çok Gevşek	1159	Zayıf	3274	Zayıf	6246	Az
2,00	Yüksek	0,47	Çok Gevşek	3281	Orta	9652	Orta	55139	Yüksek

Elektrik tomografi ölçümleri için ise elektrot mesafeleri 5 metre seçilmiş olup, 48 elektrot kullanılmıştır. Her bir profilde yaklaşık olarak 45 metre derinlik incelenmiştir (Ölçüm açıklığı dikkate alınarak veri elde edilebilen derinlik). Elektrik tomografi ölçümleri sonucunda profil hattına ait zemin-kaya bilgisi, yer altı-yüzey suları seviyesi ve konumları belirlenmiştir.

Şekil 6 ve 7’de elektrik tomografi kesitleri verilmiştir. Kesitlerde görülmekte olan çok düşük öz direnç değerleri genel olarak yeraltı suyunu işaret etmektedir fakat gerçekleştirilen her sondajda yeraltı suyuna rastlanılmadığı için gözlemlenen bu düşük değerlerin killi birimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6. Elektrik tomografi-1 ve elektrik tomografi-2 kesitleri



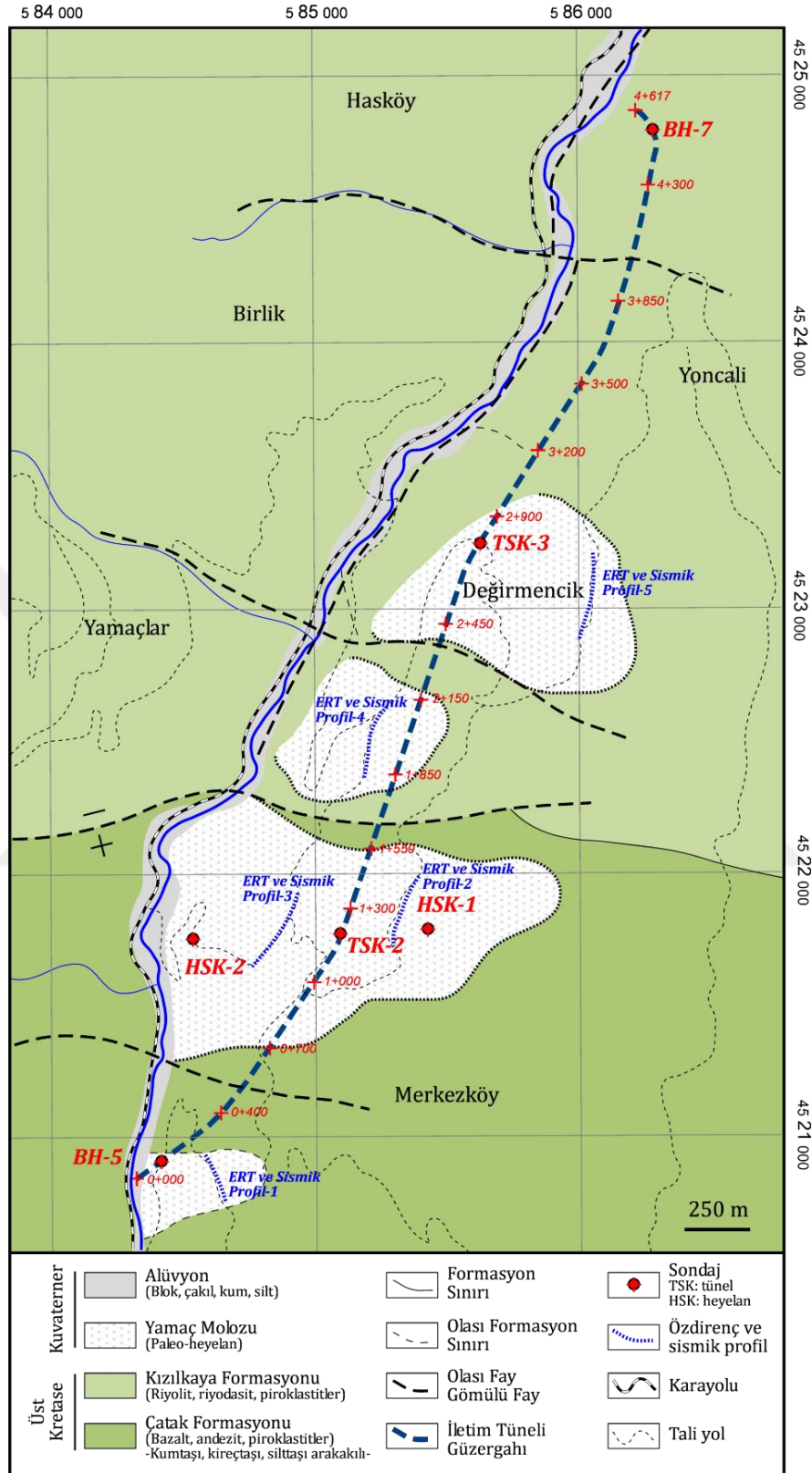
Şekil 7. Elektrik tomografi-3 ve elektrik tomografi-4 kesitleri

3. BULGULAR

3.1. İnceleme Alanının Genel Jeolojisi

Doğu Pontidler'in kuzey zonu içerisinde bulunan çalışma alanı Trabzon ili Araklı ilçesi Merkezköy, Hasköy ve Değirmencik Köyü sınırları içerisinde. Litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) baz alınarak çalışma alanı ve çevresinde bulunan kayalar tanımlanmıştır (Şekil 8). Çalışma alanı ve çevresinde Geç Kretase yaşlı atak ve Kızılkaya Formasyonları ve bu formasyonların üzerinde geniş yayılımlar veren yamaç molozları bulunmaktadır.

Çalışma alanında atak ve Kızılkaya Formasyon sınırı fay dokanaktır. Ayrıca bölgede dar vadiler boyunca birçok düşey fay gözlenmiştir.



Şekil 8. Çalışma alanı ve çevresine ait jeoloji haritası

3.1.1. Çatak Formasyonu

Bazik karaktere sahip volkano-tortul istif ilk olarak Maçka (Trabzon) güneyindeki Çatak köyünde tipik olarak gözlenmesi sebebiyle Güven (1993) tarafından Çatak Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Çalışma alanının güney kesimlerinde özellikle Merkezköy ve çevresinde mostra veren birimler Üst Kretase dönemi boyunca Doğu Pontidlerin kuzey zonunda gelişen aktif volkanizma sonucu bazik ve asidik karakterli birimlerin düzenli ardalanmasından oluşmaktadır. Birim önceki çalışmalarda (Güven, 1993) Geç Kretase yaşlı olarak yaşlandırılmıştır.

3.1.2. Kızılkaya Formasyonu

Çatak Formasyonu üzerinde bulunan asidik karakterli birimlerden oluşan Kızılkaya Formasyonu ilk olarak Güven (1993) tarafından adlandırılmıştır. Çalışma alanının kuzey kesimlerinde yüzeyleme veren birim çoğunlukla riyodasit, dasit ve piroklastitlerden oluşmaktadır. Kayaçlar genellikle sarı renkli ayrışma zonlarının varlığı ile kolayca ayırt edilmektedir. Birimin üst zonunda yer yer tabakalanma gösteren tuf, aglomera ve breş seviyeleri görülmektedir. Birim üzerinde ve altında bulunan birimlerin konumlarına göre Geç Kretase olarak yaşlandırılmıştır (Güven, 1993).

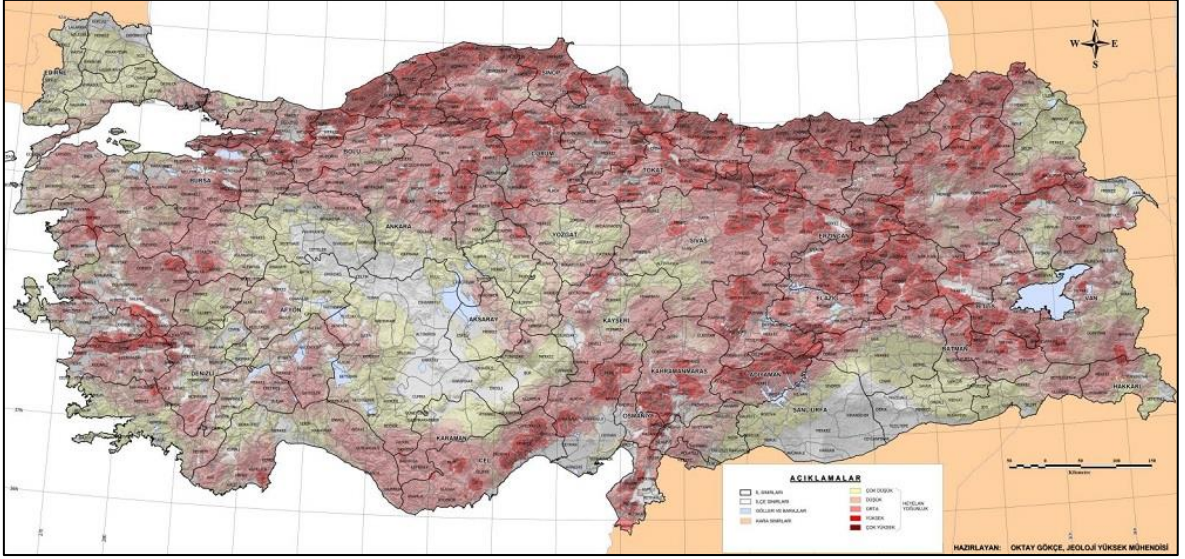
3.1.3. Yamaç Molozu (Paleo-heyelan Malzemesi)

Çalışma alanında özellikle Değirmencik Köyü ve çevresinde 500-600 m genişliğinde, 1200-1400 m uzunluğunda ve kalınlıklar 30 metreye varan kuvarterner yaşlı yamaç molozları mevcuttur. Stratigrafik olarak yamaç molozu olarak adlandırılan birimler aslında paleo-heyelan düzlükleridir. Yapılan sondaj ve jeofizik ölçümlere göre kalınlığının 18-39 mm arasında değiştiği belirlenen paleo-heyelan malzemesinin daha çok blok, çakıl ve kum boyutlu malzemedir, daha az oranda silt ve kil boyutlu malzemedir olduğu anlaşılmıştır. Blok boyutları dikkate alınarak yamaç molozunun mühendislik özellikleri presiyometre deneyleri ile ortaya koyulmuştur.

3.2. İnceleme Alanı ve Çevresinin Heyelan Potansiyeli

Ülkemiz sahip olduğu jeolojik, morfolojik, iklimsel ve coğrafik konumu sebebiyle çeşitli doğal afetlerin tehdidi ile karşı karşıya kalmaktadır. Çok büyük yıkımlara sebep olmasından ötürü depremler akla gelen, ön planda gözükken en önemli doğal afet çeşidi olsa da, heyelanlar da ülkemizin karşı karşıya kaldığı önemli afet türlerindedir (Şaraldı 2015). Özellikle Karadeniz Bölgesi bu tür doğal afetlerin en sık görüldüğü bölgelerden biridir (Gökçe 2008) (Şekil 9). Heyelan olaylarının yanı sıra bir hayli fazla sayıda kaya düşmesi olayı da dünya genelinde yaşandığı gibi ülkemizde de meydana gelmektedir. Yerleşim ve yaşam alanlarında meydana gelen kaya düşmesi olaylarının gerek evlerde gerekse de iş yerlerinde maddi zararlara, kimi zaman ise ulaşım akışının kesintisine ve en istenmeyen durum olarak da hayat kaybına sebep vermektedir. İlkbahar ve kış mevsimleri sınırlarımız içerisinde kaya düşmesi olayının en yoğun yaşandığı mevsimlerdir. Bu sorunun temelinde söz konusu mevsimlerde kayaların çatlakları içerisinde suyun yer bulması ve sık aralıklarla donma çözülme olaylarının yaşanmasıdır (Altay 2015). Eğime sahip yamaçlarda var olan büyük boyutlardaki kaya bloklarının, harici vakaların tetiklemesi sonucu hareket kazanması olayına kaya düşmesi adı verilmektedir ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nde gelişen kaya düşmeleri en az heyelanlar kadar tehlike arz etmektedir. Kaya düşmeleri, heyelanlar gibi geniş alanlara yayılmamakla birlikte lokal alanlarda hem can hem de mal emniyeti bakımından önemli bir oranda tehlike taşımaktadır.

İletim tünelinin geçeceği güzergâh ve çevresinde Mülga EİE Genel Müdürlüğü eliyle 2005 yılında kayma potansiyeli olan tüm alanlarda jeolojik-jeoteknik çalışmalar yapılmış ve genel olarak bu alanların duraylı olduğu ortaya koyulmuştur.



Şekil 9. Türkiye heyelan yoğunluk haritası (Gökçe, 2008)

AFAD tarafından hazırlanan 2018 tarihli raporda ise çalışma alanı ve çevresinde aktif bir kütle hareketine rastlanılmadığı, ancak yüzey sularına ve aşırı yağışa bağlı olarak lokal toprak kaymalarının olduğu, bölgede yüzey sularının uygun yöntemlerle drenaj edilmediği ve buna bağlı arazilerin suya doymun hale gelerek heyelanların geliştirildiği belirtilmiştir.

Çalışma alanı ve çevresinde yapılan arazi gözlemleri sonucunda günümüz koşullarında duraylı olan ve kalınlıkları 30 metreyi geçen paleo-heyelanlar tespit edilmiş, buna ek olarak birçok lokal kütle hareketine rastlanılmıştır (Şekil 10 ve 11).



Şekil 10. Karadere çevresinde görülen lokal akmlar



Şekil 11. Çalışma alanı ve yakın çevresinde görülen lokal kütle hareketleri

Arazi çalışmalarında gözlemlenen bu lokal kütle hareketleri, yamaç molozları içerisinde gelişmiştir. Haliyle bu bölgede bir mühendislik projesi planlandığı zaman yamaç paleo-heyelanların farklı koşullar altındaki duraylılığının detaylı olarak incelenmesi ve ortaya koyulması gerekmektedir.

3.3. Çalışma Alanı ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri

Kayaçların hidrojeolojik özellikleri gözeneklilik ve geçirimsizlik tanımları üzerinden değerlendirilebilir. Gözeneklilik, kayacın depolama fonksiyonunu; geçirimsizlik ise iletme fonksiyonunu ifade etmektedir. Depolama ve iletme özelliğine sahip, ekonomik derecede yeraltı suyu taşıyan kayaçlar için akifer tanımı yapılmaktadır. Akiferler depolama işlemini kayaçlar içerisinde bulunan boşluklardan sağlamaktadır. Bu boşluklar birincil ve ikincil boşluklar olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Gözeneklilik ve geçirimsizlik özellikleri dikkate alındığında, en önemli akiferler çakıl ve kum yataklarında, alüvyon konilerinde, sahil sedimanlarında ve bazı özel koşullarla bazalt-andezit türü magmatik kayaçlarda oluşmaktadır. Kumtaşı ve çakıl taşı sıkışma ve çimentolanma derecelerine göre; kireçtaşları ise içerdikleri erime boşluklarının dağılımı ve hacmine göre akifer özelliklerince ele alınmaktadır.

Kum ve çakıl karışımından oluşan alüvyonel akiferler bünyesinde ekonomik miktarda su taşıyan en önemli akiferlerdir. Yeraltı suları akiferlerin içerisinde depolanabildiği gibi çatlaklı kayaçların içerisinde de depolanabilmektedir. Gerilmeler, soğumalar ve kurumalar gibi çeşitli fiziksel faktörün etkisiyle kayaçlarda çatlaklar gelişmektedir. Çatlakların sıklığı, uzunluğu yani hacimleri yeraltı suları açısından önem arz etmektedir. Kayaçların çatlakları farklı özelliklere sahip olabilmektedir. Bu çatlaklarda suyun depolanması, çatlakların boyutları ve birbirleri ile olan bağlantılarıyla ilişkilidir.

Çatlakların birbirleri ile bağlantılı olması, çatlaklı kayaçalardan ekonomik öneme sahip suyun alınabilmesini sağlar, yani kayaçların permeabilite katsayısı değerinin yüksek olması çatlaklı kayaçların birbirleri ile bağlantılarına bağlıdır. Magmatik kayaçalarda çatlaklar çoğunlukla birbirleri ile ilişkili değildir, haliyle bu kayaçalarda permeabilite katsayısı oldukça düşüktür. Genel olarak bu tür magmatik kayaçalardan alınabilecek su miktarı az bulunmaktadır.

Çalışma alanında Geç Kretase yaşlı jeolojik birimlerin hakim olduğu, bu birimlere ait kayaçların kırıklı, çatlaklı ve kısmen de altere oldukları gözlenmiştir. Asidik ve bazik karakterli volkanik kayaçların litolojik özellikleri genellikle geçirimsiz oldukları için yaygın bir yeraltı suyu akiferi özelliği göstermezler. Bununla birlikte nispeten geçirimli çatlak sistemleri boyunca zayıf yeraltı suyu dolaşımı olabilmekte ve bu seviyelerde yer yer düşük debi değerlerine sahip kaynak boşalımları olmaktadır.

Mülga EİE Genel Müdürlüğü tarafından 2005 yılında ortaya koyulan “Doğu Karadeniz-Karadere Havzası Ayvadere Regülatörü ve Hidroelektrik Santrali Projesi Yapılabilirlik Raporu”nda Ayvadere Regülatörü ve HES Projesinin yapılacağı bölgede yüzeylenen volkanik kayaçların permeabilite ve porozite değerlerinin düşük olduğu belirtilmiştir. Raporla yeraltı suyunun ancak kaya kütlelerinin kırıklarla oluşturduğu boşluklarda tespit edildiği, bu tür kırıklarda önemli yeraltı suyu rezervuarlarının söz konusu olmadığı, proje sahası ve çevresindeki yeraltı su seviyesinin yüzeyden itibaren ortalama olarak 45 metre alt kotta bulunduğu belirtilmiştir.

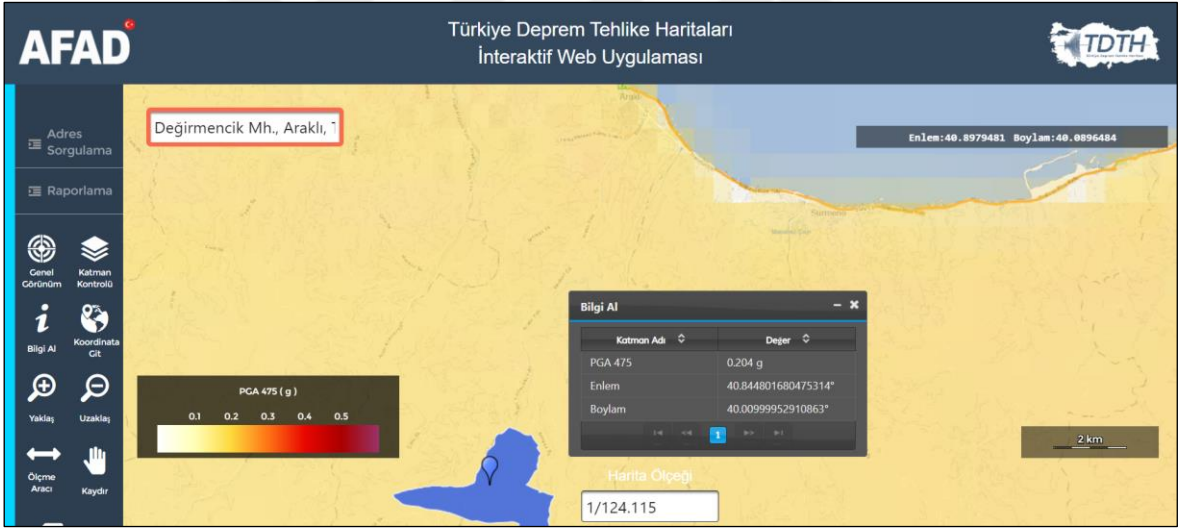
Proje kapsamında yapılan sondajlarda da sadece 3 adet sondajda yeraltı suyuna rastlanılmış, belirlenen suyun kaya yamaç molozu dokanağının 1-2 metre üstünde olduğu belirtilmiştir. Bu durum yamaç molozlarının (paleo-heyelan malzemesi) yer altı suyu içermediğini, yüzeyden yağışla sızan suların ana kaya dokanağında lokal birikmeye (ana kaya geçirimsiz olduğu için) neden olduğunu göstermektedir. Ancak yapılacak yamaç

duraylılık analizlerinde yeraltı suyundan kaynaklanacak gözenek suyu basınçlarındaki artış dikkate alınarak analizler yapılacaktır.

3.4. Çalışma Alanı ve Çevresinin Depremselliği

Bir bölgede vuku bulan depremlerin coğrafyaya dağılımı, oluş zamanları, büyüklükleri, mekanizmaları ve ürettikleri hasarlar o bölgenin depremselliğini tanımlamaktadır. Bir bölgeye ait sismik risklerin değerlendirilmesi amacıyla yapılan faaliyetler ise daha çok depremsellik çalışmalarıdır.

Çalışma kapsamında, olası bir deprem etkisi ile uygulanacak patlama etkisinin karşılaştırmasını sağlayacak veri 2018 TBDY göz önünde bulundurularak AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritasından temin edilmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Çalışma alanının AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritasındaki konumu ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyine göre maksimum yer ivmesi değeri (URL 3 – 2023)

Bu durumda 2018 TBDY dikkate alınarak; “deprem yer hareketi yüzeyi” DD-2 olarak (ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 tekrarlanma periyodu 475 yıl) “yerel zemin sınıfı” ZD olarak (Tablo 12) alınmış ve aşağıdaki değerler elde edilmiştir. ZD değeri belirlenirken proje kapsamında arazi çalışmalarında ölçülen en düşük enine dalga hızı (V_s) değerleri kullanılmıştır ($V_s = 300$ m/s).

Tablo 12. 2018 TBDY'ye göre yerel zemin sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		(V _s) ₃₀ [m/s]	(N ₆₀) ₃₀ [darbe/30 cm]	(c _u) ₃₀ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	>1500	-	-
ZB	Az ayrıışmış, orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrıışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya PI>20 ve w>%40 koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası (c _u <25 kPa) içeren profiller	<180	<15	<70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.) 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI>50) killer 4) Çok kalın (>35 mm) yumuşak veya orta katı killer.			

S_s (Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı) = 0,474

S₁ (1 sn periyot için harita spektral ivme katsayısı) = 0,125

3.5. İletim Tüneli Kazı Patlatmaların Paleo-Heyelanlara Etkisi

3.5.1. Giriş

Eğime sahip, herhangi bir düzeni ve belirgin geometrik özelliği olmayan yüzeyler doğal yamaçları; eğimi olan, mühendislik faaliyetlerinin çeşitli amaçları gereği yapılan yüzey kazıları sonucu ortaya çıkan ve düzgün bir geometrik görüntüye sahip olan yüzeyler de şevleri ifade etmektedir. Yerini ve konumunu koruyan bir cismin gerçekleştirdiği bu eyleme duraylılık yani stabilite denirken, bu eylemin aksine de duraysızlık denmektedir. Şevin üzerinden kayan kütlelerin sınırları dâhilinde oluşan bir makaslama yenilmesi ve/veya yerçekimi sebebiyle şevi meydana getiren malzemenin aşağı şev ve şev önündeki boşluğa doğru ilerlemesine ise “şev duraysızlığı” denir. Kazı, dolgu tipi baraj, atık yığını, yol dolgusu ve pasa gibi şev çeşitlerinin az masraflı ve güven içerisinde tasarlanması için iki aşamada şev duraylılığı analizi gerçekleştirilmektedir:

- Ön Analizler: Analiz sonucunu etkileyebilecek jeolojik ve çevresel koşulların tespit edilmesi ve ekonomi çerçevesinde incelenmesidir.

b) Ayrıntılı Analizler: Şevin tekrarlanma aralığının araştırılması, duraysızlık özelliklerinin ortaya koyulması, bunların ardından tasarlanması ve iyileştirilmesi üzerine metodların tespitidir.

Şev duraylılık değerlendirmelerinde sıklıkla tercih edilen ve güvenlik katsayısını (F) tespit etme imkânı sunan limit denge analizlerinin kökeni; eğime sahip bir yüzeyin üzerinde yer alan bloğa etki eden, hem kaymayı sağlayan hem de kaymaya karşı koyan kuvvetlerin denge halinde olduğunu kabul eden “limit denge” kavramından gelmektedir (Goodman 1995). Söz konusu yöntemlerde, yenilme yüzeyinin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri ile kayan kütle ağırlığı, boşluk suyu basıncı, dinamik yükler ve dış yükler baz alınarak tespit edilen güvenlik katsayısı (F), şeve etki gösteren bütün kuvvetlerin yayma yüzeyine bileşenlerini dik ve paralel olarak ayrılmasıyla hesaba dökülür. Düzlemin üzerinde aşağıya doğru etki gösteren kesme kuvvetlerin vektörel toplamı kaydıran kuvvetler olarak ifade edilirken, toplam normal kuvvetlere ait içsel sürtünme açılarının tanjantı ile çarpımı sonucu elde edilen değer kohezyon değeriyle toplanmasına ise direnen kuvvetler denmektedir. Kayan bloğa ait F değeri ise direnen kuvvetler ile kaydıran kuvvetler arasındaki oran değeridir (Wyllie and Mah 2004). Basamağa ait genişlik değeri, şev ait yükseklik ve yönelim, tespit edilen F değerleri gibi tasarıma yön veren etkenlerin dikkate alınmasıyla belirlenen en uygun değer şeve ait tasarımın ortaya çıkmasını sağlar.

Limit denge analizleri duraysızlık modeliyle bağlantılı olmakla birlikte, kayan kütlelerin dilimlere ayrılmasının ardından ilk olarak bu dilimlerin bir birinden bağımsız olmak üzere tek tek, devamında ise bütün dilimlerin bir arada değerlendirilmesiyle kayan kütlelerin denge koşulunun ve tetkik edilen şeve ait minimum güvenlik katsayısının hesap edilmesi temeline dayanır. Yenilme (kayma) yüzeyi üstünde bulunan malzeme serbest bir kütle olarak değerlendirilir. Hesaplamaların ardından varılan sonuç (güvenlik katsayısı, F) yalnızca tetkik edilen yenilme yüzeyine aittir. Hesaplamalar en küçük F değerini sağlayan kritik kayma yüzeyi tespit edilene dek sürdürülür. Bulunan en küçük F değeri, tetkik edilen duraysızlık türü için o şeve ait güvenlik katsayısı olarak kabul edilir.

Bu yöntemler:

- i. Kayan kütlelerin ağırlığı (W)
- ii. Malzemenin makaslama dayanımı (c , ϕ)
- iii. Gözenek suyu basıncını (u)
- iv. Şevin geometrisini
- v. Sismik koşullar ve dış yükleri dikkate alır.

Şev duraylılığı analizlerinin öncül hedefleri şu şekilde özetlenebilir:

- 1) Değişik şartlarda, ayrı özelliklere sahip şevlere ait duraylılığın incelenmesi,
- 2) Şeve ait yükseklik ile malzeme parametrelerinin birbirleriyle olan etkileşimlerinin tetkik edilmesi (duraylılık analizi),
- 3) Kaymanın (duraysızlık) işleyiş biçiminin tespiti,
- 4) Şevin tasarımının güncellenmesi ve iyileştirici (duraylılığı artırıcı) metodların saptanması,
- 5) Şev duraylılığı üzerinde etki gösteren su, yapı stoğunun artışı, yol kazıları, trafik, deprem vb. gibi dış yüklerin, etkenlerin şev duraylılığına etkisinin incelenmesidir.

Tüm bu detaylar ışığında, tez çalışması dahilinde şev ve duraylılık tetkiklerinin dayandırılacağı arazi çalışmaları gerçekleştirilmiş, sondaj ve jeofizik çalışmaları sonucunda hem düşey hem de yanal olmak üzere paleo-heyelan malzemesinin devamlılığı incelenmiş, arazi deneyleri aracılığıyla heyelan malzemesinin jeoteknik özellikleri tespit edilmiştir. Bulunan sonuçları kullanarak, değişik şartlarda kütle hareketi riski limit denge analizleri üzerinde araştırılmıştır.

3.5.2. Yamaç Duraylılık Yönteminin Seçimi

Zemin, şev/yamaç duraylılık analizleri öncelikle kayan kütlelerin dilimlere ayrılarak her bir dilimi kendi içinde, bundan sonra ise tüm dilimler baz alınarak dengenin tespit edilmesi üzerinedir. Yapılan işlemlerin sonucu (güvenlik katsayısı, F) sadece incelenen yenilme yüzeyi için kabul görmeye birlikte, en küçük F değeri sonucuna ulaştıran kritik kayma yüzeyi bulunana kadar hesaplamalara devam edilir.

Şevin yüzeyi ile kayma yüzeyinin aralarında bulunan ve kayma eylemini gerçekleştiren kütleyi düşey yönde dilimlere ayırma yöntemi Fellenius (1936; Nash, 1987'den) tarafından geliştirilmiştir. Denge koşulları öncelikle her dilimin kendi içerisinde değerlendirilir, daha sonra bütün dilimler bir arada incelenerek kayan kütle için şeve ait güvenlik katsayısı bulunur. Şevleri dilimlere ayırırken, çok sayıda malzeme içeriğine sahip olan şevlerde her bir dilimin tabanında tek tip malzeme bulunmasına ve dilimlerin genişliğinin olabildiğince daraltılarak tabanda bulunan kayma yüzeyinin parçalarına eş değer bir doğru biçiminde olmasına hassasiyetle özen gösterilir. Bu yöntem bilgisayara ihtiyaç kalmadan da çözüm sunabilmektedir. Diğer yöntemlerle kıyaslandığında, uygulamasının kolay bulunduğu bu yöntemde, kayan kütle dilimlere ayrılırken, yenilme

kıstası Mohr-Culomb olmaktadır. Yöntem, dairesel kaymalara yönelik uygulanmaktadır ve yalnızca dikkate alınan parametre kayma merkezinin çevresinde kaymaya karşı ve kaydırıcı kuvvetlerin moment dengesidir. Bu yöntem moment dengesi için yalnızca bir eşitliği taşımaktadır. F'nin tespitini sağlayan yöntemde, dilimlerin birbirini etkileyen kuvvetlerden düşeyi yok sayılmaktadır, diğer kuvvet ise incelenen dilimin tabanına paralel olarak etki gösterdiği kabul edilir.

Dairesel kayma yüzeyleri analizlerinde en yaygın kullanılan yöntem Bishop (1955) tarafından geliştirilmiştir. Bishop yönteminin iki farklı çeşidi vardır. Bunlar, yalnızca moment dengesini temel edinen Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi ve moment dengesinin yanı sıra kuvvetlerin dengesini de dikkate alan Karmaşık Bishop yöntemidir. Söz konusu yöntemde momentlerin dengesi esas alınmaktadır. Ayrıca yanal kuvvetlerin farkının ihmal edilebilecek kadar küçük düzeyde olduğu varsayılır.

Dairesel özellik taşımayan, bununla birlikte dairesel başlangıca sahip olup düzlemsel devam eden kayma yüzeyleri için Janbu (1973) tarafından önerilen bu yöntem tercih edilmektedir. Uygulamalarda genellikle basitleştirilmiş hali kullanılmaktadır. Bu basitleştirilmiş versiyona göre dilimler arasında var olan kuvvetlerin sıfır olduğu var sayılır. Düzeltilmemiş güvenlik katsayısı bulunurken, yatay yönde bulunan kuvvetlere ait denge analizler aracılığıyla gözden geçirilir.

Bu çalışma özelinde ortama ait özellikler de hesaba katılarak, derinliği olan ve dairesel başlangıç gösterip düzlemsel devamlılık sunabilecek kayma yüzeyleri de dikkate alındığında iki boyutlu Janbu Yöntemi kullanılarak yamaç duraylılık analizleri yapılmış ve bulunan güvenlik sayısı değerleri yorumlanmıştır.

3.5.3. Güvenlik Sayısı Kavramı ve Seçimi

Her şevin tasarımı kendisini oluşturan bileşenlerin tabiatı ve jeolojik koşulları nedeniyle birbirinden farklılıklar gösterebilir, bu yüzden analizlerde bazı belirsizlikler ortaya çıkabilir. Söz konusu belirsizliklerin gerekçeleri; şevde ve kayma yüzeyinde gözlemlenen geometri, saha ve laboratuvara ait donelerin değerlendirilmesi, çalışma alanının sismik niteliklerinin tespitinde karşılaşılan zorluklar ve tasarımcının karşılaşılan şev sorunuyla ilgili bilgi yetersizliği şeklinde sıralanabilir.

Bahsi geçen belirsizlikler sebebiyle, birçok defa riskler oluşmuştur. Bu belirsizliklerin güvenlik katsayısı (F) tarafından bertaraf edilmesi benimsenmiş bir tercihtir. Başka bir

deyişle güvenlik katsayısı, tasarım parametrelerinin sahip olduğu belirsizlikleri ve yenilmenin (kaymanın) neticelerini tolere edebilmelidir. Bu sebeple, güvenlik katsayısı tercihi ve çeşitli amaçlar doğrultusunda bu katsayıdan yararlanılması için duraysızlık kavramının doğaya, insan hayatına, yapılara, yerleşim bölgelerine karşı oluşturduğu riskin seviyesi, analizlerin temelini oluşturan değişkenler, olası sismik kökenli riskler gibi etkenler çerçevesinde çeşitli kuruluşlar güvenlik katsayıları tavsiyelerinde bulunmaktadır. Güvenlik katsayıları, genellikle muhtemel deprem riski ve yeraltı suyu kökenli gözenek suyu basıncı değişkenlerini göz önünde bulundurarak tercih edilse de bilhassa zeminlere ait makaslama direnci parametreleri faktörü de dikkate alınarak tayin edilebilir (Tablo 13 ve 14).

Tablo 13. ABD ve İngiltere tarafından önerilen şev/yamaç duraylılığına yönelik farklı şartlar için kabul edilen en küçük güvelik sayıları (F) (Huang, 1983)

	Koşul	En Küçük F
1	Kazı Sonu	1,3
2	Gözenek suyunun zamana bağlı olarak sönümlenmesi	1,5
3	Deprem riskinin dikkate alınması	1,0

(ABD, Federal Register, 1977)

	Koşul	En Küçük F (Afet Potansiyeli Açısından)		
		Yüksek	Orta	Düşük
1	Laboratuvarda belirlenmiş makaslama dayanım parametrelerinin kullanılması	1,5	1,4	1,3
2	Çalışılan saha için belirlenen en yüksek deprem ivmesinin kullanılması	1,2	1,1	1,0

(ABD, 1975)

	Koşul	En Küçük F	
		Yaşam Tehlikesi Var	Yaşam Tehlikesi Yok
1	Kayma yüzeyi boyunca doruk makaslama dayanımı kullanımı	1,5	1,25
2	Kayma yüzeyi boyunca artık makaslama dayanımı kullanımı	1,35	1,15
3	Kayma yüzeyinin suyla dolmuş ve makaslama dayanımı olmayan derin ve düşey bir çatlaktan geçmesi	1,35	1,15
4	Hem 2. hem de 3 nolu koşul	1,2	1,1

(İngiltere, National Coal Board, 1970)

Tablo 14. Kanada tarafından önerilen şev/yamaç duraylılığına yönelik farklı şartlar için kabul edilen en küçük güvenlik sayıları (F) (Huang, 1983)

	Koşul	En Küçük F	
		Yaşam Tehlikesi Var	Yaşam Tehlikesi Yok
1	Tasarımda doruk makaslama dayanımı kullanımı	1,5	1,3
2	Tasarımda artık makaslama dayanımı kullanımı	1,3	1,2
3	Analizlerde 100 yıllık dönüşüm periyoduna göre deprem ivmelerinin dikkate alınması	1,3	1,1
4	Yatay düzlem üzerinde gelişen kaymalar için ince taneli malzeme dayanımı sıfır olması	1,3	1,3

(Kanada, Mines Branch, 1971)

3.5.4. Yamaç Duraylılık Analizleri

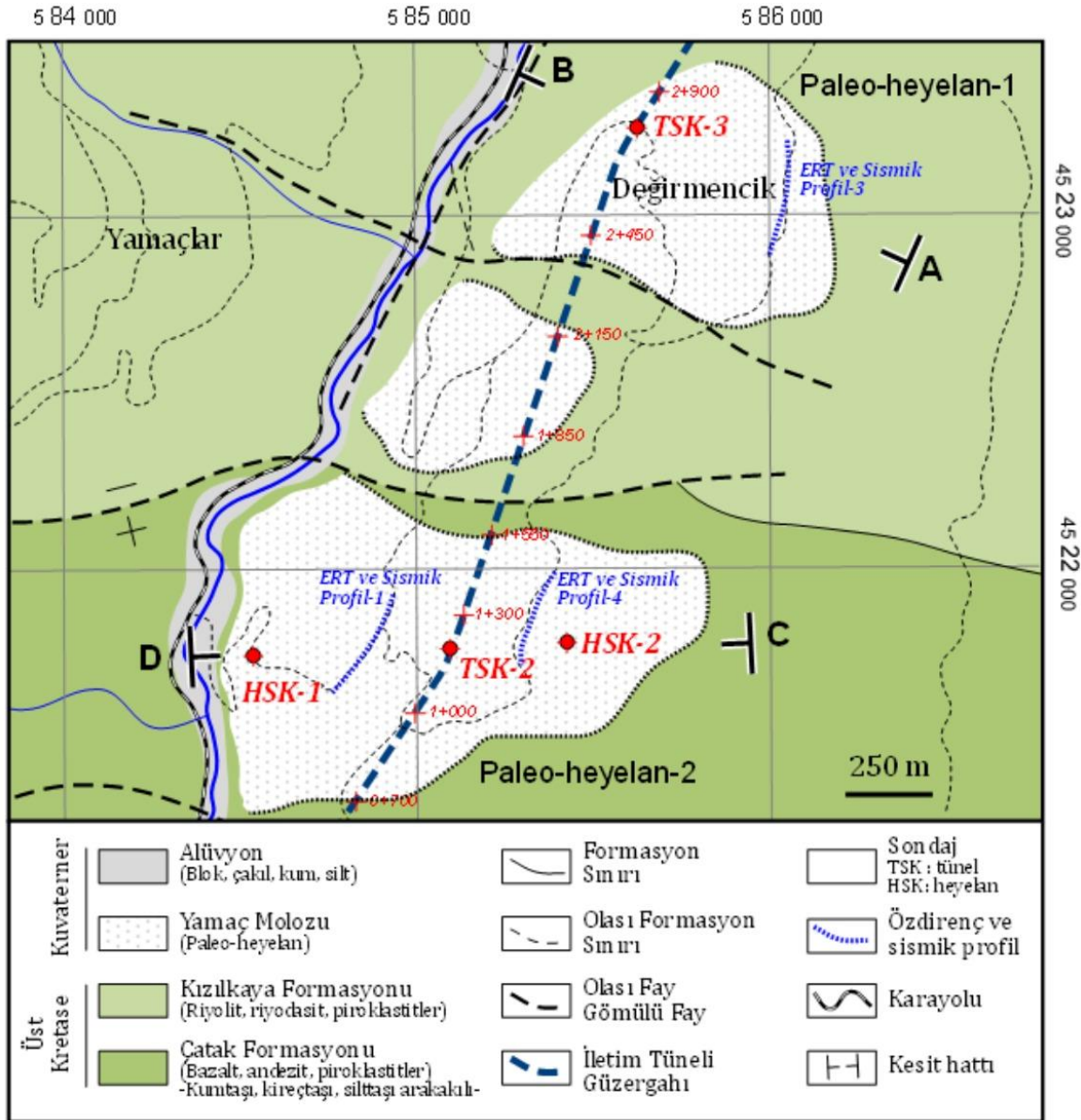
3.5.4.1. Mevcut Durum İçin Duraylılık Analizi

Çalışmanın ilk aşamasında mevcut koşullardaki güvenlik katsayısının tespiti ve farklı koşullar altında bu güvenlik katsayısının değişimini görmek, değerlendirmek amacıyla duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Duraylılık analizleri yapılırken Şekil 13'teki jeolojik harita dikkate alınmıştır.

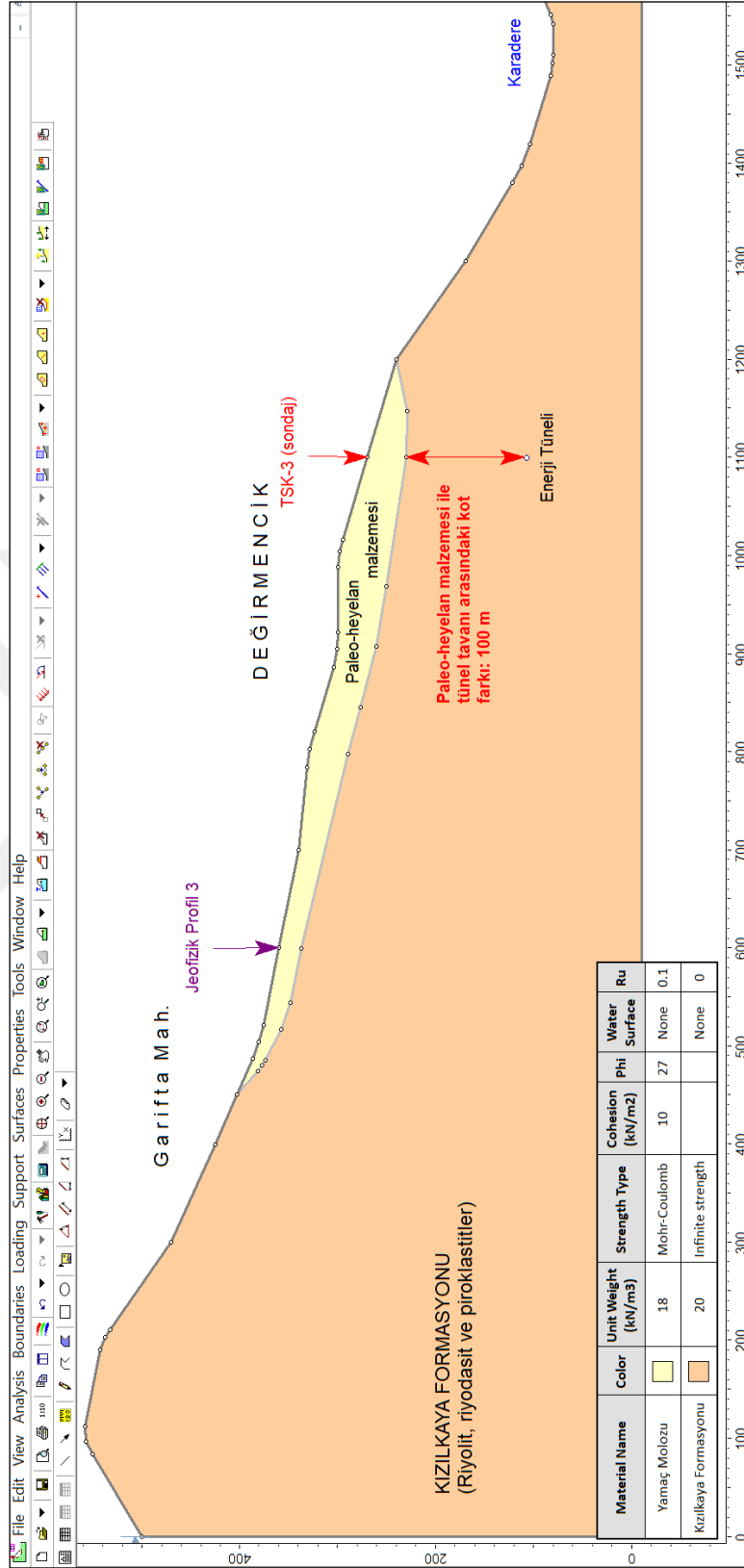
Limit denge analizlerinde; dairesel yenilme temeli üzerine kurulu duraylılık yöntemleri, gelişigüzel bir şevi meydana getiren zeminin çok zayıf kaya sınıfında olması, atık veya pasa malzemelerin gerek fiziksel gerekse de mekanik özellikleri şev boyu fazlasıyla değişkenlik göstermesi halinde veyahut bloklu yamaç molozunun varlığı söz konusu olduğunda beklentileri karşılayamamaktadır. Bu sebeple, çalışma kapsamında yapılan limit denge analizleri Janbu (1956, 1973) yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Yöntem kuvvet dengesi şartlarını sağlayan çözümlere sahip olduğu gibi her türde kayma yüzeyine de uygulanabilmektedir. Üç bilinmeyen ve üç denkleme yapılan hesap, yöntemin temelini oluşturmaktadır. Temel düzeyde Bishop Yöntemine benzeyen bu yöntem, herhangi bir yenilme yüzeyine uygulanabilir olmasıyla Bishop Yönteminden sıyrılmaktadır.

Proje kapsamında iki farklı paleo-heyelan kütesinden farklı kesitler alınmış ve duraylılık analizleri için yamaç molozunun en kalın olduğu bölge baz alınmıştır. Sondaj logları ile jeofizik ölçüm sonuçlarından enine kesitlerin hazırlığında faydalanılmıştır. Şekil

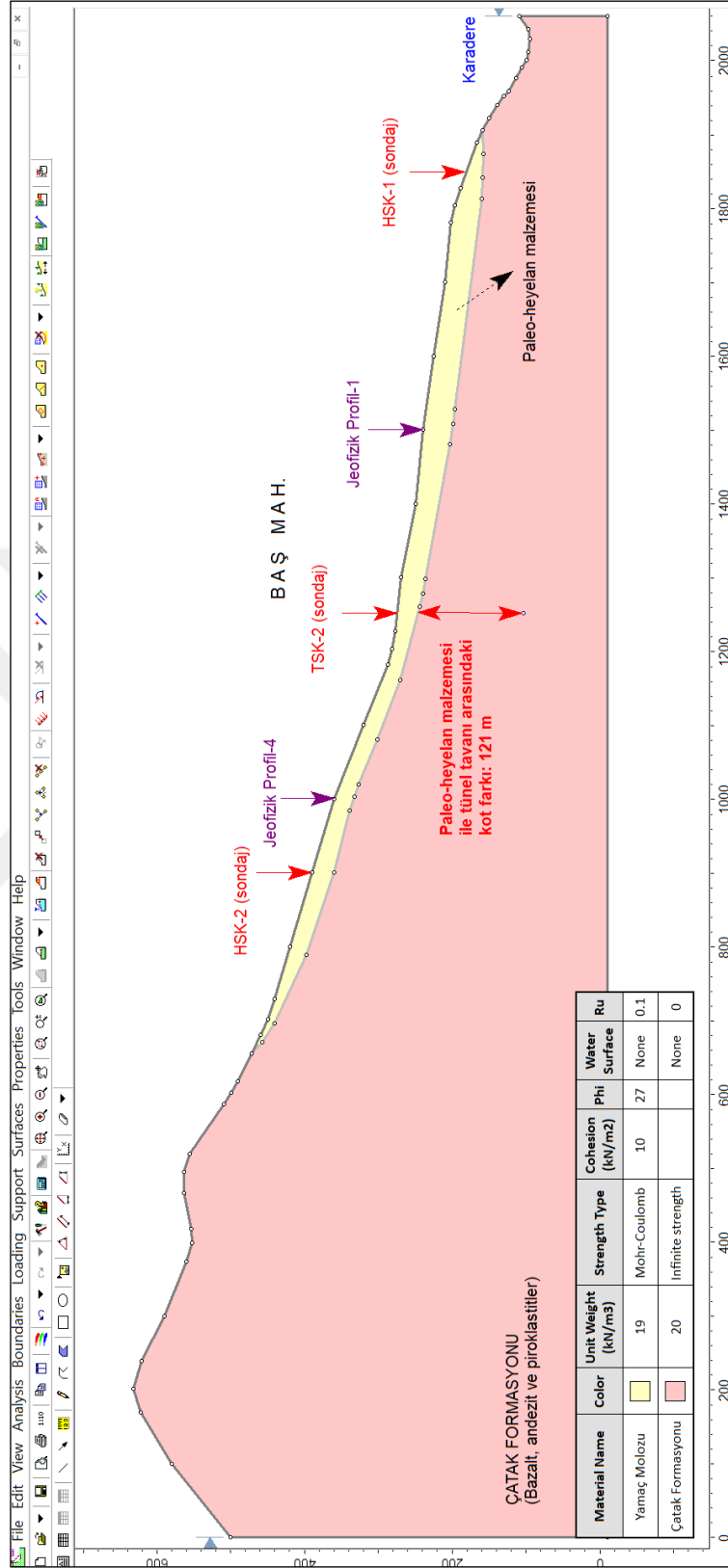
13'te jeoloji haritası üzerinde duraylılık analizlerinin yapılacağı kesit hatları, Şekil 14 ve 15'te ise limit denge analizleri yapılacak kesitler ve girdi parametreleri verilmiştir. Yapılan çalışmada jeoloji haritası 1/25.000 ölçekli topoğrafik harita kullanılarak hazırlanırken, duraylılık çalışmalarında kullanılacak kesitler topoğrafik ölçümler sonucunda hazırlanmıştır.



Şekil 13. Şev duraylılığı yapmak için farklı heyelan kütlelerinden alınan kesit hatları



Şekil 14. A-B jeolojik kesiti ve şev duraylılık analizlerinde kullanılan girdi parametreleri (paleo-heyelan-1)

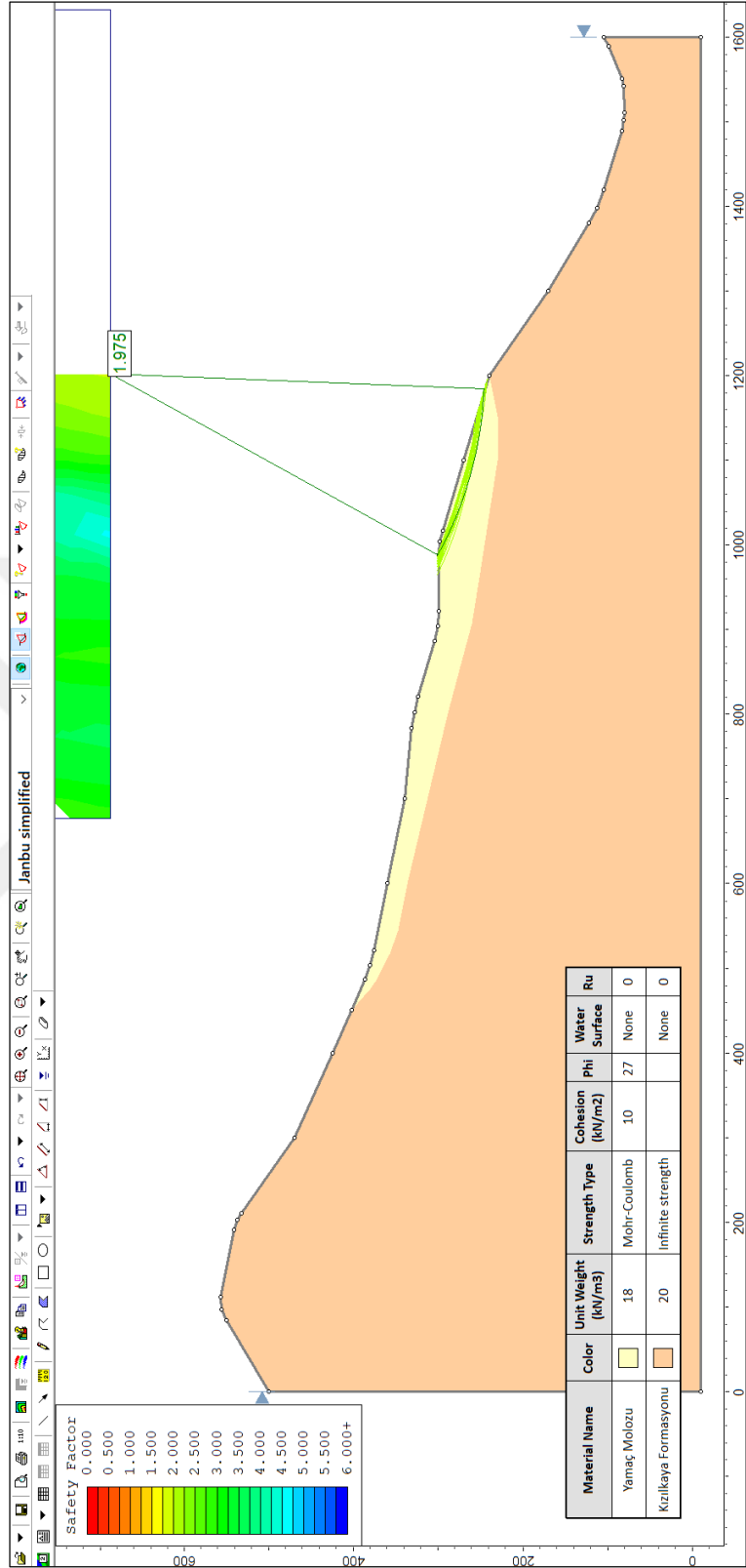


Şekil 15. C-D jeolojik kesiti ve çevre duraylılık analizlerinde kullanılan girdi parametreleri (paleo-heyelan-2)

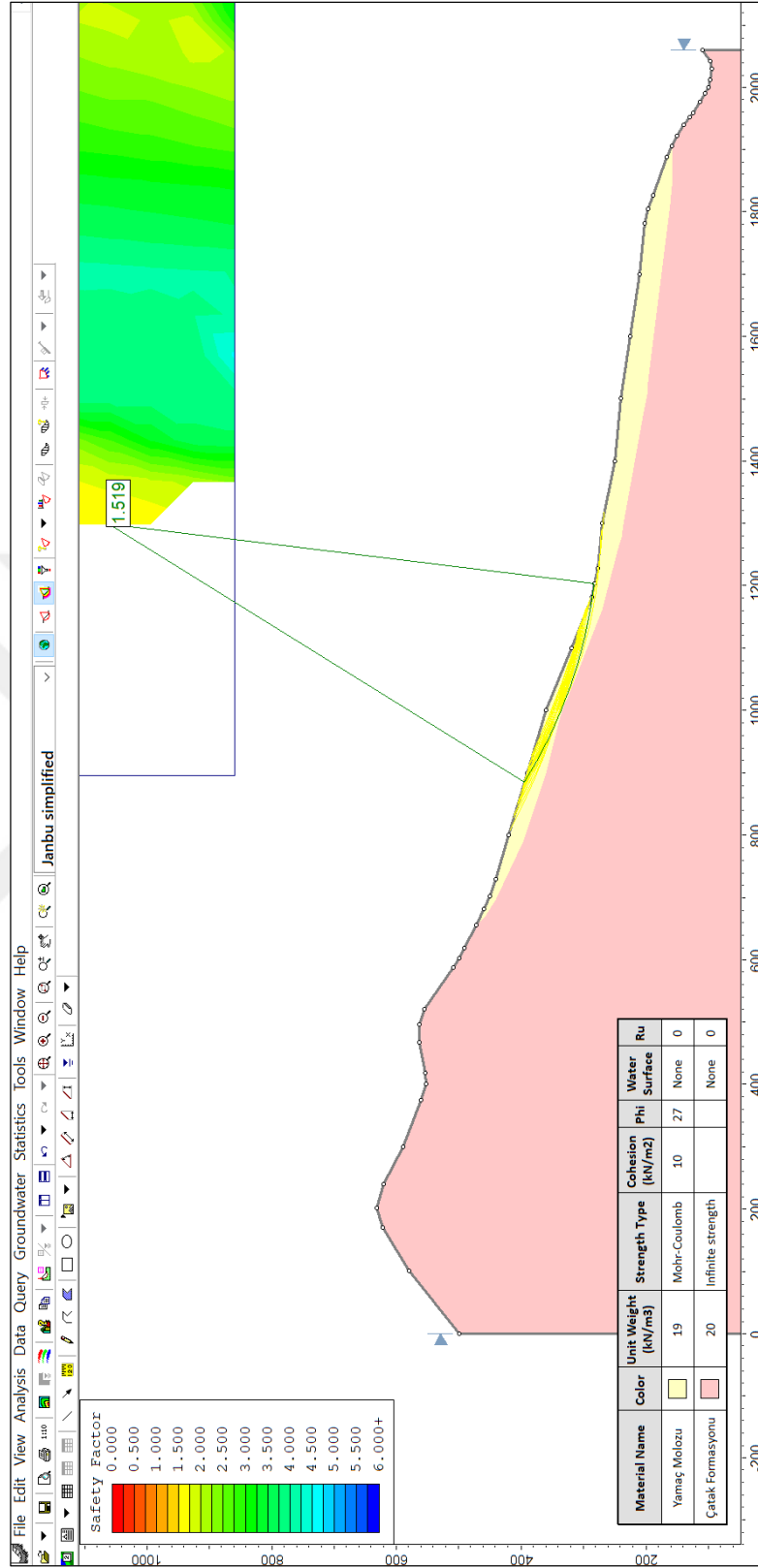
Mevcut koşulu modellemek için ilk analizlerde; deprem durumu, yağış etkisi ve patlatma kaynaklı titreşim etkisi dikkate alınmamıştır.

Çalışma kapsamında mevcut koşul için her iki kesitte yapılan limit denge analiz sonuçları Şekil 16 ve Şekil 17’de verilmiştir. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, her iki paleo-heyelan kütleleri için güvenlik sayısı değerinin sırasıyla 1.98 ve 1.52 olduğu görülmektedir. Tablo 13 ve Tablo 14’teki değerler dikkate alındığında, güvenlik sayısı değerleri > 1.50 olduğu için mevcut durumda kütleli bir yenilme riski olmadığı görülmektedir.





Şekil 16. A-B jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu



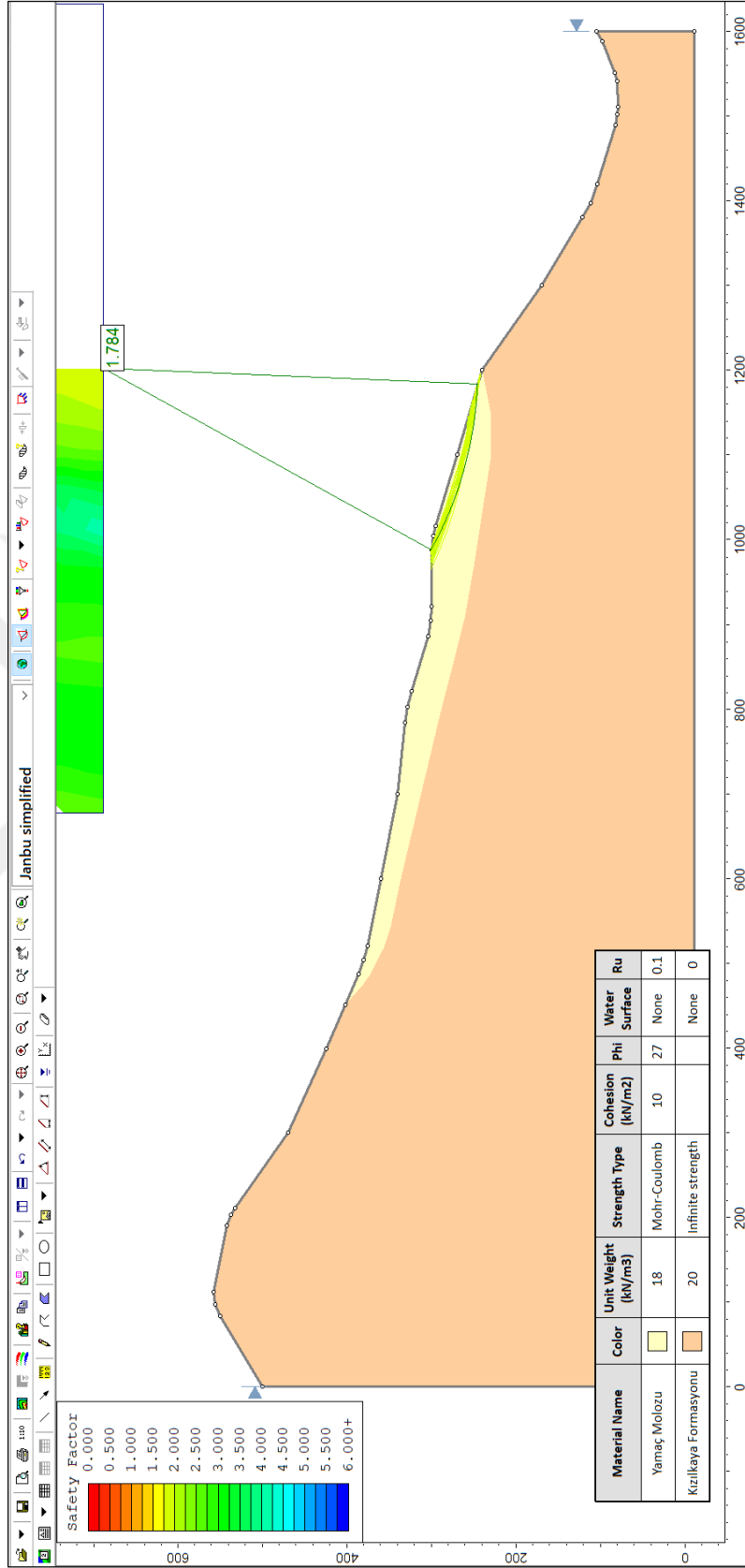
Şekil 17. C-D jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu

3.5.4.2. Yağış Etkisi Dikkate Alınarak Duraylılık Analizi

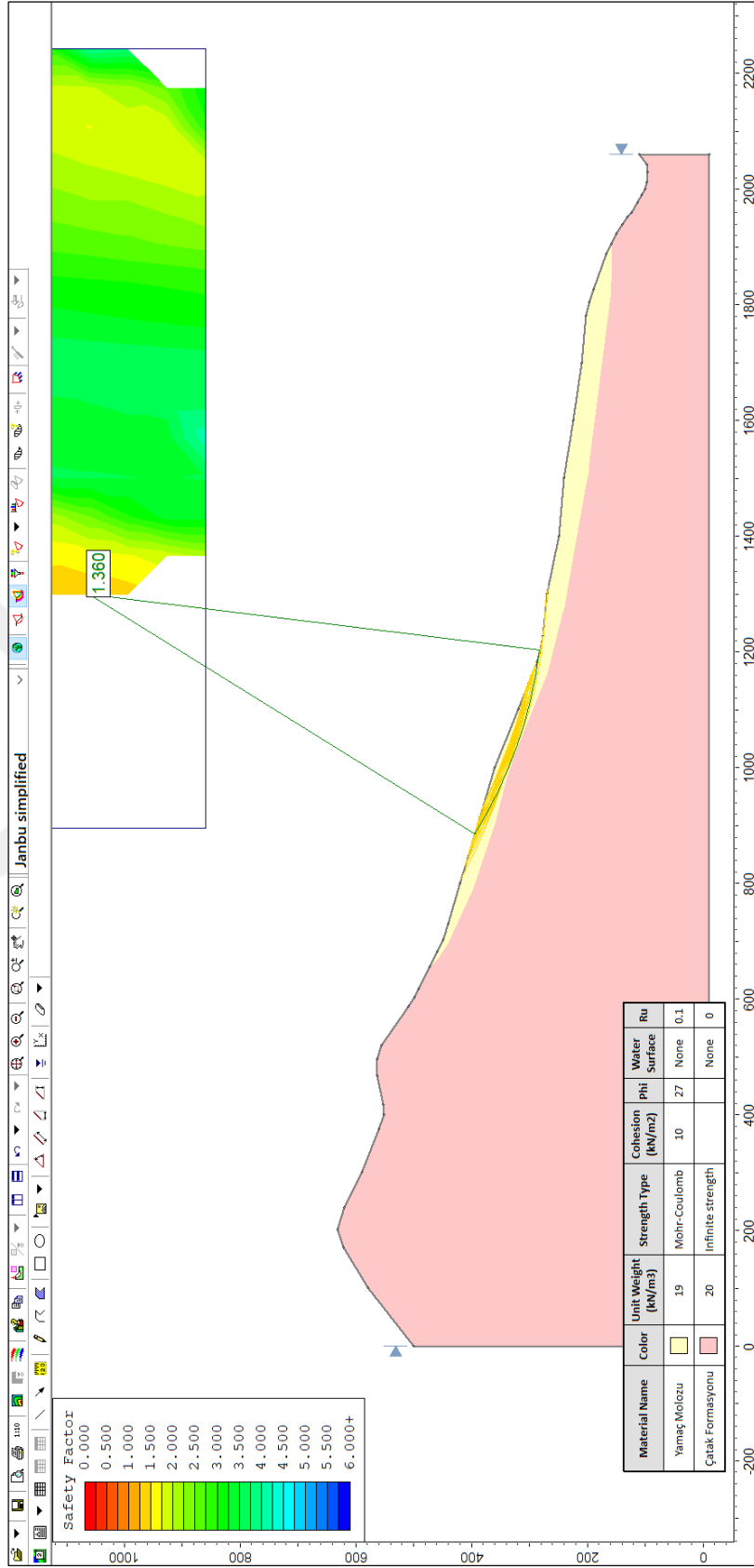
Çalışmanın ikinci aşamasında mevcut koşula ek olarak yağış etkisi duraylılık analizlerine eklenmiş, bu analizlerde deprem durumu ve patlatma kaynaklı titreşim etkisi dikkate alınmamıştır.

Bishop ve Morgenstern (1960) tarafından geliştirilen şev stabilite çizelgeleri dikkate alındığında, heyelan çalışmalarında gözenek suyu basıncının tanımlanmasını gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Böyle bir yaklaşımda, gözenek suyu basıncını r_u olarak adlandırılan bir oran ile tanımlanmaktadır. Bir kesit boyunca değişiklik sunmasına rağmen çalışma kapsamında 0.1 olarak kabul edilmiştir.

Çalışma kapsamında yağış durumu dikkate alınarak ($r_u = 0,1$) her iki kesitte yapılan limit denge analiz sonuçları Şekil 18 ve Şekil 19'da sunulmuştur. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, her iki paleo-heyelan kütlesi için güvenlik sayısı değerinin sırasıyla 1.78 ve 1.36 olduğu görülmektedir. Tablo 13 ve Tablo 14'teki değerler dikkate alındığında, güvenlik sayısı değerleri > 1.35 olduğu için yağış etkisinde kütleli bir yenilme riski olmadığı görülmektedir.



Şekil 18. A-B jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu



Şekil 19. C-D jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu

3.5.4.3. Deprem Etkisi Dikkate Alınarak Duraylılık Analizi

2018 TBDY'ye göre şevlere ait duraylılık analizinde zemin türüne göre ideal olan bir göçme modeli oluşturularak, zemin veya kaya kütlelerinin denge halinin araştırılması gerekliliği belirtilmiştir. Buna göre bir şevin tamamıyla göçme durumuna karşı güvende kalması için aşağıdaki eşitlikte verilen koşul sağlanmalıdır:

$$E_t \leq \frac{R_t}{\gamma_{RK}} \quad (1)$$

Bu eşitlikte, E_t göçmeye zorlayan etkiler toplamını, R_t göçmeye karşı koyan etkiler ve dirençler toplamını, γ_{RK} ise kaymaya karşı tasarım güvenlik sayısını ifade etmektedir.

Kaymaya karşı güvenlik sayısına (γ_{RK}) ardışık yaklaşımla erişilmektedir. Hususi riskler taşıyan durumlar haricinde $\gamma_{RK} \geq 1.10$ toptan kaymaya karşı yeterli bulunan güvenlik düzeyi olarak baz alınır (Bakınız Tablo 13 ve 14).

2018 TBDY dikkate alınarak, çalışma kapsamında duraylılık analizleri yapılmış, 50 yılda aşılma olasılığı %10, tekrarlanma periyodu 475 yıl olmak üzere deprem yer hareketi yüzeyi "DD-2" olarak, yerel zemin sınıfı ise "ZD" olarak (Tablo 12) alınmış aşağıdaki değerler elde edilmiştir. Yönetmeliğe göre yatay ve düşey eşdeğer deprem katsayısı değerleri (k_h ve k_v) aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplama yer alan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}), AFAD Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası kullanılarak 0.673 olarak belirlenmiştir.

$$k_h = 0.2 \times S_{DS} = 0.2 \times 0.673 = 0.135 \quad (2)$$

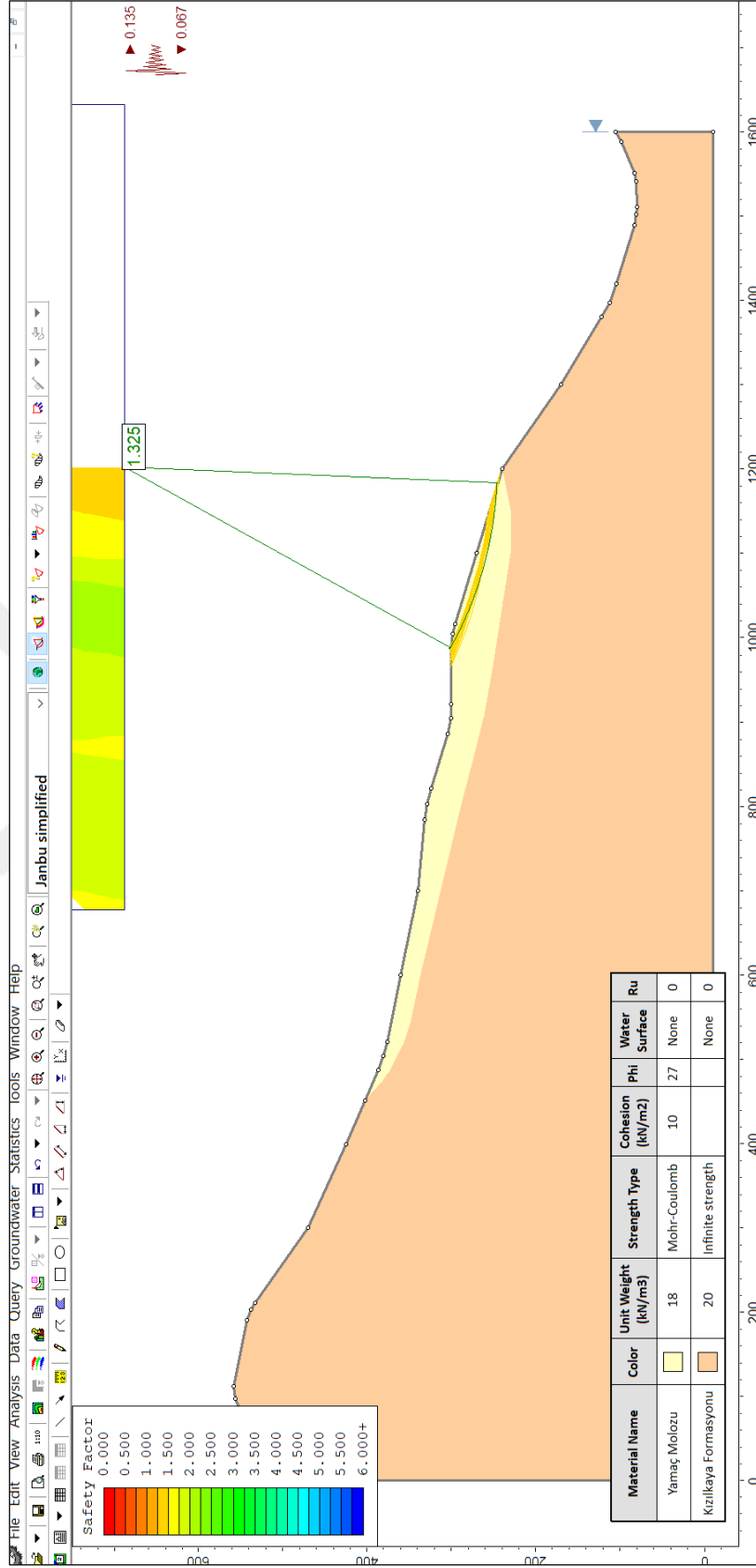
$$k_v = 0.5 \times k_h = 0.5 \times 0.135 = 0.067 \quad (3)$$

Çalışmanın üçüncü aşamasında mevcut koşula ek olarak deprem etkisi duraylılık analizlerine eklenmiş, bu analizlerde yağış durumu ve patlatma kaynaklı titreşim etkisi dikkate alınmamıştır.

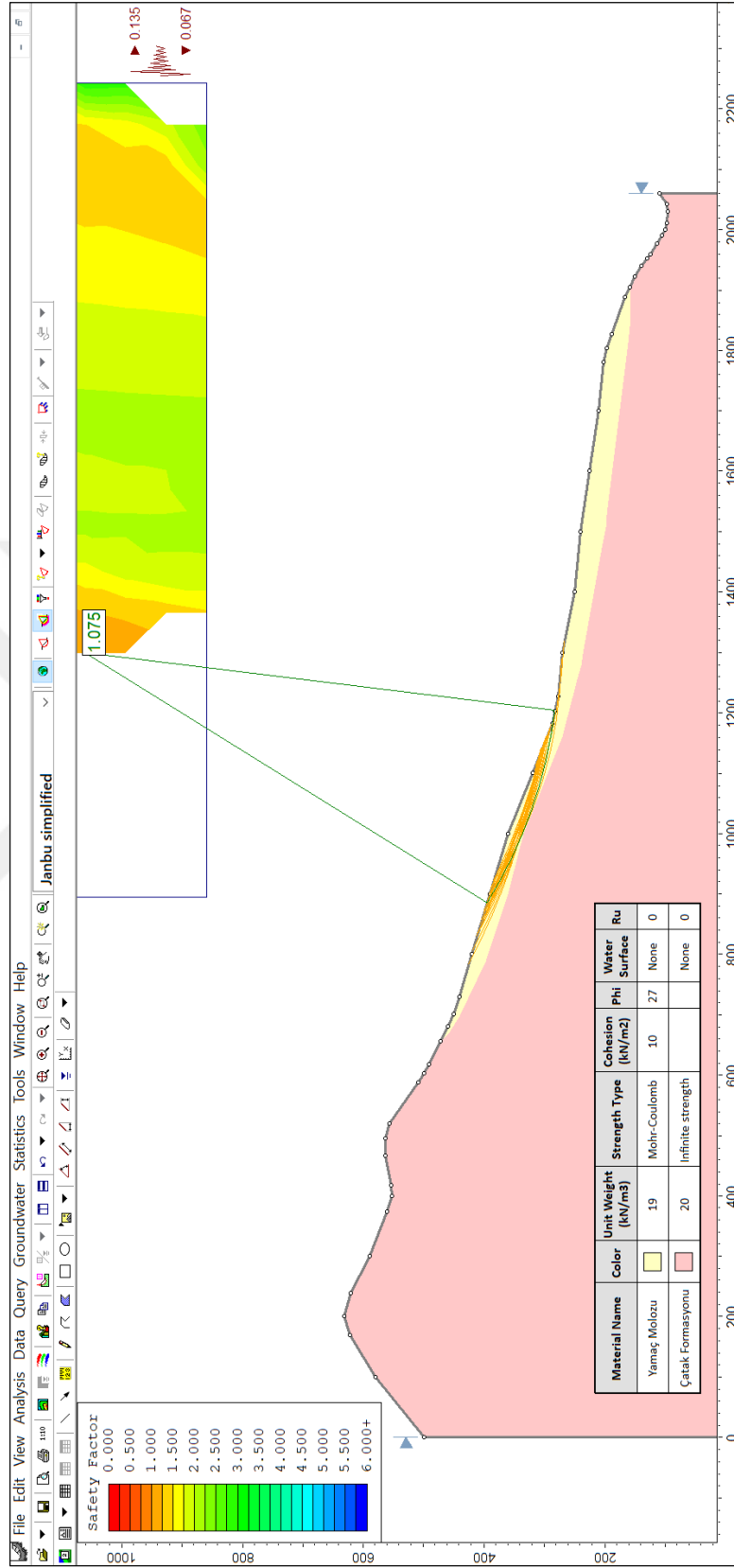
Çalışma kapsamında her iki kesitte deprem durumu dikkate alınarak yapılan limit denge analiz sonuçları Şekil 20 ve Şekil 21'de verilmiştir. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, her iki paleo-heyelan kütleleri için güvenlik sayısı değerinin sırasıyla 1.32 ve 1.08 olduğu görülmektedir. Tablo 13 ve Tablo 14'teki değerler dikkate alındığında,

güvenlik sayısı değerleri > 1.0 olduğu için deprem durumunda kütleli bir yenilme riski olmadığı görülmektedir. Ancak 2018 TB DY'ye göre bu değerler $\gamma_{RK} \geq 1.10$ koşulunu sağlamadığı için paleo-heyelan-2 olarak tanımlanan alanda depremin tetikleyeceği bir heyelan riskinin olabileceği anlaşılmıştır.





Şekil 20. A-B jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu



Şekil 21. C-D jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu

3.5.4.4. Tünel Patlatma Etkisi Dikkate Alınarak Duraylılık Analizi

Çalışma kapsamında, iletim tüneline yapılan patlatmalı kazı sırasında meydana gelecek titreşimin oluşturacağı etkiyi belirlemek için Oriard (1971) tarafından önerilen ve “Mesafe-Patlayıcı” ilişkisini göz önüne alan formül kullanılmıştır.

$$V_{max} = k \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta} \quad (4)$$

Burada; V: sismik dalga yayılma hızı (inch/sn), R: ateşleme noktasından uzaklık (feet), W: her bir gecikmeli atımda ateşlenen patlayıcı miktarı (libre), k ve β : arazi iletim katsayısı ve saha sönümlenme katsayısıdır (Galeri patlatması için $k=5-20$, $\beta=1.1$). Çalışma kapsamında, patlatmalı kazı sırasında patlatmayla oluşacak sismik katsayı (yer ivmesi) değerleri Power vd. (1998) tarafından yüzeydeki kaya ortamı için önerilen $V_{max}/a_{max}=66sn$ eşitliği kullanılarak belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan girdi parametreleri ve farklı patlayıcı miktarlarına göre hesaplanan pik parçacık hızı ve ivme değerleri Tablo 15 ve Tablo 16’da verilmiştir.

Tablo 15. Sismik dalga yayılma hızı hesaplanırken kullanılan değerler

Paleo-heyelan	Sondaj noktası	Kot (m)	Tünel kotu (m)	Heyelan kalınlığı (m)	Heyelan tabanı ile tünel mesafesi (m)	W (kg)	k	β
(1)	TSK-3	243.4	104.3	39	100	5 ve 10	20	1.1
(2)	TSK-2	252.5	105.1	27	121			

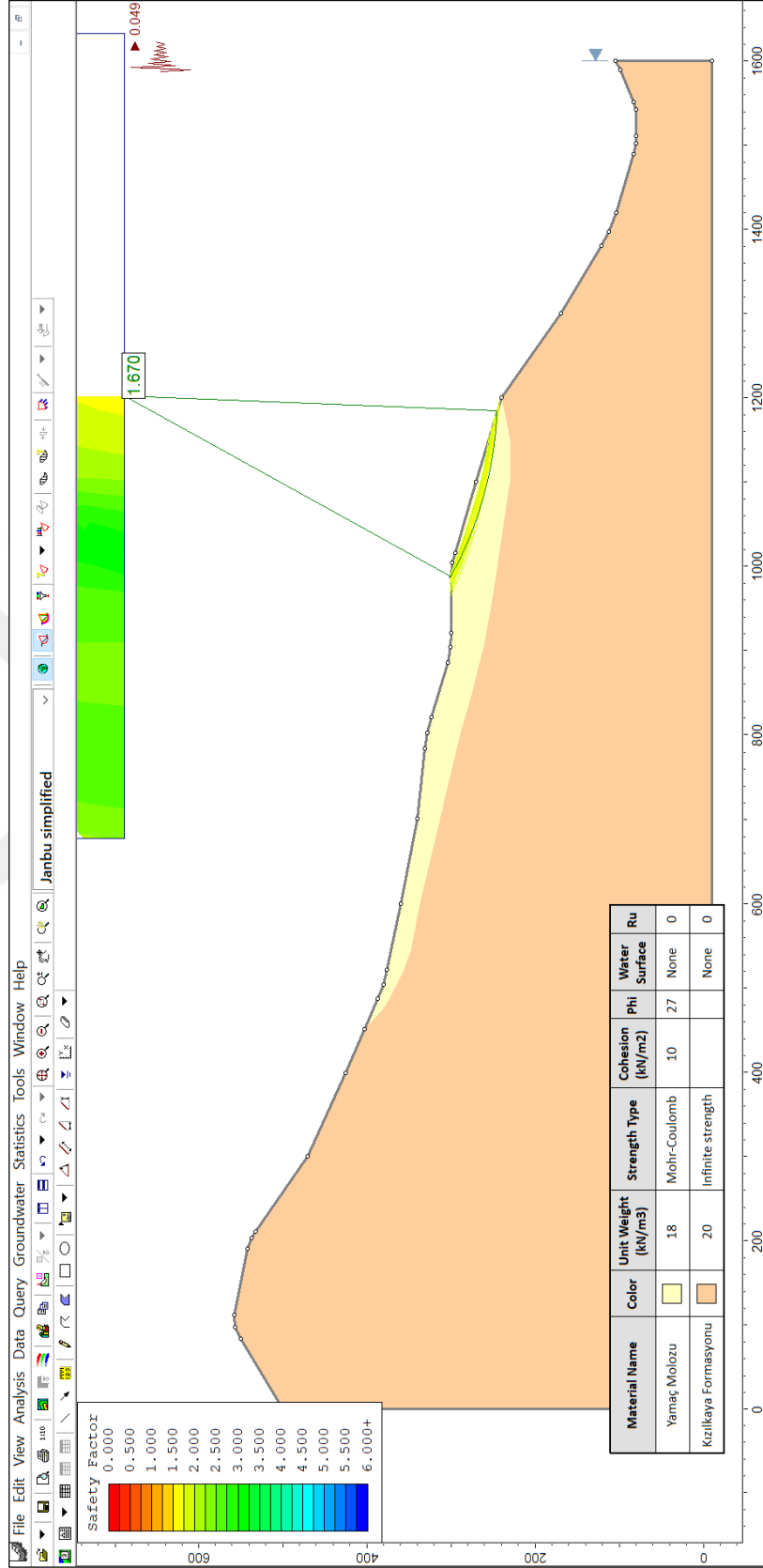
Tablo 16. Heyelan tabanı ile tünel tavanı arasındaki minimum mesafe (100 m, bakınız Tablo 15) dikkate alınarak gecikmeli atımda ateşlenen farklı patlayıcı miktarlarına göre hesaplanmış parçacık hızı ve yer ivmesi değerleri

	W: 5 kg	W: 10 kg		W: 5 kg	W: 10 kg
V_{max} (mm/s)	3.25	4.78	a_{max} (g)	0.049	0.070

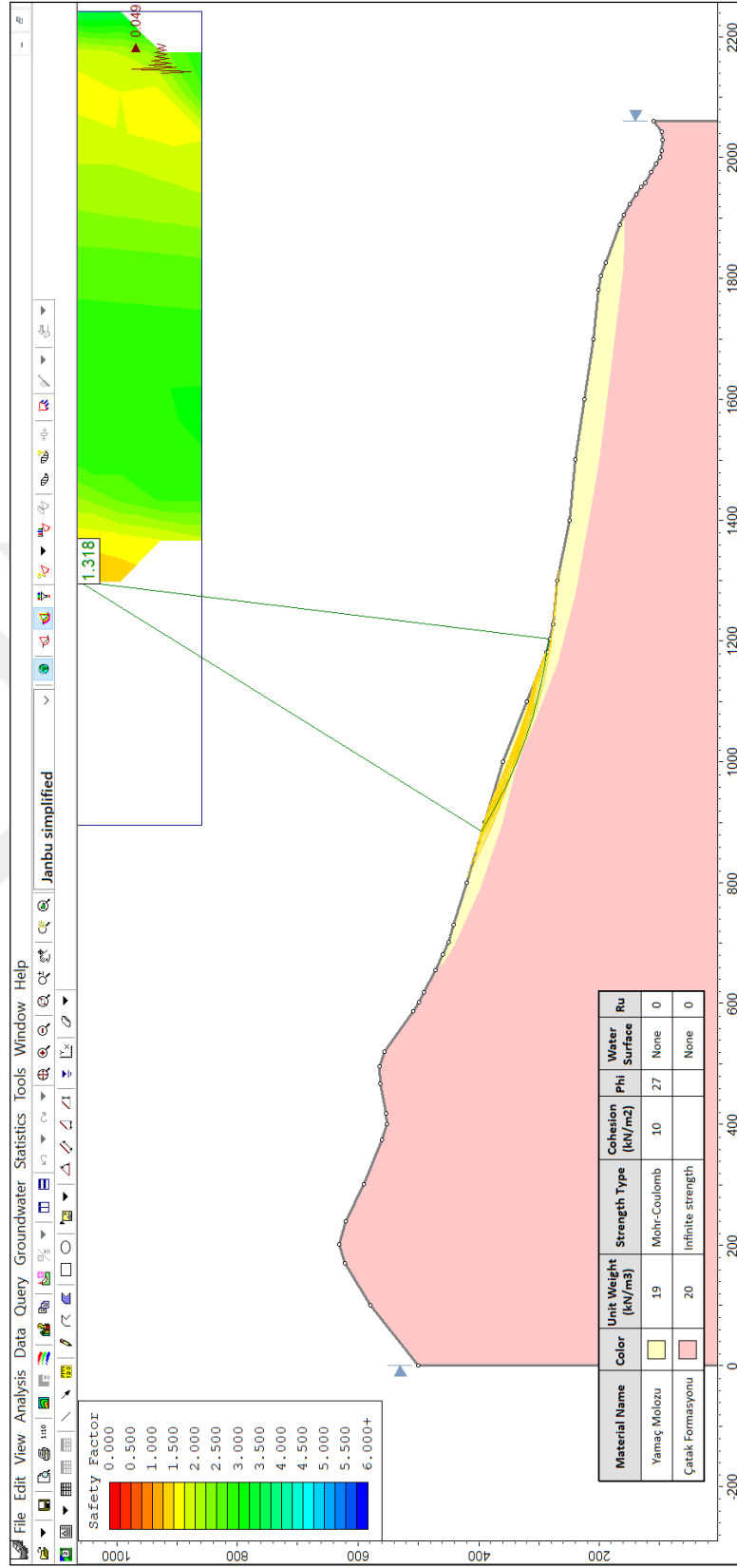
Çalışma kapsamında, tünel patlatma etkisi dikkate alınarak 5 kg’lık anlık şarj için $a_{max}=0,049$ olmak üzere her iki kesitte yapılan limit denge analiz sonuçları Şekil 22 ve Şekil

23'te verilmiştir. Her iki paleo-heyelan kütlesi için güvenlik sayısı değerinin sırasıyla 1.67 ve 1.32 olduğu görülmektedir. Tablo 13 ve Tablo 14'teki değerler dikkate alındığında, gecikmeli atımda 5 kg'lık patlayıcının kullanılması durumunda her iki paleo-heyelan kütlesinde, kütleli bir yenilme riski olmayacağı anlaşılmıştır.





Şekil 22. A-B jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu



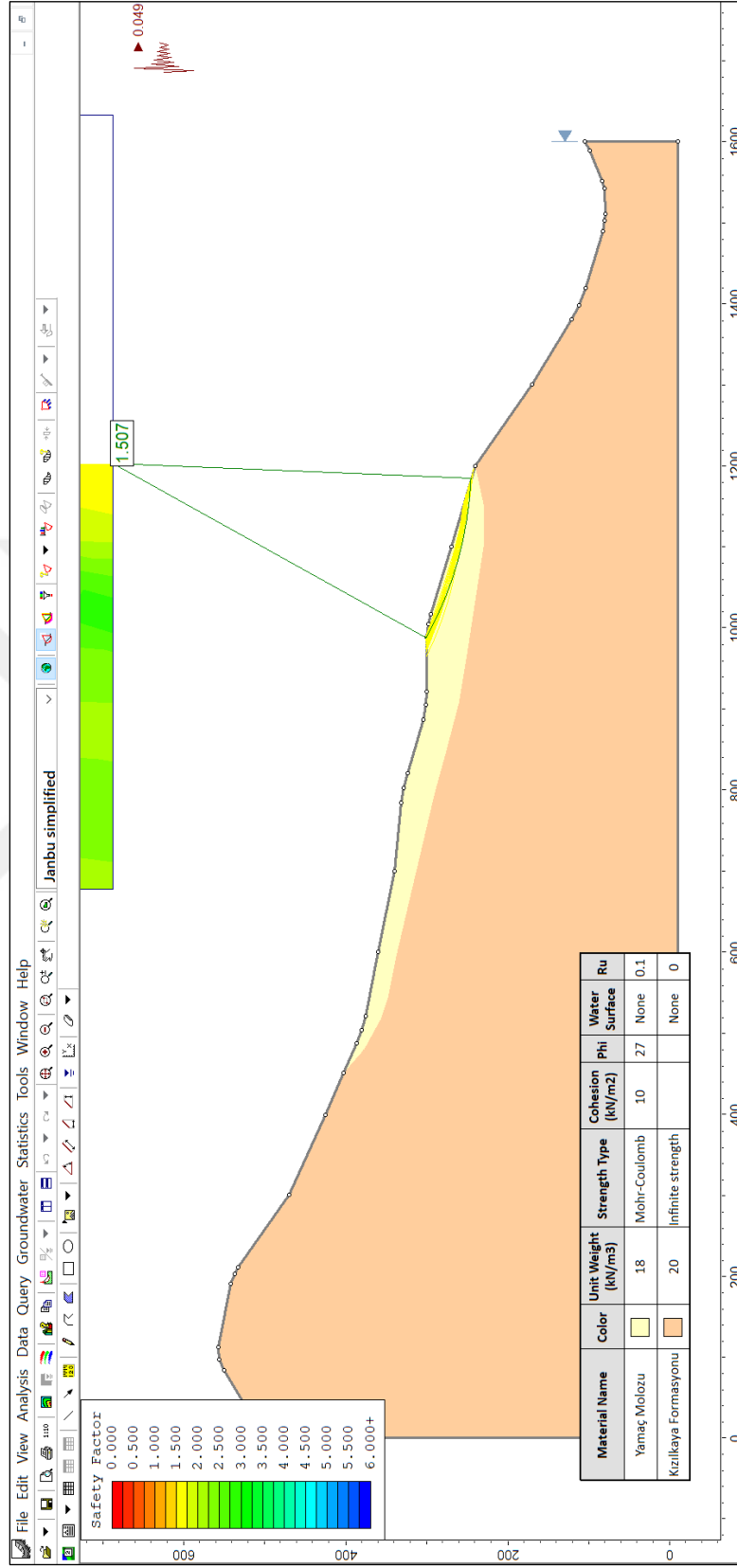
Şekil 23. C-D jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu

Doğu Karadeniz Bölgesi'nin her mevsim yağışlı olan iklimi dikkate alındığında proje süresi boyunca patlatmadan kaynaklanacak titreşimlere ek olarak yağıştan kaynaklanacak mevsimsel yeraltı sularının oluşturacağı gözenek suyu basınçları da dikkate alınmış ve analizler tekrarlanmıştır.

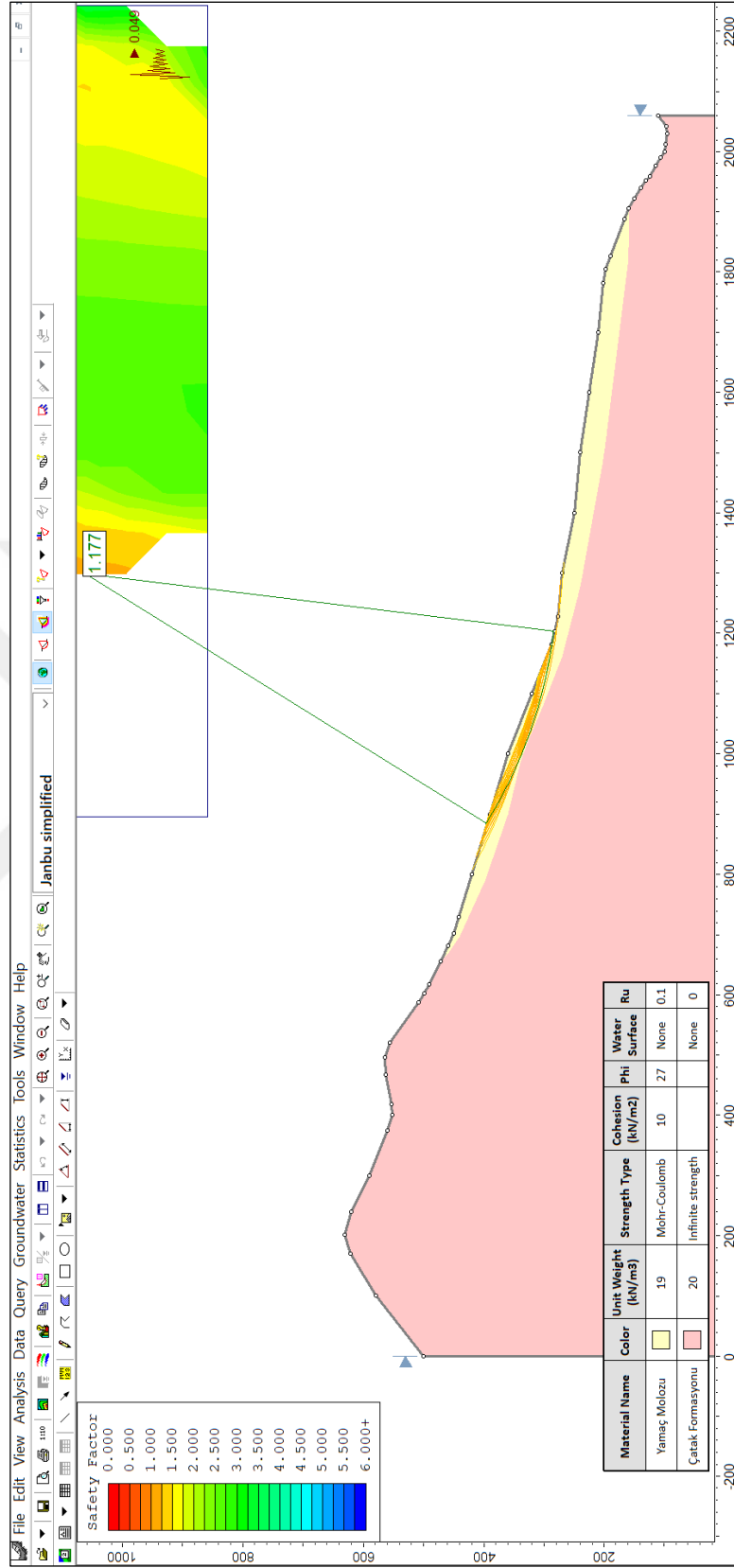
Çalışma kapsamında her iki kesitte yapılan limit denge analiz sonuçları (tünel patlatma ve yağış etkisi dikkate alınarak 5 kg'lık anlık şarj için $a_{max} = 0.049$ ve $r_u = 0.1$) Şekil 24 ve Şekil 25'te verilmiştir. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, her iki paleo-heyelan kütleleri için güvenlik sayısı değerinin sırasıyla 1.51 ve 1.18 olduğu görülmektedir. Tablo 13 ve Tablo 14'teki değerler dikkate alındığında, gecikmeli atımda 5 kg'lık patlayıcının kullanılması durumunda 2018 TBDY'ye göre bu değerler $\gamma_{RK} \geq 1.10$ koşulu sağlandığı için her iki paleo-heyelan kütlelerinde, kütleli bir yenilme riski olmayacağı anlaşılmıştır.

Çalışma kapsamında en kötü koşulu karakterize etmesi açısından her iki kesitte tünel patlatma ve yağış etkisi dikkate alınarak 10 kg'lık anlık şarj için ($a_{max} = 0.07$) ve $r_u = 0.1$ analizler tekrarlanmıştır (Şekil 26 ve 27).

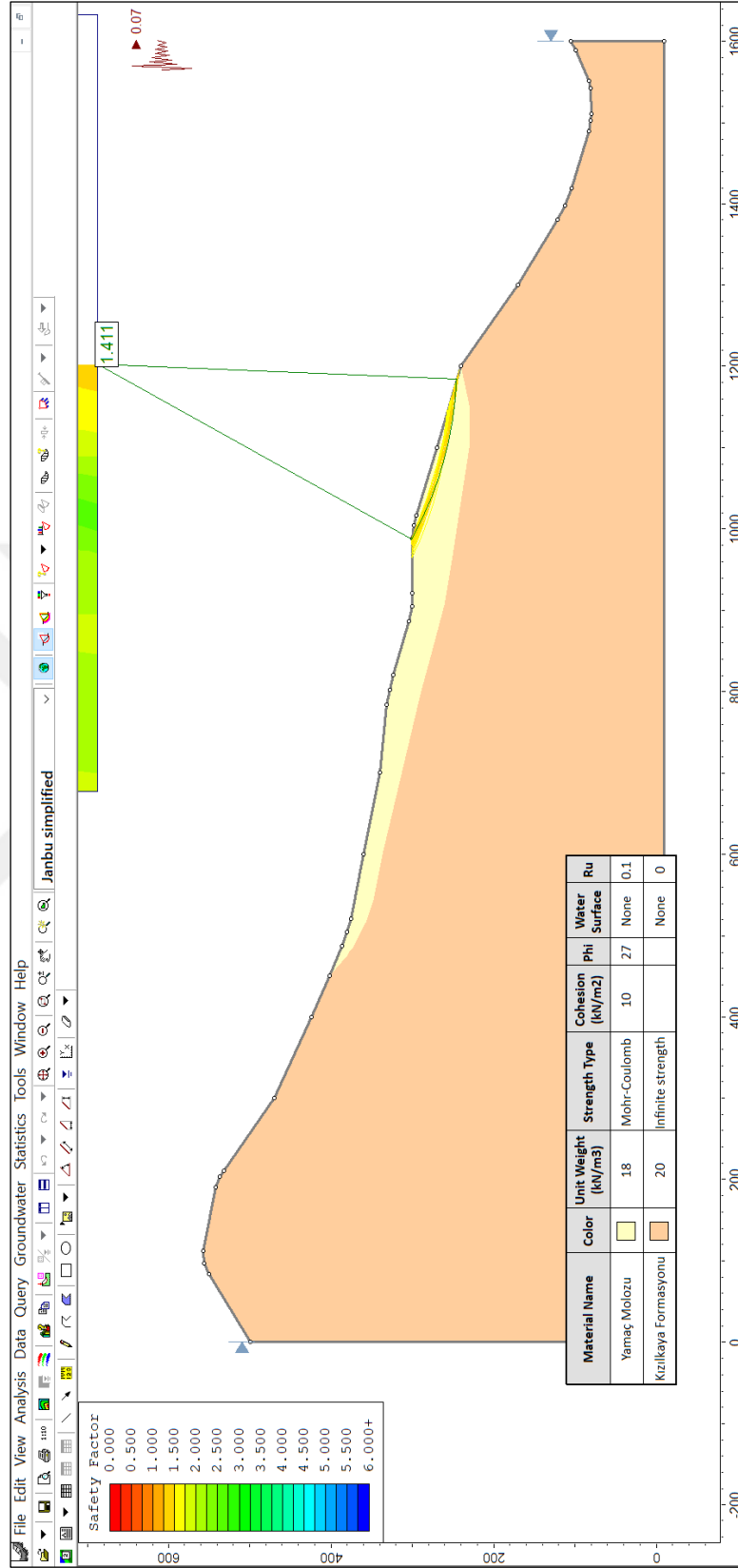
Analize ait neticeler değerlendirildiğinde, her iki paleo-heyelan kütleleri için güvenlik sayısı değerinin sırasıyla 1.41 ve 1.11 olduğu görülmektedir. Tablo 13 ve Tablo 14'teki değerler dikkate alındığında, gecikmeli atımda 10 kg'lık patlayıcının kullanılması durumunda 2018 TBDY'ye göre bu değerler $\gamma_{RK} \geq 1.10$ koşulu sağlandığı için her iki paleo-heyelan kütlelerinde, kütleli bir yenilme riski olmayacağı anlaşılmıştır.



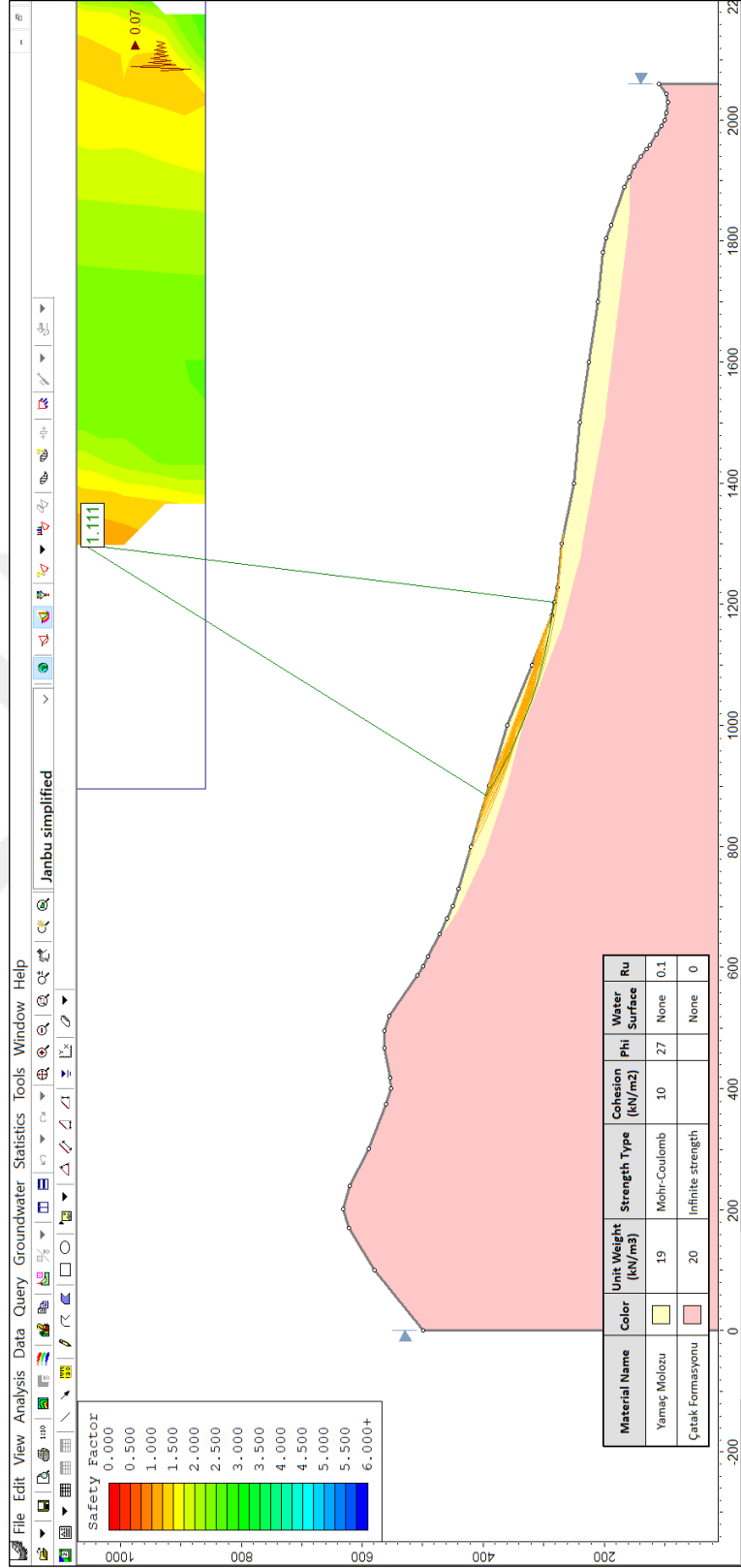
Şekil 24. A-B jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu



Şekil 25. C-D jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu



Şekil 26. A-B jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonucu



Şekil 27. C-D jeolojik kesit hattı için yapılan duraylılık analizi (limit değer) sonucu

Çalışmada altı farklı koşul için limit denge analizleri gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar Tablo 17’de özetlenmiştir.

Tablo 17. Farklı koşullar gözetilerek yapılan duraylılık analizi (limit denge) sonuçları ve elde edilen sonuçlara göre heyelan riski değerlendirilmesi

Yamaç Duraylılığı Analizlerinde Kabul Edilen Koşullar	Tablo 13 ve 14 2018 TBDY Minimum F	Güvenlik sayısı (F)		Risk Durumu
		Heyelan – 1	Heyelan - 2	
Mevcut Durum (a ve r_u : 0)	1.50	1.52	1.98	Yok
Yağış Etkisi (r_u : 0.1)	1.30	1.36	1.78	Yok
Deprem Etkisi (a: 0,135 g)	1,10	1,08	1,33	Kritik
Patlama kaynaklı titreşim etkisi (w: 5 kg, a: 0,049 g)	1,10	1,18	1,51	Yok
Patlama kaynaklı + yağış etkisi (r_u :0,1, w: 5 kg, a: 0,049 g)	1,10	1,18	1,51	Yok
Patlama kaynaklı + yağış etkisi (r_u :0,1, w: 10 kg, a: 0,049 g)	1,10	1,11	1,40	Yok

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Trabzon ili Araklı ilçesi Merkezköy, Hasköy ve Değirmencik Köyü sınırları içerisinde Araklı Elektrik Üretim ve İnşaat A.Ş. tarafından inşa edilmesi planlan Ayvadere Regülatörü ve Hidroelektrik Santrali projesi kapsamında açılacak 4.700 m uzunluğundaki iletim tüneline yapılacak patlatmaların üst kotlarda bulunan paleo-heyelanlara etkisi değerlendirilmiştir.

Bu anlamda; iletim tünel güzergâhı ve çevresinde toplamı 478 m olan 6 adet sondaj yapılmış, 4 farklı kuyuda 2 metre ara ile presiyometre deneyleri yapılarak paleo-heyelan malzemesinin jeoteknik özellikleri ortaya koyulmuş, sondaj yapılamayan alanlarda paleo-heyelan malzemesinin düşey devamlılığının ve jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 4 farklı profilde jeofizik ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, arazi çalışmaları aracılığıyla sağlanan güncel veriler ile EİE tarafından 2004 yılında açılan sondajlar ve faaliyetlerin değerlendirilmesi doğrultusunda; iletim tüneli kazısı sırasında oluşacak patlatma kaynaklı titreşimlerin etkisi dikkate alınarak limit denge analizleri yapılmış ve farklı koşullar için güvenlik sayısı değerleri hesaplanarak kütle hareketi (heyelan) riski ortaya konulmuştur.

Analizlerde, sondaj çalışmaları, jeofizik ölçümler ve arazi deney verileri birlikte değerlendirilmiştir.

Yapılan yamaç duraylılık analiz sonuçları (Tablo 17) değerlendirildiğinde bazı sonuçlara varılmıştır:

1. Mevcut durumda kütleli yenilme riski olmayan, yani duraylı olan, paleo-heyelanlara ait güvenlik sayısı değerleri patlama kaynaklı titreşimlerin etkisiyle azalmıştır. Ancak bu değerler uluslararası literatürde verilen ve 2018 TBDY’de tanımlanan sınır değerler içinde kalmıştır. Elde edilen bu sonuç, patlama kaynaklı titreşimlerin kütleli bir yenilme riskine neden olmayacağını ortaya koymaktadır (Tablo 15 ve 16’da verilen değerlere uyulması koşulu ile).
2. Doğu Karadeniz Bölgesi’nin her mevsim yağışa sahip olan iklimi dikkate alındığında proje süresi boyunca patlatmadan kaynaklanacak titreşimlere ek olarak yağıştan kaynaklanacak mevsimsel yeraltı sularının oluşturacağı gözenek suyu basınçları da dikkate alınarak analiz tekrarlanmıştır. Bu durum özelinde de tespit edilen güvenlik sayısı değerleri uluslararası literatürde tanımlanan ve 2018

TBDY’de verilen değerlerin sınırları içinde kaldığı anlaşılmıştır. Tespit edilen sonuçlar bu koşullar için (titreşim + yağış) kütsel bir yenilme riski olmayacağını açıklamaktadır (Tablo 15 ve 16’da verilen değerlere uyulması koşulu ile).

3. Çalışma kapsamında olası bir deprem etkisi, 2018 TBDY baz alınarak AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritasından temin edilen ivme değerleri kullanılarak araştırılmıştır. Yapılan duraylılık analizlerinde en kritik durumun deprem kaynaklı titreşimlerden meydana geleceğı ortaya koyulmuştur.
4. İletim tünel güzergahının üst kotlarında bulunan yamaç molozları içerisinde yüzey suları ve aşırı yağışa bağılı olarak gelişen lokal toprak kaymaları gözlenmiştir. Bölgede yüzey sularının uygun yöntemlerle drenaj edilmediğı ve buna bağılı olarak arazilerin suya doygun hale gelerek lokal heyelanların geliştiğı bilinmektedir. Bu nedenle proje sırasında da bu tür lokal yenilmeler patlatma kaynaklı titreşimlerden bağımsız olarak meydana gelecektir.
5. Çalışma alanında arazinin suya doygun hale gelerek lokal heyelanların gelişmesine sebep vermesi nedeniyle, tünel kazı aşamasına geçilmeden önce bu çalışma kapsamında verilen anlık şarj miktarları dikkate alınarak uygun patlatma paterni hazırlanmalı, yapılacak patlatmalar belli periyotlarda ölçülerek parçacık hızı ve/veya ivme değerleri ölçülmelidir. Yapılan ölçümlerde alınan değerlerin bu çalışmada verilen hız ve ivme değerlerinden farklı çıkması halinde patlatmalar durdurularak, patlatma paterni güncellenmelidir.
6. Tünel kazısı sırasında her iki paleo-heyelan malzemesi üzerinde bulunan belli noktalar üzerinde belli periyotlarda yüzey izleme teknikleri uygulanmalı (lazer mesafe ölçer vb.) ve hareket tespit edilmesi durumunda patlatmalar durdurularak patlatma paterni güncellenmelidir.
7. 25,00 kg anlık şarj her ne kadar yapılar için risk teşkil etmese de kütle hareketi riski değerlendirildiğinde bu miktarın 10 kg’dan fazla olmaması, tercihen 5 kg olması, önerilmektedir.
8. Farklı koşullar gözetilerek yapılan duraylılık analiz sonuçları değerlendirildiğinde, özellikle her iki heyelan kütsesi için güvenlik sayısı değerinin sırasıyla 1,52 ve 1,98 bulunduğu görülmektedir. Bununla birlikte özellikle patlatma kaynaklı titreşimlerin etkisiyle güvenlik sayısının düştüğü ancak düşen güvenlik sayısı değerinin TBDY 2018’de belirtilen minimum standartların/minimum değerlerin daha altında sonuçlar verdiğı görülmektedir. Yağış etkisiyle de güvenlik sayısı düşse de hiçbir

durumda güvenlik sayısı 1,1'in altına düşmemektedir. Elde edilen bu sonuçlar, patlatma kaynaklı herhangi bir heyelan riskinin olmayacağını göstermektedir.



5. KAYNAKLAR

- AFAD (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. Ankara.
- AFNOR NF P94-261 (2013). *Justification des Ouvrages Géotechniques, Norme d'application Nationale de l'Eurocode 7, Fondations superficielles*, France.
- Altay, G., (2015). *Kaya Düşmelerine Karşı Kullanılan Toprak Dolgu Setlerin Nümerik İncelenmesi*. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye.
- Amar, S., Clarke, B.G.F., Gambin, M.P. & Orr, T.L.L. (1991). *The application of pressuremeter test results to foundation design in Europe*. Rotterdam: A state of the art report by ISSMFE European Technical Committee on Pressuremeters, A.A. Balkema.
- Arıkan, Y.Ö. (2018). *Patlatmaların Şev Duraylılığına Etkilerinin Yüzey Dalgalarının Bastırılması Yöntemi ile En Aza İndirilmesi*. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Baund, J. P. & Gambin, M. (2013). *Détermination du Coefficient Rhéologique a de Ménard Dans le Diagramme Pressiorama. Proceedings 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, pp. 487–490. Paris.
- Bell, F.G. (1983). *Engineering Properties of Soils and Rocks*. Kent, England: Butterworth & Co., Second Edition.
- Bell, F.G. (2007). *Engineering Geology*. UK-USA: Second edition, Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier.
- Bishop, A.W. (1955). *The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes*, *Geotechnique*, 5 (1), 7-17.
- Bishop, A. W. & Morgenstern, N. (1960). *Stability Coefficients for Earth Slopes*. *Geotechnique*, 10(4), 129–150.
- Çiftçi, A. E. (2018). *Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Zemin Parametrelerine Bağlı Olarak Tahmini*. Okan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Demirtaş, M. O. (2019). *Aynı Jeolojik Formasyon İçerisinde Farklı Kaya Birimlerinde Yapılan Patlatmalı Kazılarda Türetilen Titreşim Tahmin Denklemlerinin Karşılaştırılması*. Okan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

- Erçıkıdı, B., Kesimal, A., Yılmaz, E. & Cihangir, F. (2004). Patlatma Kaynaklı Yersarsıntısı Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı: 7, 195 – 215.*
- Fellenius, W. (1936). Calculation of the Stability of Earth Dams. *Proceedings of the Second Congress on Large Dams*, pp. 445-459. Washington.
- Gökçe, O., Özden, Ş., & Demir, A. (2008). Türkiye’de Afetlerin Mekânsal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü.
- Goodman, R. E. (1995). Block Theory and Its Application. *Geotechnique*, 45(39), 383-422.
- Güven, İ. H. (1993). Geological and Metallogenic Map of the Eastern Black Sea Region; 1: 250,000 Map. General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), Trabzon.
- Huang, Y.H. (1983). *Stability Analysis of Earth Slopes*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Janbu, N. (1973). "Slope Stability Computations," Embankment-Dam Engineering, Casagrande Volume, Edited by R. C. Hirschfield and S. J. Poulos, John Wiley and Sons, New York, pp. 47-86.
- Karaman, K., Aliyazıcıoğlu, Ş. & Kesimal, A. (2015). Bir Kireçtaşı Ocağında Şev Stabilitesi Durum Çalışmalarının Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2 (4), 118 – 122.
- Kekeç B., (2010). *Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin, Bazı Kaya Madde ve Kütle Özelliklerine Göre İrdelenmesi*. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya.
- Muller, H. (1970). Baugrunduntersuchung mit dem pressiometerverfahren nach Menard. *Die Bautechnik*, 9, 289-295.
- NACS, (1983). The American Association of Petroleum Geologists Bulletin. *North American Commission on Stratigraphy*, 67(5), 841-875.
- Nash, D. (1987). Comprehensive Review of Limit Equilibrium Methods of Stability Analysis. *Slope Stability, Chapter 2*, s. 11-75. M. G. Andersen and K. S. Richards, Eds. New York: Wiley.
- Oriard, L. L. (1971). Blasting Effects and Their Control in Open Pit Mining. *International Conf. on Stability in Open Pit Mining*, Vancouver.
- Öksüz, H. (2005). Afete Bağlı Göçler. Durgun, H.H., Sarı, İ., Durgun, O., Geçmişten Geleceğe Çaykara Dernekpazarı, 107-115.

- Özkan, T. (2019). Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntısının Farklı Regresyon Modelleri ve Yapay Sinir Ağı ile Kestirimi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özel, M. (2016). *Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntısının Sonlu Eleman Yöntemiyle Modellenmesi*. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Reis, S., Bayrak, T., Erduran, M & Yalçın A. (2009). Deprem ve Patlatmaların Rize Bölgesi Heyelanlarına Etkisi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1 (3), 34-55.
- Suiçmez, H., Durmuş S. & Dilek Z. (1996). *Her Yönüyle Araklı*. Trabzon: Araklı Anadolu Öğretmen Lisesi Kültür Yayınları.
- Şaraldı, M. H. (2015). *Tatların (Nevşehir) Yeraltı Şehrini ve Çevresini Etkileyen Kaya Düşmelerinin Değerlendirilmesi*. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir.
- URL-1. (2023, Eylül 13). Elektrik: <https://www.enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>
- URL-2. (2023, Eylül 14). Türkiye’de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri: https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/35429/xfiles/turkiye_de_afetler.pdf
- URL-3. (2023, Nisan 14) AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları Web Uygulaması: <https://tdth.afad.gov.tr/>
- Wyllie, C. and Mah, W. (2004). *Rock Slope Engineering Civil and Mining*. London and New York: In: Hoek, E. and Bray, J.W., Eds., Rock slope Engineering, Taylor & Francis Group.

ÖZGEÇMİŞ

Uğur ULU, lisans öncesi eğitimini Trabzon'un köklü eğitim kurumları olan Cudibey İlköğretim Okulu ve Trabzon Lisesi'nde tamamladı. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2019 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

2016-2017 yılları arasında, kısa süreli özel sektör tecrübesinde, Artvin'in Yusufeli ilçesinde gerçekleştirilen Cala Hidroelektrik Santrali Projesinde ve İzmir-Manisa Devlet Yolu üzerinde bulunan Sabuncubeli Tüneli Projesinde vardiya mühendisi olarak çalıştı. Yazar, 2018 yılında atandığı Trabzon Büyükşehir Belediyesi'nde mühendis olarak görevini sürdürmekte olup, iyi derecede İngilizce bilmektedir.