ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNANDIK KÖYÜ (ÇANKIRI) OBRUK AFETLERİNİN ZEMİN ÖZELLİKLERİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Mehmet Salih YILDIZ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2022

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Mehmet Salih YILDIZ tarafından hazırlanan **"İnandık Köyü (Çankırı) Obruk Afetlerinin Zemin Özellikleri Açısından İncelenmesi"** adlı tez çalışması 14/01/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **:** Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU

Jüri Üyeleri **:**

Başkan **:** Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye **:** Dr. Öğr. Üyesi Osman KARA
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Gümüşhane Üniversitesi

Üye **:** Dr. Öğr. Üyesi Başak VARLI BİNGÖL
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum "**İnandık Köyü (Çankırı) Obruk Afetlerinin Zemin Özellikleri Açısından İncelenmesi**" konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan "Bilimsel İntihal Tespit Programı"yla tarandığını, "intihal içermediğini" beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (14/01/2022).

Mehmet Salih YILDIZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İNANDIK KÖYÜ (ÇANKIRI) OBRUK AFETLERİNİN ZEMİN ÖZELLİKLERİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Mehmet Salih YILDIZ

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU

Ülkemiz doğal veya beşeri kaynaklı pek çok afetin görüldüğü bir konumda yer almaktadır. Bu afetlerden birisi de obruk oluşumlarıdır. Obruklar ani gerçekleşen ve ne zaman gerçekleşeceği önceden tahmin edilemeyen oluşumlar olduğundan, oluştukları bölge için ciddi bir tehdit unsurudur. Obruk oluşumları sebebiyle yerleşim yerindeki birçok bina hasar görebildiği gibi, yöre halkının geçim kaynağı olan araziler de kullanılamaz hale gelebilmektedir. Bu çalışmanın yapıldığı alan Çankırı-Merkez ilçesi İnandık köyü ve civarıdır. İnandık köyü obruk oluşumları bir jips karstı olarak gerçekleşmektedir. Jipslerin su ile çözünürlüğü karbonatlı kayaçlara oranla daha fazla olduğundan daha büyük oranda risk arz etmektedir.

Bu çalışmanın yapıldığı alanda zeminin litolojik özellikleri incelenmiş olup, bu amaç doğrultusunda bölgenin zemin özellikleri hakkında fikir edinmek adına sondaj kuyuları ve araştırma çukurları açılmıştır. Sondaj kuyularında yer yer boşluklar tespit edilmiş ve araştırma çukurlarında jipsli birimlerin oldukça düşük dayanım gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca mikrotremör ölçümleri ile zemin hâkim titreşim periyodu ve zemin büyütme oranları hesaplanmıştır. Bölgedeki yapı hasarları incelenerek obrukların ve zemin oturmalarının bölgeye olan zararı tespit edilmiştir.

2022, 71 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Çankırı, Obruk, Afet, Zemin Özellikleri

ABSTRACT

Master of Science Thesis

INVESTIGATION OF ÇANKIRI INANDIK VILLAGE SINKHOLE DISASTERS IN TERMS OF SOIL CHARACTERISTICS

Mehmet Salih YILDIZ

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Advisor: Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU

Our country is located in where many natural or man-made disasters are seen. One of these disasters is sinkholes. Since sinkholes are a sudden and unpredictable phenomenon, they pose a serious threat to the region where they occur. Many buildings in the settlements may be damaged due to sinkhole formations, and lands which are the source of livelihood of the local people may become unusable. The area where this study was carried out is Inandik village and its surroundings which is in the Çankırı-Central district. Inandik village sinkholes occur as gypsum karst. Since the solubility of gypsum with water is higher than carbonate rocks, it poses a greater risk.

The lithological properties of the soil were investigated in the area where this study was carried out. For this purpose, boreholes and research pits have been dug in order to get an idea about the soil characteristics of the region. In the boreholes, cavities were detected in places. It was determined that the gypsum units in the research pits showed very low strength. In addition, soil dominant vibration period and soil amplification ratios were calculated with microtremor measurements. The damage of the potholes and ground settlements to the region has been determined by examining the structural damages in the region.

2022, 71 pages

Keywords: Çankırı, Sinkhole, Disaster, Soil Characteristics

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

‘’İnandık Köyü (Çankırı) Obruk Afetlerinin Zemin Özellikleri Açısından İncelenmesi’’ isimli bu tez çalışması, yaşadığım bölgenin çevre sorunlarını ele alarak bu sorunların kaynağını ve varsa çözüm yollarını değerlendirmek maksadıyla yapılmıştır. Çevresel sorunlar yaşadığımız dünyada zaman zaman karşımıza çıkan ve can ve/veya mal yönünden tehlike unsuru olan olaylardır. Akademik çalışmalar ile değinilen bu sorunlar karar vericileri destekler niteliktedir. Çankırı ili adına çevresel sorunları, deprem, sel, orman yangını, obruk oluşumları, heyelanlar vb. olarak sıralamak mümkündür. Tüm bu sorunlar adına yapılan çalışmalar elbette ki bilime katkısının yanında riskli bölgelerin belirlenmesi, bu alanlarda yapılaşmadan kaçınılması ve eğer yapılaşma söz konusu ise mümkün olan güvenli alanlara nakil yoluyla insan hayatına dokunan eserler olacaktır.

Bu tez çalışmasının her aşamasında beni yönlendiren, kıymetli görüş ve katkılarıyla desteğini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU’na teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışmasının daha konu seçiminden başlamak üzere tezimin son aşamasına kadar değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Çankırı İl Afet ve Acil Durum Müdürü Abdullah ÖZÇELİK’e ve Jeoloji Mühendisi Barış BÜYÜKURVAYLI’ya teşekkür ederim.

Son olarak tez sürecimde bana sabır gösteren ve desteğini daima hissettiğim değerli eşim Sinem YILDIZ’a, beni bugünlere getiren sevgili annem Ayşegül YILDIZ’a ve saygıdeğer babam Hasan YILDIZ’a teşekkür ederim.

Mehmet Salih YILDIZ
Çankırı, Şubat 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
SİMGELER DİZİNİ vi
KISALTMALAR DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
ÇİZELGELER DİZİNİ ix
1. GİRİŞ 1
1.1 Çalışmanın Amacı 3
1.2 Çalışma Alanı 3
2. KAYNAK ÖZETLERİ 5
2.1 Karstlaşma ve Obruk Oluşumlarına İlişkin Kaynak Özetleri 5
2.2 Jipslerin Mühendislik Özelliklerine İlişkin Kaynak Özetleri 7
3. OBRUKLAR 9
3.1 Obruk Tanımı 9
3.2 Obruk Oluşumu 10
3.3 Obruk Sınıflandırması 12
3.3.1 Çözünme obruğu (Solution sinkhole) 16
3.3.2 Çökme obruğu (Collapse sinkhole) 16
3.3.3 Örtü çökme obruğu (Dropout sinkhole) 17
3.3.4 Örtülmüş obruk (Buried sinkhole) 17
3.3.5 Örtü kayası çökme obruğu (Caprock sinkhole) 18
3.3.6 Örtü sübsidans obruğu (Suffosion sinkhole) 18
4. MATERYAL VE YÖNTEM 19
4.1 Saha Çalışmaları 19
4.1.1 Sondaj kuyuları 20
4.1.2 Mikrotremör Ölçümleri 22
4.2 Numune Alımı ve Deneyler 24
4.2.1 Nokta yükü dayanım indeksi 25
4.3 Jeoloji 28
4.3.1 Bozkır formasyonu(Tmbo) 31
5. BULGULAR 32
5.1 Saha Çalışmalarının Değerlendirilmesi 32

5.1.1 Yapı hasarlarının değerlendirilmesi 32
5.1.2 Jipsli birimlerde gözlemlenen süreksizliklerin değerlendirilmesi 32
5.1.3 Çalışma alanındaki obruk envanteri 32
5.1.4 Sondaj kuyularından elde edilen verilerin değerlendirilmesi 36
5.1.5 Mikrotremör ölçümlerinin değerlendirilmesi 36
5.2 Numune Alımı ve Deneylerden Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi 42
5.3 Jipsin Farklı Ortam Koşullarındaki Dayanımının Değerlendirilmesi 46
6. TARTIŞMA VE SONUÇ 49
KAYNAKLAR 51
EKLER 55
ÖZGEÇMİŞ 71

SİMGELER DİZİNİ

D	Çap
F	Düzeltme faktörü
Hs	Düşey bileşenin fourier spektrumu
Hv	Yatay bileşenin fourier spektrumu
Hy	Yatay bileşenin genlik spektrum bileşkesi
Is	Düzeltilmemiş nokta yükleme dayanım değeri
Is50	Düzeltilmiş nokta yükleme dayanım değeri
P	Numunenin yenildiği yükleme kuvveti
p	Pi sayısı
St	Transfer fonksiyonu
Vd	Düşey bileşenin genlik spektrum bileşkesi
W	Eksenel Uzunluk

KISALTMALAR DİZİNİ

AÇ	Araştırma Çukuru
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AİGM	Afet İşleri Genel Müdürlüğü
EM-DAT	Uluslararası Afet Veritabanı
HVSR	Yatay/düşey spektral oran yöntemi
ISRM	Uluslararası kaya mekaniği topluluğu
ITRF	Uluslararası koordinat sistemi
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
SK	Sondaj Kuyusu
TMBO	Bozkır Formasyonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Çalışma alanı lokasyon bilgisi 4
Şekil 3.1 Çalışma alanından 13 m çapında ve 10 m derinliğinde obruk görünümü 10
Şekil 3.2 Guatemela'da meydana gelen bir obruk görüntüsü (Kaynak BBC) 11
Şekil 3.3 Obruk tipleri (Waltham ve Fokes 2005)..... 13
Şekil 3.4 Obruk tipleri ve obrukların ana özellikleri (Waltham ve Fokes 2005) 15
Şekil 3.5 Çalışma alanında gözlemlenen bir çökme obruğu görüntüsü..... 16
Şekil 3.6 Çalışma alanında gözlemlenen bir örtü çökme obruğu görüntüsü..... 17
Şekil 3.7 Çalışma alanında tespit edilen örtülmüş obruk görüntüsü 18
Şekil 4.1 Çalışma alanından bir obruk görüntüsü..... 19
Şekil 4.2 Çalışma alanındaki en eski obruğun görüntüsü 20
Şekil 4.3 SK- 1 No'lu sondaj işleminden bir görünüm..... 21
Şekil 4.4 SK- 2 No'lu sondaj işleminden bir görünüm..... 21
Şekil 4.5 SK- 3 No'lu sondaj işleminden bir görünüm..... 22
Şekil 4.6 Mikrotremor ölçümü yapılan istasyonlar (Özçelik vd. 2016) 23
Şekil 4.7 (a) Araştırma çukuru açılışından bir görüntü. (b) Araştırma çukuru-1'den bir görüntü. (c) Araştırma çukuru-2'den bir görüntü. (d) Altere olmuş jips numunesinin elde bile dağılan halinden bir görüntü..... 25
Şekil 4.8 (a) Jipsli birimden numune alınışı. (b) Alınan numunelerden bir görüntü. (c) Damar şeklindeki jipsli birimden örselenmiş numuneler..... 27
Şekil 4.9 Geçerli deneyler için yenilme tipleri (a) Çapsal deney.(b)Eksenel deney. (c) Blok deney (Topal 2000)..... 28
Şekil 4.10 (a) Çankırı havzasında Kızılırmak Formasyonunun kızıl renkli birimlerinin üzerinde geçişli olarak bulunan Bozkır formasyonuna ait jips seviyeleri. (b) Bozkır formasyonunun kıvrımlı-kırıklı jips seviyeleri 30
Şekil 4.11 Çalışma alanının genel jeolojisi (Ateş vd. 2008). (Açık mavi alanlar, Bozkır Formasyonunu temsil etmektedir). 30
Şekil 5.1 Çalışma alanından hasarlı bina görüntüleri 33
Şekil 5.2 Çankırı İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü tarafından yapılan hasar tespit çalışması (Özçelik vd. 2016) 33
Şekil 5.3 (a) Çalışma alanındaki jipsli birimlerden bir görüntü. (b) Jipsli birimde erimeden kaynaklı meydana gelmiş bir boşluk görüntüsü. (c) Jipsli birimde meydana gelen yatay süreksizliklerden bir görüntü. (d) Jipsli birimde meydana gelen düşey süreksizliklerden bir görüntü. 34
Şekil 5.4 Bölgede yapılan sondajların konumları..... 37
Şekil 5.5 Nakamura yöntemi ile mikrotremör ölçümlerin değerlendirilmesi akış şeması (Hazer 2013)..... 39
Şekil 5.6 Mikrotremör ölçümlerinden elde edilen hakim titreşim periyotlarının konumları ile birlikte diyagram olarak gösterilmesi..... 42

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Açılan sondaj kuyularına ait öznitelik bilgileri 20
Çizelge 4.2 Mikrotremor ölçüm istasyonları ve koordinatları 24
Çizelge 4.3 Araştırma çukurlarının öznitelik bilgileri 26
Çizelge 4.4 Araştırma çukurlarından alınan numuneler 26
Çizelge 5.1 Süreksizliklerin Açıklık Tanımlama Ölçütleri (ISRM 2007) 35
Çizelge 5.2 Çalışma Alanındaki Obrukların Özellikleri (Gökkaya ve Tunçel 2019)..... 36
Çizelge 5.3 (a) Zemin Hâkim Titreşim Periyoduna Göre Mikrobölgeleme Ölçütleri. (b)Spektral Büyütme Oranlarına Göre Mikrobölgeleme Ölçütleri (Ansal vd. 2004) 40
Çizelge 5.4 Mikrotremör ölçümlerinde elde edilen bulgular 41
Çizelge 5.5 Nokta yükleme deney numuneleri ve parametreler..... 44
Çizelge 5.6 Nokta yükleme deney raporu 44
Çizelge 5.7 Nokta yükleme deneyi sonuç ortalaması 45
Çizelge 5.8 Kayaçların nokta yükleme dayanımına göre sınıflandırılması (Bieniawski 1975) 45
Çizelge 5.9 Numunelerin Nokta Yükleme Dayanımına Göre Sınıflandırılmış Hâli 46
Çizelge 5.10 Değişik şartların etkisine bırakılmış numunelerin serbest basınç deneyi sonuçları (Ülker ve Gümüşoğlu 1982)..... 47
Çizelge 5.11 Tek Eksenli Basınç Dayanımına Göre Sınıflandırma (Deere ve Miller 1966) 47

1. GİRİŞ

Afetler insan hayatının bir gerçeğidir. Eski çağlardan beri insanoğlu çeşitli afetlere maruz kalmış ve bu afetler sebebiyle can ve mal kaybına uğramıştır. İnsanlığın afetler ile mücadelesi yeni doğmuş bir olgu olmamakla beraber afetlerle insanların ilk karşı karşıya geldiği andan itibaren süregelmektedir.

Afetler doğa kaynaklı veya insan kökenli olarak gerçekleşebilen, insanları fiziksel sosyal veya ekonomik olarak etkileyen, günlük hayatı durduran veya kesintiye uğratan, yerel imkânlarla baş edilemeyen birtakım olaylardır (AFAD 2014). Afet bir olayın sebebi değil sonucudur. Başka bir deyişle bir olaya afet denilebilmesi için günlük hayatı kesintiye uğratması, can veya mal kaybına sebebiyet vermesi gerekir. Örneğin insanların yaşamadığı veya kullanmadığı bir alanda gerçekleşen herhangi bir doğa olayını afet olarak nitelendirmek mümkün değildir. Olayın afet olarak nitelendirilmesi insana olan etkisi nispetinde ölçülür.

Uluslararası Afet Veri Tabanı (EM-DAT)'na göre bir olayın afet olarak nitelendirilmesi için belli kriterlere sahip olması gerekir. Bu kriterler; 10 veya daha fazla insanın ölümüne yol açması, 100 veya daha fazla insanın durumdan etkilenmesi, yerel imkanlar ile baş edilemeyip merkezi hükümetten yardım talebinde bulunulması veya merkezi hükümetinde olayla baş edemeyip uluslararası yardım çağrısında bulunması durumlarında mevcut acil durum ''afet'' olarak nitelendirilir. Böylece afet, veri tabanına işlenmiş olur. Uluslararası veri tabanı örneğinde de gördüğümüz üzere afet kavramı, olayın büyüklüğü ve insana etkisi ile öne çıkan bir durumdur.

Afetlerin ve olası etkilerinin yıllar geçtikçe daha da arttığı inkâr edilemez bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun temel sebepleri; eskiye oranla artan nüfus, çarpık kentleşme, tehlikeli alanlarda denetimsiz şehirleşme ve sanayileşme, ormanların ve çevrenin tahribi olarak verilebilir. Özellikle insan sayısının ve yerleşim birimlerinin artması meydana gelebilecek herhangi bir afet olayında dahi can ve/veya mal kaybıyla karşılaşmayı kaçınılmaz kılmaktadır. Bu durum afetlerle mücadelenin gerekliliğini

ortaya koymaktadır. Önlenmesi mümkün olanları önlemeye çalışmak, önlenmesi mümkün olmayanların en azından zararlarını azaltıcı çalışmalar, insanların can ve mal güvenliği için son derece hayatidir.

Bu tez çalışmasına konu olan afet türü Çankırı ili Merkez ilçesi'ne bağlı bulunan İnandık köyü'ndeki obruk oluşumlarıdır. Obruk oluşumları doğa kaynaklı afet statüsünde, jeolojik afetler sınıflamasına dâhil olan ''kütle hareketleri'' kısmına girmektedir. Kütle hareketleri denilince akla ilk gelen heyelanlar olsa da obruk oluşumlarında da belirli bir kütlenin yer değiştirmesi durumu söz konudur.

Bu tez çalışmasına konu olan ve ''Obruklu köy'' olarak da bilinen İnandık köyü ve civarında Çankırı İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'nce detaylı bir araştırma yapılmıştır. Bölgede 3 farklı noktada açılan sondaj kuyuları ve elde edilen bulgular zeminin yer yer boşluklu olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda mikrotremor ölçümleri ile zeminin hâkim titreşim periyodu ve zemin büyütmesi değerleri elde edilmiştir. Bu değerler de bölgede çeşitli oranlarda sismik hareketler bulunduğunu kanıtlamıştır. Bölgedeki binalarda meydana gelen hasarlar tespit edilmiş ve konu AFAD Başkanlığı'na iletilmiştir. Ayrıca bölgede araştırma çukurları açılarak numuneler alınmış ve bu numuneler üzerinde laboratuvar çalışmaları yapılarak hâkim kayaç türü olan jipsin taşıma gücü ve dayanımı hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Bölge 2016 yılında alınan Bakanlar Kurulu Kararı ile ''Afete Maruz Bölge'' ilan edilmiş ve köyün taşınmasına karar verilmiştir.

Obrukların afet statüsünde değerlendirilmesi durumunu izah etmek gerekirse; obruklar, büyük oranda zarar verme potansiyeli barındırırlar ve bu özellikleri sebebi ile can veya mal kaybına neden olabilirler. Oluştukları bölgedeki insan hayatına bir tehdit olmakla beraber aynı zamanda yöre insanı için geçim kaynağı olan arazilerin de kullanımında bir tehlike meydana getirir. Ayrıca oluşum aşamalarında birtakım zemin oturmaları yaparak yapılara çeşitli oranlarda hasarlar verir. Tüm bu yönler ve insan hayatına olan bariz etki göz önünde bulundurulduğunda obrukların afet olarak nitelenmesi makul bir yaklaşımdır.

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı Çankırı ili-Merkez ilçesi-İnandık köyü'ndeki obruk oluşumlarının incelenmesi ve bölgenin zemin özellikleri hakkında bilgi sahibi olmaktır. Çalışma alanında çeşitli noktalarda sondaj kuyuları açılmış, mikrotremör ölçümleri yapılarak zemin hâkim titreşim periyodu ve zemin büyütmesi gibi değerlere ulaşılmış; ayrıca, araştırma çukurları açılarak numuneler alınmış ve laboratuvar deneylerine tabii tutulmuştur. Ayrıca çalışma alanında bulunan yapılar üzerinde hasar tespit çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanının seçiminde köy yerleşik alanına yakın mesafede oluşan obruklar ve köy evlerinin zemin oturmaları kaynaklı ciddi hasara uğramış olmaları önemli rol oynamıştır. Bu çalışma ile meydana gelen bu çevresel sorunların kaynağına inmek ve sebepleri tespit ederek olası tehlikeli bölgelere bir çalışma altlığı oluşturmak amaçlanmıştır.

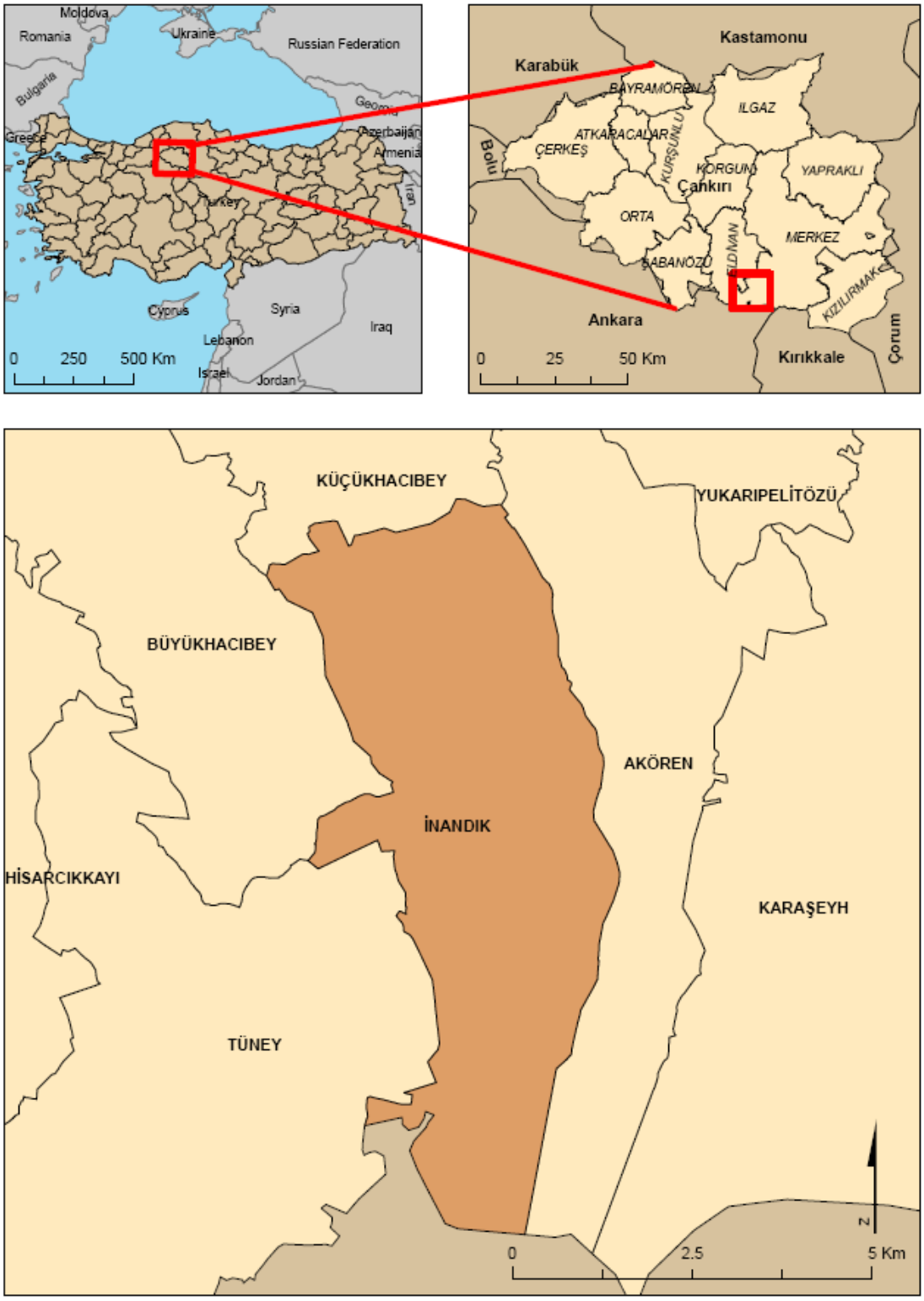
1.2 Çalışma Alanı

Bu tez çalışmasının yapıldığı alan Çankırı ili sınırları içerisindedir. Çankırı İli, İç Anadolu Bölgesi'nin kuzey kesiminde ve 40°30' ile 41° kuzey enlemleri ile 32°30' ile 34° doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Çankırı'nın denizden yüksekliği 720 metredir. İlin komşuları kuzeyde Kastamonu, doğuda Çorum, güneyde Ankara ve Kırıkkale, batıda Bolu ve kuzeybatıda Karabük'tür.

İlin, Merkez ilçe dahil olmak üzere 12 adet ilçesi bulunmaktadır. Bunlar; Atkaracalar, Bayramören, Çerkeş, Eldivan, Ilgaz, Kızılırmak, Korgun, Kurşunlu, Merkez, Orta, Şabanözü ve Yapraklı'dır.

Çalışmanın yapıldığı alan Çankırı ilinin güneyinde Ankara yolunun 40. km'sinde yer alan İnandık köyü'dür. İnandık köyü'nün denizden yüksekliği 803 metredir. Köyün idari alanı 26,53 km²'dir. Çalışma alanının lokasyon bilgisini içeren harita aşağıdaki

şekilde gösterilmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Çalışma alanı lokasyon bilgisi

2. KAYNAK ÖZETLERİ

"Zemin Özellikleri Açısından İnandık Köyü (Çankırı) Obruk Oluşumlarının İncelenmesi" isimli bu tez çalışmasında ulusal ve uluslararası literatür taranarak konuyla alakalı öncel çalışmalar incelenmiştir. Aşağıda incelenen bu çalışmaların kısa bir özeti sunulmuştur:

2.1 Karstlaşma ve Obruk Oluşumlarına İlişkin Kaynak Özetleri

Lahn (1940), Karst hadiseleri ile alakalı yapmış olduğu çalışmada Bozdağlar'ın kuzey kesimindeki havzanın marn, kalker ve Pliyosen'e ait tatlı su tabakalarından oluştuğunu kaydetmiştir. Ayrıca, Konya ovasının bazı kısımlarının Üst Miyosen ve Pliyosen yaşta olabileceğini ileri sürmüştür.

Alagöz (1944), ''Türkiye'de Karst Olayları'' çalışmasında kalkerin bulunduğu yerlerde iklim şartlarına da bağlı olarak karst olaylarıyla karşılaşmanın mümkün olduğunu belirtmiştir.

Erinç (1960), karst topoğrafyasına ait çalışmaların azlığından bahsederek, karst olaylarının halkın yaşayışına, iskan ve zirai faaliyetlerine etkisi olan mühim bir mesele olduğunu belirtmiştir. Ayrıca karstlaşmanın derecesinin eriyebilir kayalara, yüksek irtifaya ve büyük ölçüde erimelere sebep olacak iklim şartlarına bağlı olduğunu ileri sürmüştür. Karstik şekillerin İç Anadolu bölgesinin kuzey ve doğu kısımlarında jips litolojisine sahip alanlarda ve Konya bölümünde ise Üst Neojen ve Pliyosen göl kalkerleri üzerinde yaygın olduğunu ifade etmiştir.

Sür (1972), İç Anadolu'daki genç volkanik arazilerin jeomorfolojisi hakkında çalışmıştır. Özellikle Karapınar çevresini ele alan yazar Üst Pliyosen-Kuvaterner yaşındaki volkanizmaları çeşitli safhalara ayırmış ve 7. safhada günümüzdeki halini aldığını ileri sürmüştür.

Eroskay (1976), Konya obrukları ve yeraltı suyu potansiyellerini inceleyen çalışmasında bölgedeki kireçtaşlarının Pliyosen yaşta olduğunu saptamıştır.

Eroskay (1982), Yaptığı incelemelerde mühendislik jeoloji alanındaki problemlere değinerek karstlaşma sorununu ele almış ve bu anlamda bir bölgeleme çalışması yaparak Türkiye'yi dört kısma ayırmıştır. Bunlar; Toros Bölgesi, Güney Doğu Anadolu Bölgesi, İç Anadolu ve Konya Havzası, Kuzeybatı Anadolu ve Trakya bölgeleridir. Bölgelere göre karstik oluşumların türleri, stratigrafik dizilimi, yapısal düzeni ve hidrojeolojik özelliklerinde farklılıklar görülebileceğini belirtmiştir.

Erol (1985), Konya'daki obruk oluşumları ile alakalı yapmış olduğu çalışmada obrukların GD-KB yönünde uzanan fay hattı boyunca gerçekleşen su akışları sebebiyle gerçekleştiğini ileri sürmüştür.

Canik ve Çörekçioğlu (1985), Obruk tipi karstlaşmada en önemli faktörlerin kaya litolojisi, bölgedeki neotektonizma etkileri, yeraltı suyunun akış yönü ve kimyasal kompozisyon olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca kireçtaşlarının çözünmesinde yeraltında birikmiş olan karbondioksit ve asidik gazların da etkisinin çok büyük olduğunu ifade etmiştir.

Sür (1994), karst topoğrafyasının meydana gelmesinde başlıca kayaç özelliği olmak üzere, yükselti, sıcaklık, nem ve vejetasyon-iklim özelliklerinin etkisi olduğunu vurgulamıştır. Kalkerin normal şartlar altında saf suda erime ihtimalinin düşük olduğunu ancak atmosferden geçerken bünyesine karbondioksit dahil olan bir suyun kalkeri kolayca eritebileceğini belirtmiştir. Ayrıca, kalker haricinde eriyebilen kayaçlar olarak jips, dolomit, tebeşir ve kayatuzu örneklerini vermiştir. Değişen karbondioksit miktarı ve sıcaklıklara göre meydana gelen erimeler üzerine deneyler yapmıştır.

Günay, Çörekçioğlu ve Övül (2011), İç Anadolu bölgesinde yapmış oldukları araştırmada obrukların yeraltısuyu akışları ile kireçtaşlarını çözdüğü ve zaman içinde artan çözünme sonunda çökerek obrukları oluşturduğunu belirtmiştir. Bu oluşumların

yatay yeryüzü şekline sahip alanlarda dairesel olarak gerçekleştiğini ve eğimli yerlerde ise oval olarak gerçekleştiğini ileri sürmüşlerdir. Yine bazı obrukların bu yaşanan çökme olayı ile beraber yeraltı suyu seviyesine ulaşarak sulu obruklar olduğu ve bazılarının da yeraltı suyu seviyesine ulaşamayarak kuru şekilde kaldığını ifade etmişlerdir. Ayrıca 50mg/l den fazla karbondioksit içeriğine sahip olan suların aşındırıcı olduğu kabulü ile yeraltı suyu topoğrafik yükseklik haritaları, akış yönü, şarj alanı, hidrolik denge ve seviye dalgalanması olan yerleri belirlenmiştir.

2.2 Jipslerin Mühendislik Özelliklerine İlişkin Kaynak Özetleri

Hack (1965), kuzey Shenandoah Vadisindeki (Virginia, ABD) gerçekleştirmiş olduğu ana kayanın karakteristiği, jeolojik yapılar ve yüzey akıntılarıyla obruk oluşumları arasındaki ilişkiyi konu edinen çalışmasında; diğer birçok çalışmanın da varmış olduğu sonuçlara benzer olarak obrukların dağılımına etki eden en temel parametrenin temel kayanın karakteristiği olduğunu vurgulamıştır.

Alagöz (1967), Sivas çevresinde jips karstı olaylarını incelediği çalışmasında jipslerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. Bölgede gelişen karstik oluşumların Pliyosen'de başlamış olduğunu belirtmiştir.

Ülker ve Gümüşoğlu (1982), jipsin mukavemet özelliklerine ortam şartlarının etkisini analiz ettikleri çalışmalarında, Sivas Demir ve Çelik Fabrikasının kurulacağı alanın altındaki jipsler üzerinde gerçekleşecek basınç, ısı ve yeraltı suyu parametrelerine bağlı olarak dayanım değerlerini incelemiştir. Jipste meydana gelen dayanım kaybını elektron mikroskobunda inceleyen araştırmacılar değişik ortam koşullarının jipsin kristal yapısında bir takım değişimlere neden olduğunu saptamışlardır.

Zanbak ve Arthur (1986), jips-anhidrit faz geçişlerinde mühendislik ve jeokimyasal durumu inceledikleri çalışmalarında, anhidritli kalsiyum sülfat ihtiva eden zeminlerde şişme veya büzülme gibi ciddi yapısal hasarların oluşabildiğini ve bu tip zeminlerin su almaya devam etmesiyle hasarın miktarının büyüyebileceğini belirtmişlerdir.

Karacan (1989), jipsin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde jeolojik yaşın tesiri olmadığını ileri sürmüştür. Araştırmacı jipslerin tek eksenli basınç dayanımlarının, su etkisi altında %50'ye varan oranda azalmaya neden olduğunu, çekme dayanımlarında ise bu oranın daha az olduğunu belirtmiştir.

Karacan ve Yılmaz (1997), Sivas'ın kuzeydoğusundaki obruklarla alakalı yapmış oldukları çalışmada, dolinlerin çözünme veya çökme kaynaklı oluştuğunu aynı zamanda yeraltısuyunun dolinlerin oluşumunda büyük bir etki sahibi olduğunu ifade etmişlerdir.

Yılmaz (2001), jips-anhidritin mekanik özelliklerinin yeraltısuyu, basınç ve sıcaklık gibi parametrelere göre değişebileceğini belirttiği çalışmada, jips ve anhidritin süreksizlikler ve fay hatları boyunca yeraltı suyuna bağlı olarak çözünmeler gösterip karstik alanlar oluşturabileceğini ifade etmiştir.

Doğan (2002), Çankırı'nın doğusundaki jips karstlaşmasıyla oluşan dolinleri incelediği çalışmasında, bu dolinlerin genel itibariyle subsidans dolinleri olduğunu yani çözünme yoluyla ortaya çıktığını belirtmiştir. Jipsin çözünürlüğünün kireçtaşına oranla daha fazla olduğuna dikkat çeken çalışma, dolinlerin bir kısmının güneybatı-kuzeydoğu doğrultusundaki fay hatları boyunca meydana gelen yeraltısuyu taşınımı kaynaklı olduğunu ileri sürmüştür.

Gökkaya ve Tunçel (2019), Çankırı ili, Merkez ilçe'ye bağlı İnandık köyü'ndeki obruk oluşumları üzerine yapmış oldukları çalışmada, jipsin çözünürlüğünün karbonatlı kayaçlara oranla daha fazla olduğunu ve insan faaliyetleri neticesinde bu durumun daha da hızlı bir hal alabileceğini belirtmiştir. Gerek yüzey sularının iyi drene edilememesi gerekse içme suyu ve kanalizasyon şebekesindeki çatlaklardan kaynaklı suya maruz kalan jipslerin erime yaparak çeşitli alanlarda boşluklar oluşturduğunu belirlemişlerdir. Yazarlar, oluşan obruklar ve bir takım oturmalar sebebiyle yerleşim yerindeki binaların da zarar gördüğünü belirterek, çalışma bölgesinde 8 adet obruk olduğunu tespit etmişlerdir.

3. OBRUKLAR

3.1 Obruk Tanımı

‘’Obruk’’ kelime anlamı itibariyle çukur, oyuk, çöküntü manalarına gelir. Obruklar genel olarak, yeraltısularının eriyebilen türden kayaçlar ile etkileşime girmesi neticesinde oluşan yeraltı boşluklarının zamanla üzerlerindeki yükü taşıyamayarak çökmesi sonucu meydana gelen karstik yer şekilleri olarak tanımlanır. Yine obruk tanımlamalarından bir diğeri ise, tabakalı kireçtaşında bulunan yeraltı nehirlerinin ya da aktif mağara tavanlarının çökmesi sonucu meydana gelen baca veya kuyuya benzer derin çukurlara verilen isim olduğudur (Şen 2018). Yukarıdaki tanımda geçen kireçtaşı ifadesi obrukların yalnızca kiraçtaşı litolojisine sahip alanlarda meydana geldiği anlamını taşımamaktadır.

MTA ise obruğu ‘’karstik çöküntü alanları’’ olarak ifade etmiştir (MTA 2018).

Obrukların derinlikleri birkaç metreden başlayıp birkaç yüz metrelere kadar değişebilir. Genişlikleri için yine aynı ölçütleri ifade etmek mümkündür (Şekil 3.1). Özellikle düz arazilerde düzgün dairesel bir şekil alan obruklar eğimli arazilerde ise oval şekilde oluşabilir. Bazı obrukların diplerinde su olduğu görülürken bazıları ise kuru şekilde karşımıza çıkar.



Şekil 3.1 Çalışma alanından 13 m çapında ve 10 m derinliğinde obruk görünümü

3.2 Obruk Oluşumu

Obrukların oluşumu ile alakalı farklı görüşler mevcuttur. Bazı araştırmacılar bu oluşumların karstik oluşumlar olduğu ileri sürerken (Lahn 1940, Alagöz 1944, Erinç 1960), bazıları volkanik faaliyetlerden kaynaklı olduğunu ifade etmişlerdir. Görüşler farklı olsa da buluşulan nokta obruk oluşumlarının yeraltında eriyebilen kayaçlarda meydana geldiği konusudur.

Ülkemizde gelişen obrukların büyük bir çoğunluğu Konya Havzasında meydana gelmiştir. Bununla birlikte diğer illerde meydana gelen obrukların sayısı da azımsanamayacak kadar çoktur. Bu illere örnek olarak, Sivas, Batman, Eskişehir, Diyarbakır, Manisa, Afyon ve Çankırı verilebilir. Sayıları her geçen gün daha da artan bu oluşumlar şimdilik günlük hayatı kesintiye uğratmıyor olsa da bulundukları yerlerdeki bölge halkını oldukça fazla tedirgin etmektedir.

Obruklar doğal süreçler neticesinde oluşan olaylardır. Ancak bu oluşumları tehlikeli kılan ani olarak meydana gelmeleri ve zarar verme potansiyelleridir. Şu ana kadar

ülkemizde her ne kadar obruk kaynaklı bir can kaybı yaşanmamış olsa da bu durum zararsız kabul edilemeyecek kadar büyük bir tehlike potansiyelini içerisinde barındırır. Çapları ve derinlikleri göz önünde bulundurulduğunda obruklar 2-3 evi hatta şehir merkezinde oluştukları durumda apartmanları ve dükkanları, yolda oluştukları takdirde araçları yutabilirler (Şekil 3.2). Bu potansiyel kuşkusuz onların afet statüsünde değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.



Şekil 3.2 Guatemela'da meydana gelen bir obruk görüntüsü (Kaynak BBC)

Biricik (1992), karstik bir çukura obruk denilebilmesi veya obruğun oluşabilmesi için aşağıda sunulan şartların büyük öneme sahip olduğunu vurgulamıştır:

1)Taban seviyesi yükseklikleri arasında fark bulunan iki komşu havzanın varlığı,
Bu havza; sübsidans(çözünme) havzası, tektonik kökenli havza veya karstik bir depresyon olabilir.

2)Bu iki havza'yı birbirinden ayrı kılan bir eşiğin var olması,
Bu eşik, bir plato veya alçak dağlık bir alan da olabilir.

3)Havzalar arasındaki eşiğin yüzeyinden yerin altına doğru, bütün veya kesintili bir şekilde karstik mineral ve kayaçların bulunması,
Aynı litolojik birimlere sahip iki havzanın varlığı karstlaşma olayını hızlandıracak ve

onların büyük boyutlu karstik şekiller olmalarına neden olacaktır.

4)Havzaların hidrolojik açıdan birbiriyle bağlantılı olması,
Nispeten alçakta kalan havza, gerek yüzey gerekse yeraltı suları yönünden genellikle yüksekte olan havzanın su rejimi etkisinde kalır. Böylece akış yönü yüksek havzadan alçak havzanın tabanına doğru olacaktır.

5)Her iki havza'da da zaman içinde beslenme şartlarına göre, gerek yeraltı gerekse yüzey su seviyelerinde alçalıp yükselmelerin meydana gelmesi,
Yeraltı ve yüzey su seviyelerindeki değişimler birçok farklı sebepten dolayı meydana gelebilir. Genç tektonik hareketler veya iklimdeki değişimler seviye farklılıklarına neden olan unsurlara örnek olarak verilebilir.

Obruk oluşumunda arazinin litolojik, tektonik ve volkanik özelliklerinin yanında yeraltı suyu ve akım yönünün büyük bir etkisi vardır. Buradaki en büyük etki litolojidir. Eriyebilen türden kayaçlar olan kalker(kireçtaşı), jips(alçıtaşı), dolomit ve halit(kayatuzu) karstlaşmanın en çok görüldüğü litolojik ögelerdir. Çalışmaya konu olan alanda bu litolojik ögelerden jips gözlemlenir. Ayrıca jipsin çözünürlüğünün karbonatlı kayaçlardan daha fazla olduğu (Karacan ve Yılmaz 1997) ve bu sebepten dolayı karstlaşmaya daha meyilli olduğu bilinir. Bu durum çalışma alanının riskli bir bölgede bulunduğunu kanıtlar niteliktedir.

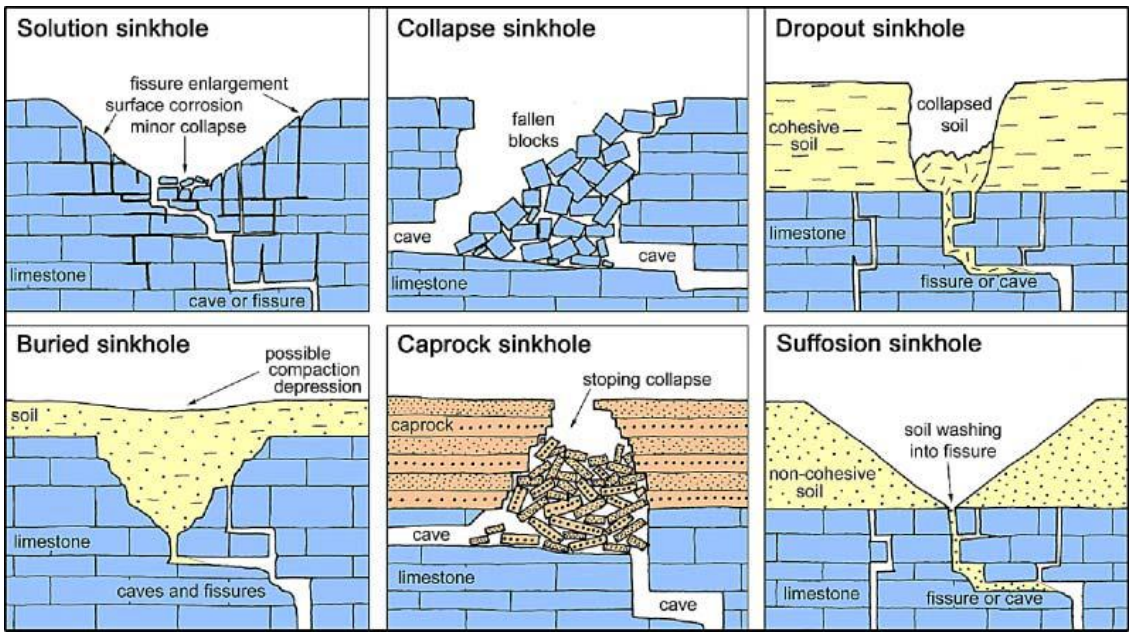
3.3 Obruk Sınıflandırması

Karstik arazilerdeki makro şekillerden birisi olan obruklar karstik gelişim sürecinin en önemli habercilerindendir. Bundan dolayı bir arazide jeomorfolojik veya hidrojeolojik bir karstik gelişimin belirlenebilmesi için ilk olarak obrukların tiplerini iyi bilmek ve oluşum mekanizmaları arasındaki farklar hakkında bilgi sahibi olmak gerekir. Ayrıca oluşum süreci hızlı ilerleyen ya da aniden oluşan bazı obruklar insanların can güvenliği ve çeşitli mühendislik yapıları açısından oldukça büyük bir tehdittir. Bu nedenle obruk tiplerini iyi bilmek sadece jeolojik açıdan değil, şehir bölge planlama, yerleşim, inşaat

mühendisliği ve çevre yönetimi gibi pek çok disiplin açısından da büyük öneme sahiptir (Doğan 2004).

Karstik alanlarla alakalı yapılan çalışmaların bilime katkısının yanında, tarım, yerleşim, su kaynaklarının verimli değerlendirilmesi ve turizm gibi birçok alana daha katkısı vardır. Bu tür çalışmalar karstik alanlardaki su kaynaklarının muhafazası ve sürdürülebilir bir faydanın sağlanması, özellikle su kaynaklarının verimliliği açısından da önemlidir. Karstik alanlardaki su sirkülasyonunun önemli bir delili olan obruk oluşumlarının detaylı şekilde incelenmesi bu anlamda son derece gereklidir.

Waltham ve Fokes (2005)'e göre obruk tipleri altı kısımda ele alınmış olup aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4).

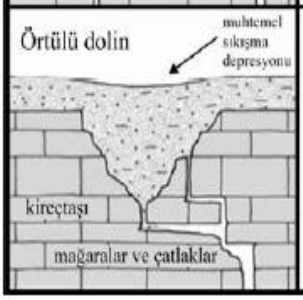


Şekil 3.3 Obruk tipleri (Waltham ve Fokes 2005)

Obruk tipleri, soldan sağa doğru çözünme obruğu, çökme obruğu, örtü çökme obruğu, örtülmüş obruk, örtü kayası çökme obruğu ve örtü sübsidans obruğudur.

Törk ve Güner (2019), ''Obruk'' isimli çalışmalarında Türkiye açısından obrukların önemine değinmiş ve aynı kaynaktan (Waltham ve Fokes 2005) yararlanarak obruk

tiplerini altı sınıfta ele almışlardır. Bazı isim farklılıkları olmakla beraber, yıkılma obruğu-örtü çökme obruğu, yayvan obruk-örtü sübsidans obruğu, gömülü obruk-örtülmüş obruk vb. genel itibariyle aynı sınıflandırma yöntemi ele alınmıştır.

	Oluşum süreci	Yüzeysel çözünme
	Yankayaç	Kireçtaşı, dolomit, jips, kaya tuzu
	Oluşum hızı	Kararlı şekil>20,000 yıl
	Tipik en büyük boyut	1-100 m derinlik
	Mühendislik tehlikesi	Çatlak ve mağara direnleri zemin altına çıkmalı
	Uluslararası literatürdeki diğer kullanımları	Dissolution, cocpit, doline, çözünme
	Oluşum süreci	Mağaralardaki çatıların çökmesi
	Yankayaç	Kireçtaşı, dolomit, jips, kaya tuzu
	Oluşum hızı	Çok nadir olarak mağaralardaki hızlı yenilmeler
	Tipik en büyük boyut	100-300 m derinlik
	Mühendislik tehlikesi	Zemin çökmesi, mağara çatılarının yenilmesi
	Uluslararası literatürdeki diğer kullanımları	Cave collapse, cenote, çökme
	Oluşum süreci	Çözünebilen kayadaki mağara duvarlarının çözünmesi
	Yankayaç	Kireçtaşı, dolomit, jipsi, üzerleyen herhangi bir kaya
	Oluşum hızı	Nadir yenilmeler > 10,000 yıl
	Tipik en büyük boyut	100-300 m derinlik
	Mühendislik tehlikesi	Duraysız zemin, mağaralarda yenilme
	Uluslararası literatürdeki diğer kullanımları	Sujacent collapse, interstratal karst, örtü kayası çökme
	Oluşum süreci	Temel kayadaki çatlaklar üzerinde boşluk oluşumu ve bu boşluklara zeminin çökmesi
	Yankayaç	Kireçtaşı, dolomit, jips üzerindeki kohezyonlu zeminler
	Oluşum hızı	Dakika, yıl, aylar içerisinde boşuklara zemin çökmesi
	Tipik en büyük boyut	10-50 m derinlik
	Mühendislik tehlikesi	Zeminle örtülü kart alanlarında duraysızlık
	Uluslararası literatürdeki diğer kullanımları	Subsidance, cover collapse, alluvial, örtü çökme
	Oluşum süreci	Temel kayaçtaki kırıklar boyunca zemin yıkanması
	Yankayaç	Kireçtaşı, dolomit, jips üzerindeki kohezyonsuz zemin
	Oluşum hızı	Yıl-ay
	Tipik en büyük boyut	10-50 m derinlik
	Mühendislik tehlikesi	Bir yılda yavaş yok edici çökme
	Uluslararası literatürdeki diğer kullanımları	Sübsidans, örtü sübsidans, alluvyal
	Oluşum süreci	Kaya içindeki düden, çevresel değişiklik sonrası dolgu
	Yankayaç	Kireçtaşı, dolomit, jipsdeki kaya kütlesi
	Oluşum hızı	Duraylı jeolojik özellikler 10,000 yıldan daha büyük
	Tipik en büyük boyut	100-300 m derinlik
	Mühendislik tehlikesi	Duraylı kayaçlarla çevrili zayıf dolgu üzerindeki çökme
	Uluslararası literatürdeki diğer kullanımları	Filled, compaction, paleosinkhole, örtülü dolin

Şekil 3.4 Obruk tipleri ve obrukların ana özellikleri (Waltham ve Fokes 2005)

3.3.1 Çözünme obruğu (Solution sinkhole)

Karstik arazilerde yaygın olarak görülen ve tanımlaması en kolay obruk tipidir. Karstik kayaç yüzeyinin zamanla kimyasal olarak çözünmesi ile açığa çıkan, birkaç metre derinlik ve genişlikten, onlarca metre derinlik ve yüzlerce metre genişliğe kadar ulaşabilen dairesel veya eliptik çukurlardır. Görünüm itibariyle huni şekillidir (Doğan 2004).

3.3.2 Çökme obruğu (Collapse sinkhole)

Karstik yeraltı boşlukları veya mağara tavlarının zamanla üzerlerindeki yükü taşıyamayacak hale gelmesi ve mağara tavanının çatlaklar boyunca aniden çökmesi sonucu meydana gelen derin çukurluklardır. Genç oluşumlu çökme obrukları içerisindeki çöken bloklar bir enkaz yığını andırabilir (Şekil 3.5). Kireçtaşı sağlam yapılı olduğundan dolayı bu türden bir obruk oluşumu kireçtaşında yaygın değildir (Waltham ve Fokes 2005). Jipsin karstlaşma hızı kireçtaşına göre çok daha hızlı gerçekleştiğinden obruk oluşumunun bu türü daha çok jipslerde görülür (Waltham ve Fokes 2005).



Şekil 3.5 Çalışma alanında gözlemlenen bir çökme obruğu görüntüsü

3.3.3 Örtü çökme obruğu (Dropout sinkhole)

Karstlaşabilir formasyon üzerinde bulunan kohezif zeminde meydana gelir. Kohezif zeminden süzülen yağmur ve yüzey suları zamanla alttaki karstlaşabilir zemin içerisinde bir takım mağaralar ve çatlaklar meydana getirir, bu boşluklara dolan zemin taneleri örtü tabakada boşluklara sebep olur (Şekil 3.6). Nihayetinde boşlukların tavanı çökerek örtü çökme obruğunu oluşturur (Waltham ve Fokes 2005).



Şekil 3.6 Çalışma alanında meydana gelen bir örtü çökme obruğu görüntüsü

3.3.4 Örtülmüş obruk (Buried sinkhole)

Bu tip obruklar çok eski zamanlarda oluşmuş çözünme ve çökme obruklarının uzun yıllar boyunca toprak ve alüvyon gibi bir takım malzemeler ile dolması sonucu oluşur (Şekil 3.7). Bazen örtülmüş obruklar üzerinde sığ çöküntüler olabilir (Doğan 2004).



Şekil 3.7 Çalışma alanında tespit edilen örtülmüş obruk görüntüsü

3.3.5 Örtü kayası çökme obruğu (Caprock sinkhole)

Örtü kayası çökme obrukları, çökme obrukları ile kıyaslanabilir. Çökme obruklarından farklı olarak burada karstlaşabilir formasyonun üzerinde karstik olmayan bir tabaka söz konusudur ve çökme bu karstik olmayan tabakada gerçekleşir (Waltham ve Fokes 2005). Bu özelliği dışında çökme obruklarını andırır.

3.3.6 Örtü sübsidans obruğu (Suffosion sinkhole)

Bu obruk tipi Örtü çökme obruğu ile benzerlik gösterir. Bu tipin ayırıcı özelliği karstik ana kayanın üzerindeki örtü tabakasının kohezif olmamasıdır. Yüzey sularının karstik ana kayaya ulaşarak bir takım çatlaklar ve boşluklar meydana getirmesi ve devamında yine yüzey sularının etkisi ile kohezif olmayan zeminin bu boşluklara dolması neticesinde örtü tabakada da boşluklar oluşmaya başlar. Bu boşluklar zamanla örtüyü taşıyamaz ve çökme gerçekleşir (Doğan 2004).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma alanı Çankırı-Merkez ilçesi İnandık köyü yerleşik alanını kapsar. Arazi çalışmaları yapılmadan evvel konuyla alakalı önceki araştırmacıların çalışmaları incelenmiş ve bölgenin jeolojik ve topoğrafik haritaları gözden geçirilmiştir. Bu kısımda inceleme alanında yapılan saha çalışmalarına ve laboratuvar çalışmalarına değinilecektir.

4.1 Saha Çalışmaları

Bu bölümde, çalışma alanında gerçekleştirilen yerinde incelemeler (Şekil 4.1, 4.2), numune alımı ve deneyler ile ayrıca saha çalışmaları kapsamında proje alanında Çankırı İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen bir takım çalışmalar ele alınmıştır.



Şekil 4.1 Çalışma alanından bir obruk görüntüsü



Şekil 4.2 Çalışma alanındaki en eski obruğun görüntüsü

4.1.1 Sondaj kuyuları

Çalışma alanında toplamda 3 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Açılan sondaj kuyuları zemindeki erimeleri tespit etmek için açıldığından derin sondaj uygulamasına gidilmemiştir. Sondaj kuyularına ait öznitelik bilgileri aşağıda (Çizelge 4.1) gösterilmiştir. Ayrıca sondajlara ait görüntüler de mevcuttur (Şekil 4.3, 4.4, 4.5).

Çizelge 4.1 Açılan sondaj kuyularına ait öznitelik bilgileri

NO	SK ADI	DERİNLİK	KOORDİNATLAR	
		(m)	ENLEM	BOYLAM
1	SK-1	7	40.409499	33.562589
2	SK-2	7	40.408619	33.562683
3	SK-3	7	40.409879	33.561469
TOPLAM		21		



Şekil 4.3 SK- 1 No'lu sondaj işleminden bir görünüm



Şekil 4.4 SK- 2 No'lu sondaj işleminden bir görünüm



Şekil 4.5 SK- 3 No'lu sondaj işleminden bir görünüm

4.1.2 Mikrotremör Ölçümleri

Son dönemde oldukça yaygınlaşan yer etkisi belirleme yöntemlerinden biri de mikrotremör ölçümleridir. Mikrotremör ölçümleri ile titreşim periyotları iki yöntemle yapılmaktadır. Bunlardan birincisi, farklı noktalardan alınan iki ölçüm değerinin yatay ve düşey doğrultudaki spektrumlarının birbirine oranlanması yöntemidir. Diğer yöntem ise ölçüm yapılacak nokta ile ölçüm yapılacak noktadan etkilenmeyecek başka bir alana konumlandırılan mikrotremör cihazının referans istasyon oranlarıdır. Kullanıcı bu iki yöntemden birini seçerek zemin hâkim titreşim periyodu hakkında bilgi sahibi olabilir (Karabulut vd. 2009)

Mikrotremör ölçümlerinin değerlendirilmesinde ‘’Yatay / Düşey Spektral Oran Yöntemi (HVSR)’’kullanılmıştır. Yöntem deprem ve mikrotremor kayıtlarının düşey doğrultuda jeolojik birimlerden etkilenmeksizin aynı olacağı görüşüne dayanır (Lermo ve Chavez 1994). Bu sebeple yatay bileşenin genlik spektrumuna bölünmesi ile sonuca ulaşılır Denklem (4.1).

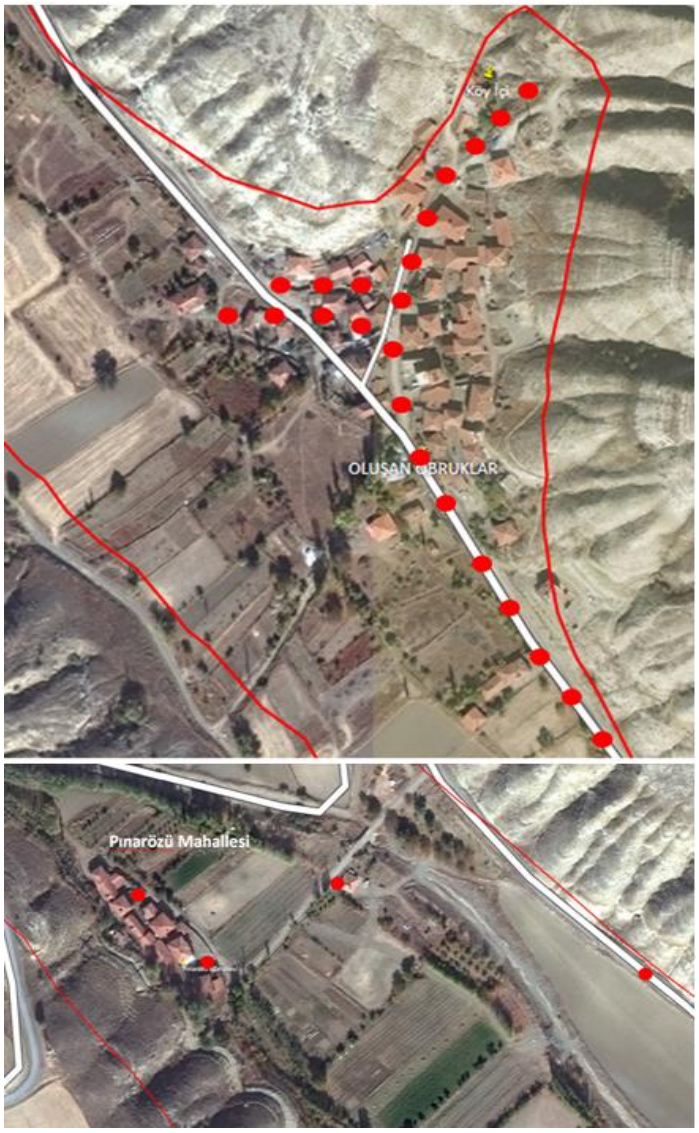
$$St=Hy\div Vd \quad (4.1)$$

St: Transfer Fonksiyonu

Hy: Yatay bileşen genlik spektrum bileşkesi

Vd: Düşey bileşen genlik spektrum bileşkesi

Ölçümler sırasında ''HVSR 3 ECHO TROMO'' isimli cihaz kullanılmıştır. Alınan ölçümler ''Geopsy'' yazılımı aracılığı ile değerlendirilmiştir. Köy yerleşik alanı içerisinde 28 farklı istasyondan (Şekil 4.6, Çizelge 4.2) veri sağlanmıştır. Bu sayede zemin büyütmesi ve zemin hâkim titreşim periyodu değerlerine ulaşılmıştır.



Şekil 4.6 Mikrotremor ölçümü yapılan istasyonlar (Özçelik vd. 2016)

Çizelge 4.2 Mikrotremor ölçüm istasyonları ve koordinatları

ÖLÇÜM İSTASYONLARI	KOORDİNATLAR	
	ENLEM	BOYLAM
M1	40.407111	33.563967
M2	40.407302	33.563802
M3	40.407493	33.563636
M4	40.407684	33.563471
M5	40.407874	33.563306
M6	40.408065	33.563140
M7	40.408256	33.562975
M8	40.408447	33.562810
M9	40.408644	33.562684
M10	40.408908	33.562642
M11	40.409181	33.562616
M12	40.409498	33.562665
M13	40.409821	33.562724
M14	40.410041	33.562864
M15	40.410251	33.563038
M16	40.410460	33.563211
M17	40.409336	33.562376
M18	40.409567	33.562391
M19	40.409567	33.562182
M20	40.409567	33.561932
M21	40.409533	33.561704
M22	40.409358	33.561423
M23	40.409311	33.561670
M24	40.409264	33.562045
M25	40.414904	33.555785
M26	40.418180	33.548220
M27	40.417784	33.547072
M28	40.418098	33.546679

4.2 Numune Alımı ve Deneyler

İnceleme alanında açılan sondaj kuyularına ilave olarak, İnandık köyü ve civarından araştırma çukurları da açılmış ve numuneler alınarak kayanın mekanik özellikleri

hakkında bilgi sahibi olmak amaçlanmıştır. Bu çalışma esnasında ‘’Nokta Yükleme Deneyi’’nden yararlanılmıştır.

4.2.1 Nokta yükü dayanım indeksi

Bölgede iki adet araştırma çukuru açılarak (Şekil 4.7(b), Şekil 4.7(c)) bu çukurlardan alınan jips numuneleri üzerinde nokta yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.7 (a) Araştırma çukuru açılışından bir görüntü. (b) Araştırma Çukuru-1’den birgörüntü. (c) Araştırma Çukuru-2’den bir görüntü. (d) Altere olmuş jips numunesinin elde bile dağılan halinden bir görüntü.

Araştırma çukurlarının konumları ve özellikleri (Çizelge 4.3) ve alınan numuneler (Çizelge 4.4) aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Araştırma çukurlarının öznitelik bilgileri

Araştırma Çukurları	Koordinatlar(ITRF-3)		Derinlik(m)	Genişlik(m)
	X	Y		
A.Ç-1	4.475.272,149	547.602,133	2	2
A.Ç-2	4.475.265,115	547.608,098	2	2

Çizelge 4.4 Araştırma çukurlarından alınan numuneler

Araştırma Çukurları	Derinlik(m)	Numune adı
A.Ç-1	0.00-0.50	Bitkisel Toprak
A.Ç-1	0.50-1.00	1
A.Ç-1	0.50-1.00	2
A.Ç-1	1.50-2.00	3
A.Ç-1	1.50-2.00	4
A.Ç-2	0.00-0.50	Bitkisel Toprak
A.Ç-2	0.50-1.00	5
A.Ç-2	0.50-1.00	6
A.Ç-2	0.50-1.00	7
A.Ç-2	1.00-1.50	8
A.Ç-2	1.00-1.50	9
A.Ç-2	1.50-2.00	10

Araştırma çukurlarının ilk yarım metrelik kısmından bitkisel toprak ve daha sonra jips-anhidrit faz değişimli kiltaşı ardalanmalı birimlere rastlanmıştır. Numuneler alınırken farklı derinliklerden yararlanılması hem jipsli birimlerin damar damar karşımıza çıkması hem de farklı derinliklerden elde edilen numuneler üzerinde daha homojen bir deney yapabilmek içindir. Yüzey sularından etkilenen bazı numunelerin altere olduğu fark edilerek deneye girecek olan numuneler özenle seçilmişlerdir(Şekil 4.8). Alınan numuneler üzerinde nokta yükleme deneyi gerçekleştirilmiş ve deneyin yapılış şekli aşağıda özetlenmiştir.

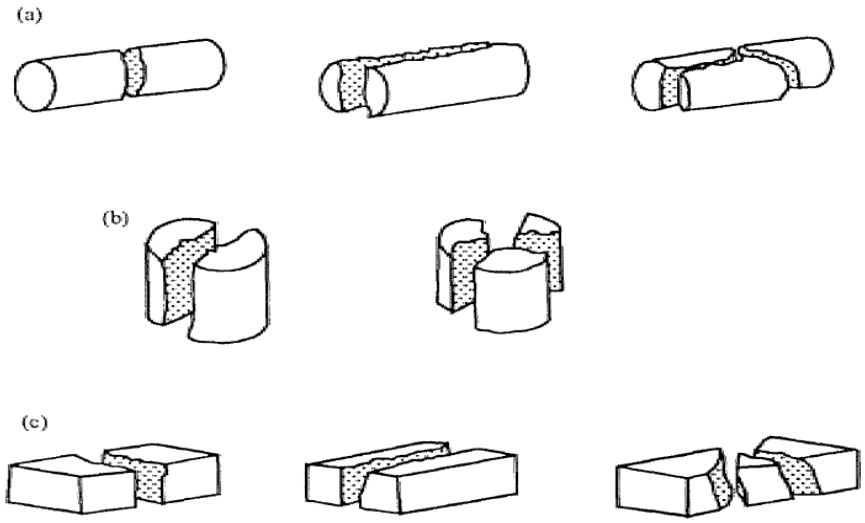


Şekil 4.8 (a) Jipsli birimden numune alınışı. (b) Alınan numunelerden bir görüntü. (c) Damar şeklindeki jipsli birimden örselenmiş numuneler.

Nokta yükü dayanım indeksi kayaçların mukavemetlerine göre sınıflandırılmasında kullanılır. Bu deney vasıtasıyla tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanımları da dolaylı olarak belirlenebilmekle beraber günümüzde bu amaçla tercih edilen bir yöntem değildir. Standart bir nokta yükleme deney aleti aşağıdaki parçalardan meydana gelir;

- Göstergeler
- Konik başlıklar
- Hidrolik pompa kolu
- Hidrolik pompa
- Koruma gözlüğü

Bu deneyin yapılışında silindirik karot numuneler kullanılabildiği gibi blok ve düzensiz şekilli numuneler de kullanılabilir (Şekil 4.9). Özellikle jips gibi düzenli karot alımının zor olduğu kayaç türlerinin dayanımları hakkında bilgi sahibi olmak için kullanılan bir yöntemdir.



Şekil 4.9 Geçerli deneyler için yenilme tipleri (a) Çapsal deney. (b) Eksenel deney. (c) Blok deney (Topal 2000).

Deneyin yapılışında ilk olarak numunenin boyutları kumpas yardımı ile ölçülür. Daha sonra numune konik uçların arasına yerleştirilir. Konik uçlar ile örnek arasında herhangi bir boşluğun kalmaması adına pompa kullanılarak silindirik yükleme tablası yükseltilir. Numune 10-60 sn arasında yenilecek şekilde yükleme gerçekleştirilir ve yenilme anındaki yük (P) kaydedilir. En az 10 adet geçerli deney sonucundan en düşük ve en yüksek ikişer sonuç iptal edilerek kalan 6 değerin ortalaması alınır. Böylece malzeme için nokta yükü dayanım indeksi elde edilmiş olur.

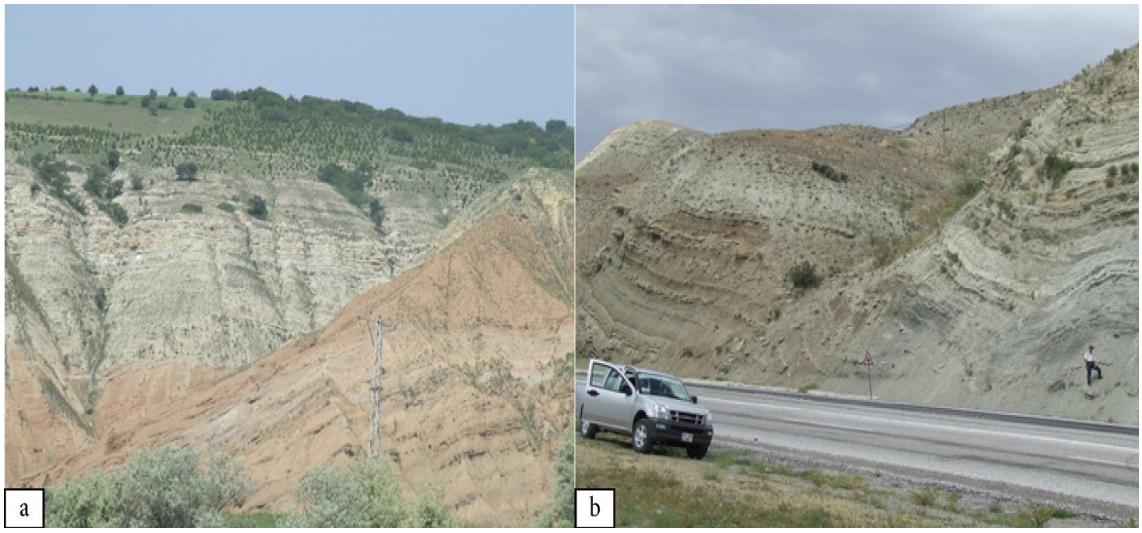
4.3 Jeoloji

Çankırı ilinde Üst Miyosen-Pliyosen yaştaki jipsli birimler gözlenir. Bu birimler kuzeydoğuda Yapraklı, güneydoğuda Kızılırmak, güneyde Ankara, güneybatıda Eldivan'ın sınırladığı genişçe bir alana yayılmaktadır. Bölgede, aynı zamanda sedimanter, püskürük ve başkalaşım kayaçları da görülür.

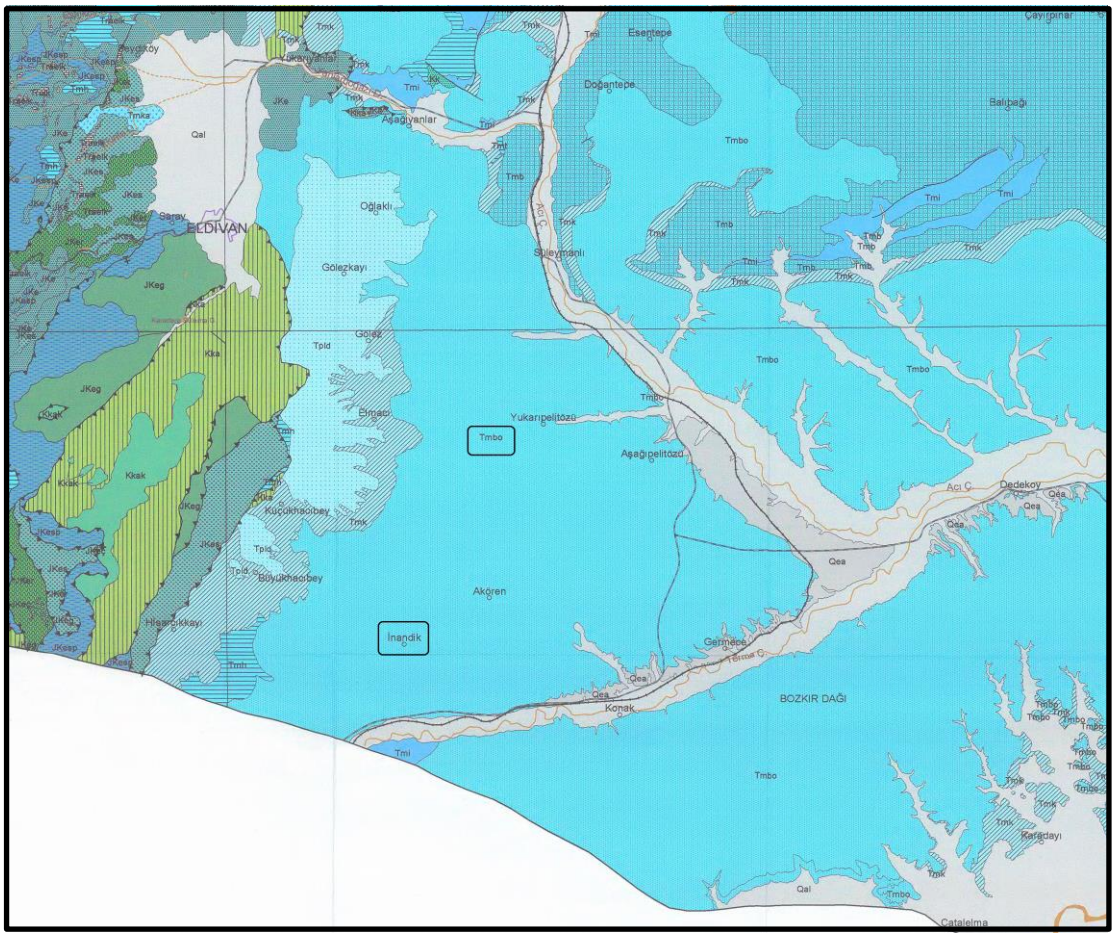
Şehrin, Kurşunlu ve Ilgaz bölgelerini içine alan Galatya Masifi, Mesozoik yaştadır. Genellikle andezit bileşimine sahip lav, tüf ve aglomeralardan oluşmuştur. Aynı masif içerinde bulunan Orta ilçesinde, çakıl, kum ve kil gibi akarsu tortulları yaygındır. Batıda Çerkeş, Kurşunlu ve Ilgaz'ı içine alan alanda Neojen yaşlı kumtaşı, kiltaşı ve tüf ara

seviyelerinden oluşan birimler vardır. Aynı birimler Şabanözü ilçesinin güneyinde de bulunmaktadır. Ilgaz ilçesinin kuzeybatısı ile Yapraklı ilçesinden Ankara il sınırına kadar olan alanlarda Mesozoyik yaşlı birimler gözlenir. Ofiyolitik melanj olarak adlandırılan bu birimde pelajik-neritik kireçtaşları, çamurtaşları, radyolaritler, denizaltı tepesi volkanitleri, serpantinitler ve gabro-diyabaz kayaları bulunmaktadır (Sarıfakıoğlu vd. 2011).

Çankırı havzasında, karasal akarsu ortamının kırıntılı kayaçlarını temsil eden Oligo-Miyosen yaşlı İncik formasyonu gözlenirken, Alt Miyosen yaşlı Kumartaş formasyonu çakılltaşı, kumtaşı, silttaşı ardalanması ve daha az oranda marn, tüf, killi kireçtaşlarından oluşur. Alt-Orta Miyosen yaşlı Hançili formasyonu killi kireçtaşı, marn, kumtaş, silttaşı ve tüfit ardalanmasından oluşur ve bu litolojik birimler karasal ortamın gölsel ve akarsu çökelleridir. Üst Miyosen yaşlı Bayındır Formasyonu, jips, çamurtaşı ve kumtaşı ardaşımından oluşur ve kapalı göl havza ortamını işaret eder. Kızılırmak Formasyonu, alttaki Bayındır ve üstteki Bozkır formasyonları ile geçişli olup kızıl renkli çamurtaşı, kumtaşı, ve çakıltaşlarından oluşur (Şekil 4.10a). Gölsel evaporitik bir ortam çökelini yansıtan Bozkır formasyonu, Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı olup başlıca jips, çamurtaşı ve kumtaşı seviyelerinden oluşur (Şekil 4.10b). Üst Pliyosen yaşlı Değim Formasyonu, bordo-kahve boz renkli çakıltaşı, çamurtaşı ve az miktarda kumtaşından oluşur. Havzasının en genç birimleri, Tatlı Çay ve Acı Çayın Kuvaterner alüvyonlarıdır (Akyürek vd 1980; Hakyemez vd 1986). Çalışma alanının bulunduğu İnandık köyü, Bozkır Formasyonu üzerinde yer almaktadır (Şekil 4.11).



Şekil 4.10 (a) Çankırı havzasında Kızılırmak Formasyonunun kızıl renkli birimlerinin üzerinde geçişli olarak bulunan Bozkır formasyonuna ait jips seviyeleri. (b) Bozkır formasyonunun kıvrımlı-kırıklı jips seviyeleri



Şekil 4.11 Çalışma alanının genel jeolojisi (Ateş vd. 2008). (Açık mavi alanlar, Bozkır Formasyonunu temsil etmektedir).

4.3.1 Bozkır Formasyonu(Tmbo)

Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı Bozkır Formasyonu jips ile çamurtaşı, kiltaşı ve kumtaşı ardalanmalarından meydana gelir. Jipsler; beyaz, açık gri, sarımsı beyaz renkte, genellikle ince-orta tabakalı, yer yer laminalı, yer yer ise erime boşlukludur. Jips tabakaları, jips tektoniği olarak da adlandırılan kıvrımlı ve kırıklı yapı sunar (Şekil 4.10b). Bozkır formasyonundaki jips seviyelerindeki çözünmelerin sebep olduğu heyelanlara yer yer rastlanmaktadır (Sarıfakıoğlu vd 2021). Formasyondaki çamurtaşları gri veya yeşilimsi gri renktedir. Laminalı ve gevşek bir yapıdadırlar. Kiltaşları mavimsi, yeşilimsi veya sarımsı gri renktedir. İnce tabakalı, laminalı ve gevşek tutturulmuş dağılgan yapıdadır. Kumtaşları ise sarımsı boz renktedir. Yer yer tüf ara tabakaları ihtiva ederler.

5. BULGULAR

Bu kısımda, Materyal ve Yöntem'de belirtilen çalışmalar neticesinde edinilen bilgiler ve ortaya çıkan bulgulara değinilmiştir.

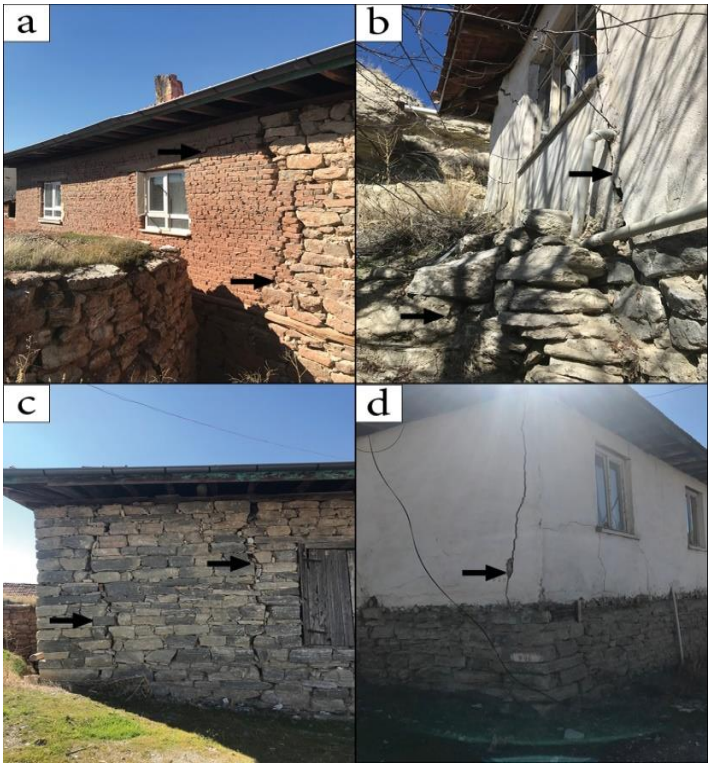
5.1 Saha Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Bu kısımda, saha çalışmalarında elde edilen bulgulara yer verilmiştir.

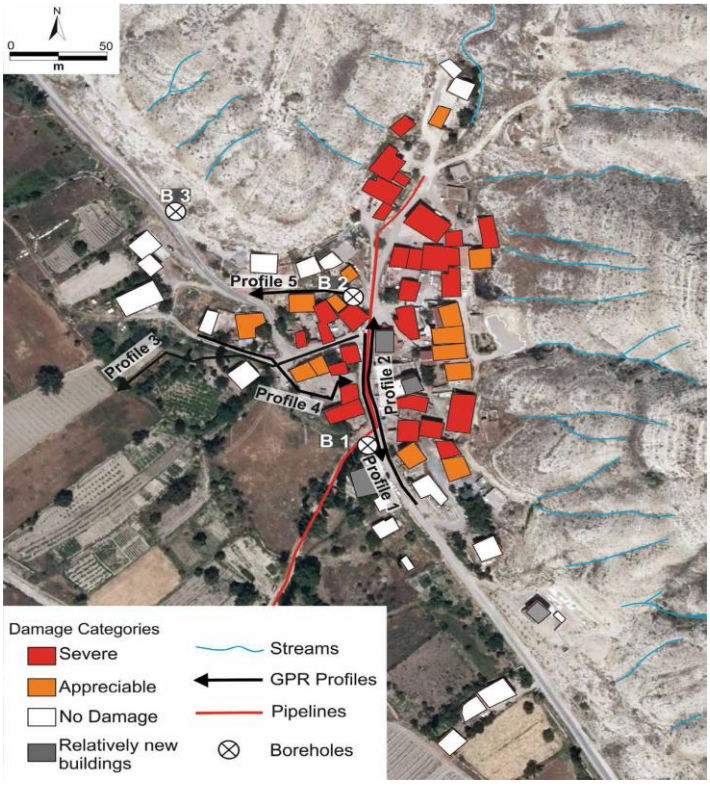
5.1.1 Yapı hasarlarının değerlendirilmesi

Saha çalışmaları kapsamında bölgeye gidilerek yerinde bir takım incelemeler yapılmıştır. Bölgedeki öncel çalışmalar ile bu çalışmada elde edilen veriler birlikte değerlendirilmiştir.

Yöre halkı ve ilin resmi kurumlarından alınan bilgilere göre en güncel obruk oluşumu 2012 yılında meydana gelmiştir. Özellikle bu obruktan sonra yöre halkının tedirginliği daha çok artmış ve yapılarda görülen hasarlar çoğalmıştır. Yerel ve ulusal basın zaman zaman yöre halkı ile röportaj yapmış ve tedirginliği gözler önüne sermiştir. Bu röportajlarda yöre halkı özellikle geceleri deprem gibi bir takım sarsıntılara maruz kaldığını ve evlerinin yıkılmasından endişe duyduklarını belirtmiş ve yetkilileri göreve çağırmıştır. Olay yerinde özellikle Çankırı İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü başta olmak üzere resmi kurumlarca yapılan çalışmalar gerek yapı hasarlarını gerekse sismik titreşimleri doğrulamıştır (Şekil 5.1; Şekil 5.2).



Şekil 5.1 Çalışma alanından hasarlı bina görüntüleri



Şekil 5.2 Çankırı İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü tarafından yapılan hasar tespit çalışması (Özçelik vd. 2016)

Yukarıdaki Şekil 5.2'de görüleceği gibi mevcut yerleşke alanı içerisinde kalan binalar üzerinde hasar tespit çalışması yapılmış ve binalar 4 farklı kategoride ele alınmıştır. Bu 4 kategori kırmızı renk ile ifade edilen ağır hasarlı binalar, turuncu renk ile ifade edilen hafif hasarlı binalar, beyaz renk ile ifade edilen hasarsız binalar ve gri renk ile ifade edilen nispeten yeni sayılabilecek binalardır. Hakim renk skalasının kırmızı ve turuncu renkte olduğu dolayısıyla çoğu binanın hasar aldığı gözlemlenmiştir.

5.1.2 Jipsli birimlerde gözlemlenen süreksizliklerin değerlendirilmesi

Çalışma alanında yapılan incelemelerde jipsli birimlerde birtakım süreksizlikler gözlemlenmiştir (Şekil 5.3). Bu süreksizlikler bazen büyük boyutlarda olurken bazen küçük çatlaklar şeklinde gözlemlenebilir. Her ihtimalde gözlemlenen süreksizlikler kayaçta meydana gelen bozunmaların işaretçisi ve aynı zamanda kayanın mukavemetinde meydana gelen düşüşün habercisidir. Bu süreksizlikler bazen bir oyuk şeklini alabildiği gibi bazen yatay ve bazen de düşey olarak gerçekleşebilmektedir. Süreksizliklerin sahip olduğu açıklık değerleri ISRM (2007)'de tanımlandığı şekliyle sınıflandırılmıştır (Çizelge 5.1).



Şekil 5.3 (a) Çalışma alanındaki jipsli birimlerden bir görüntü. (b) Jipsli birimde erimeden kaynaklı meydana gelmiş bir boşluk görüntüsü. (c) Jipsli birimde meydana gelen yatay süreksizliklerden bir görüntü. (d) Jipsli birimde meydana gelen düşey süreksizliklerden bir görüntü.

Çizelge 5.1 Süreksizliklerin açıklık tanımlama Ölçütleri (ISRM 2007)

Açıklık (mm)	Tanımlama	
<0,1	Çok Sıkı	Kapalı Yapılar
0,1 – 0,25	Sıkı	
0,25 – 0,5	Kısmen Açık	
0,5 – 2,5	Açık	Boşluklu Yapılar
2,5-10	Orta Derecede Geniş	
>10	Geniş	
1-10	Çok Geniş	Açık Yapılar
10-100	Aşırı Geniş	
>100	Boşluklu	

Bölgedeki jipslerde meydana gelen süreksizliklerin sınıflandırması Çizelge 5.1'e göre ''boşluklu yapılar'' ve ''açık yapılar'' olarak değişiklik göstermektedir. Şekil 5.3(b)'de süreksizlik 100 mm'den oldukça fazla olduğundan ''boşluklu'' olarak tanımlamak mümkündür. Şekil 5.3c)'de gözlemlenen yatay süreksizlik 50 mm civarında olduğundan ve Şekil 5.3(d)'de gözlemlenen düşey süreksizlik 80 mm civarında olduğundan ''aşırı geniş'' olarak tanımlamak mümkündür.

5.1.3 Çalışma alanındaki obruk envanteri

Çalışma alanında 8 adet obruk bulunmaktadır. Bu obrukların oluşum yılları 1953 öncesi ve 1953 sonrası olarak incelenmiştir(Gökkaya ve Tunçel 2019). Meydana geldikleri konumun denizden yüksekliği 832 m ile 927 m arasında değişkenlik göstermektedir. Obrukların çapları 1 m den başlayarak 44 m'ye kadar çıkmaktadır. Derinlikleri ise bazı obrukların çiftçiler tarafından örtüldüğü için tam olarak belirlenememiştir. Bununla beraber derinlikleri 0 ila 22,5 m arasında değişmektedir. Obruk tipleri olarak ise 3.bölümde yer alan 6 sınıf obruktan 3'ü çalışma alanında gözlemlenmiştir. Bu 3 tip; Çökme Obruğu, Örtü Çökme Obruğu ve Örtülmüş Obruk olarak karşımıza çıkmıştır.

Bu obruklar; oluşum yılları, rakımları, çapları, derinlikleri ve hangi tip oldukları (Çizelge 5.2)'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Çalışma alanındaki obrukların özellikleri (Gökkaya ve Tunçel 2019)

Obruk Numarası	Oluşum Yılı	Rakım(m)	Çap(m)	Derinlik(m)	Obruk Tipi
1	1953 Öncesi	877	-	-	Örtülmüş Obruk
2	1953 Öncesi	882	44	22.5	Çökme Obruğu
3	1953 Öncesi	881	5	-	Örtülmüş Obruk
4	1953 Öncesi	886	12	-	Örtülmüş Obruk
5	1953 Öncesi	916	7	-	Örtülmüş Obruk
6	1953-1971	927	13.5	-	Örtülmüş Obruk
7	1990-2008	832	1	1	Örtü Çökme Obruğu
8	2012	898	13	10	Örtü Çökme Obruğu

5.1.4 Sondaj kuyularından elde edilen verilerin değerlendirilmesi

Çalışma sahasında açılan sondaj kuyularından elde edilen verilere göre SK- 1, SK- 2 ve SK- 3 No'lu sondaj kuyularından (Şekil 5.4) numuneler doğrultusunda bölgenin zemin profili hakkında bir takım bulgular ortaya çıkmıştır. Aşağıda bu bulgulara değinilecektir.

- SK - 1 isimli sondaj kuyusunun açıldığı zeminde 0.00–0.50 metre aralığında bitkisel toprak, 0.50–3.25 metre aralığında evaporotik kökenli killi siltli birim ve 3.25–7.00 metre aralığında yer yer boşluklu jipsli birimler gözlemlenmiştir.

- SK - 2 isimli sondaj kuyusunun açıldığı zeminde 0.00–0.50 metre aralığında bitkisel toprak, 0.50–2.5 metre aralığında dolgu zemin ve 2.5–7.00 metre aralığında yer yer boşluklu jipsli birimler gözlemlenmiştir.

- SK - 3 isimli sondaj kuyusunun açıldığı zeminde 0.00–7.00 metre aralığında jipsli kiltaşı, çamurtaşı ardalanmalı birimler gözlemlenmiştir.

Açılan sondaj kuyularında jipsli birimler ve bu birimlerdeki erimeler daha yüzeye çok yakın noktalarda dahi tespit edildiğinden derin sondaj ihtiyacı ortadan kalkmıştır. SK-1 ve SK-2 de ‘’yer yer boşluklu jipsli’’ şeklinde geçen ifade bu durumu ifade etmektedir. SK-3 sondaj kuyusunda ise durum biraz farklıdır. Yapılan diğer arazi çalışmalarında diğer noktalara göre nispeten güven arz eden bu noktada bir nevi sağlama yapmak maksatlı bilinçli bir şekilde sondaj kuyusu açılmıştır. SK-3’te ortaya çıkan sonuçta boşluklu herhangi bir birime rastlanmaması bu durumdan kaynaklıdır.



Şekil 5.4 Bölgede yapılan sondajların konumları

5.1.5 Mikrotremör ölçümlerinin değerlendirilmesi

Mikrotremör ölçümleri değerlendirilerek Zemin Hâkim Titreşim Periyodu, Zemin Büyütmesi ve Frekans değerlerine ulaşılmıştır. Zemin Hâkim Titreşim Periyodu bulunurken ‘’Nakamura Yöntemi’’nden yararlanılmıştır.

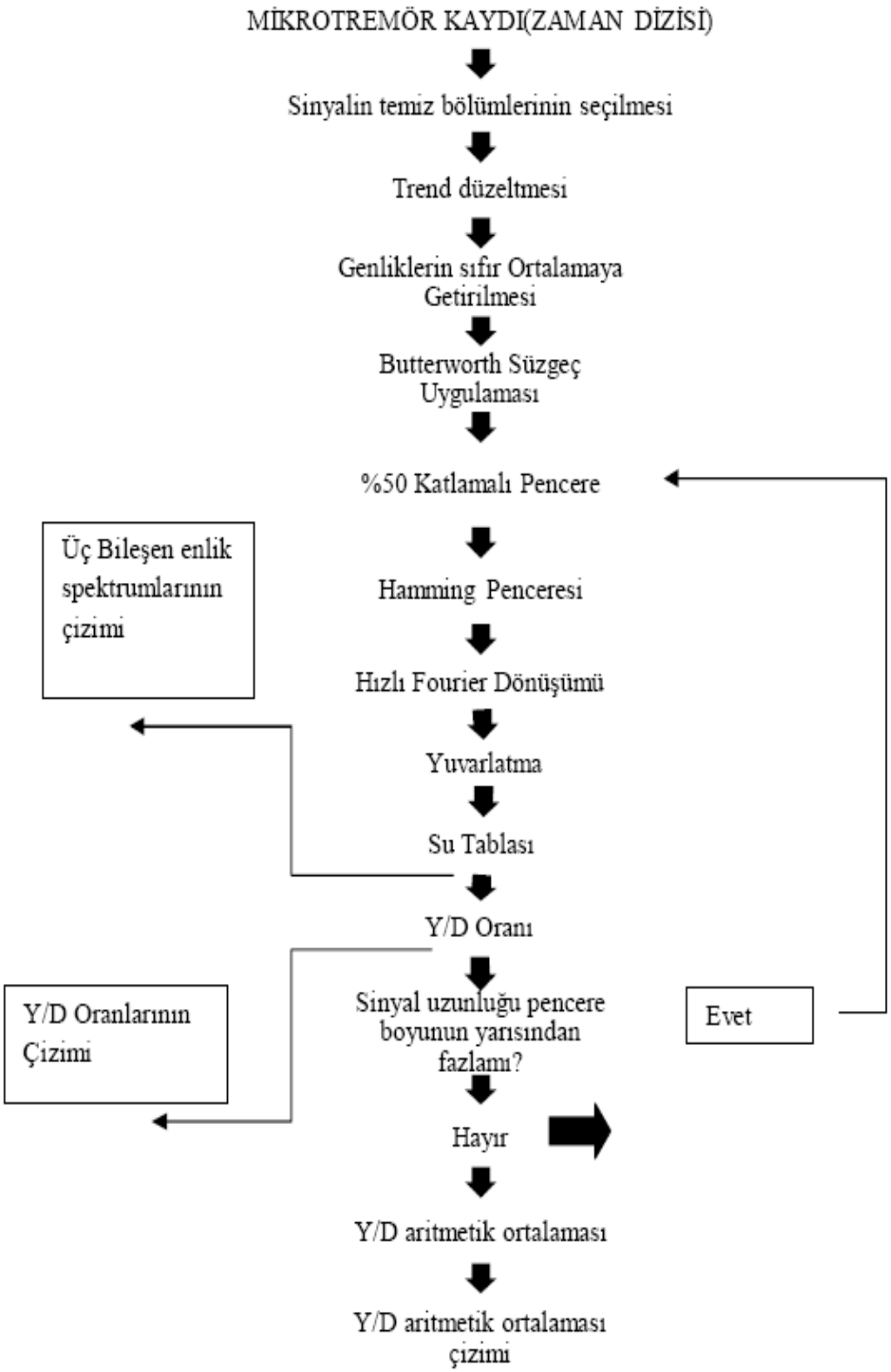
Bu yöntemde kullanılan metot yatay spektrumların düşey spektrumlara oranlanması ve böylelikle yer etkilerinin hesaplanabilmesi durumudur.

Nakamura 1989 yılında ortaya attığı bu yöntemde mikrotremörlerin yüzeydeki ve yüzeye yakın noktadaki titreşimlerden etkilendiğini, derinlerdeki titreşimlerden ve diğer zemin katkılarından etkilenmediğini varsaymıştır (Filazi 2008).

Nakamura yönteminde H/V spektrum çizimlerindeki yatay ve düşey bileşenlerin Fourier spektrumlarının oranı alınmaktadır Denklem (5.1).

$$\text{H/V Spektrum} = \frac{\text{Düşey Bileşenin Fourier Spektrumu (Hs)}}{\text{Yatay Bileşenin Fourier Spektrumu (Hv)}} \quad (5.1)$$

Elde edilen mikrotremör ölçümlerinin Nakamura Yöntemi ile değerlendirilmesi işlem adımları aşağıda gösterilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Nakamura yöntemi ile mikrotremör ölçümlerin değerlendirilmesi akış şeması (Hazer 2013)

Zemin Hâkim Titreşim Periyodunun Hesaplanması

1) Mikrotremör ölçümleri iki yatay bir düşey bileşenden yararlanarak ölçülür.
2) Zaman ortamında elde edilen her bir bileşen fourier dönüşümüyle frekans ortamına aktarılır.
3) Yataydaki bileşenlerin bileşkesi alınır.
4) Yatay bileşen ile düşey bileşen oranlanır ve bu sayede H/V grafiği elde edilir.
5) Grafiğin doruk noktasının düşey değeri büyütme oranı olarak, yatay değeri ise zemin hâkim titreşim periyodu olarak kullanılır (Hazer 2013)

Zemin Büyütmesinin Belirlenmesinde Mikrotremör Ölçümleri

Zemin özelliklerini belirlenmesi için yapılan geoteknik çalışmalarda genel olarak standart penetrasyon veya konik penetrasyon deneylerinden yararlanılır. Ancak zemin özellikleri sadece laboratuvar deneyleri ile değil, arazide yapılan sismik ölçümlerle de bulunabilmektedir. Bu sismik ölçümlerden birisi olan mikrotremör ölçümleri zeminin büyütme etkisini bulmakta son derece etkili bir yöntemdir. Aşağıdaki tablolarda (Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4) mikrotremör ölçümlerine göre tehlike düzeyi sınıflama işlemi görülmektedir.

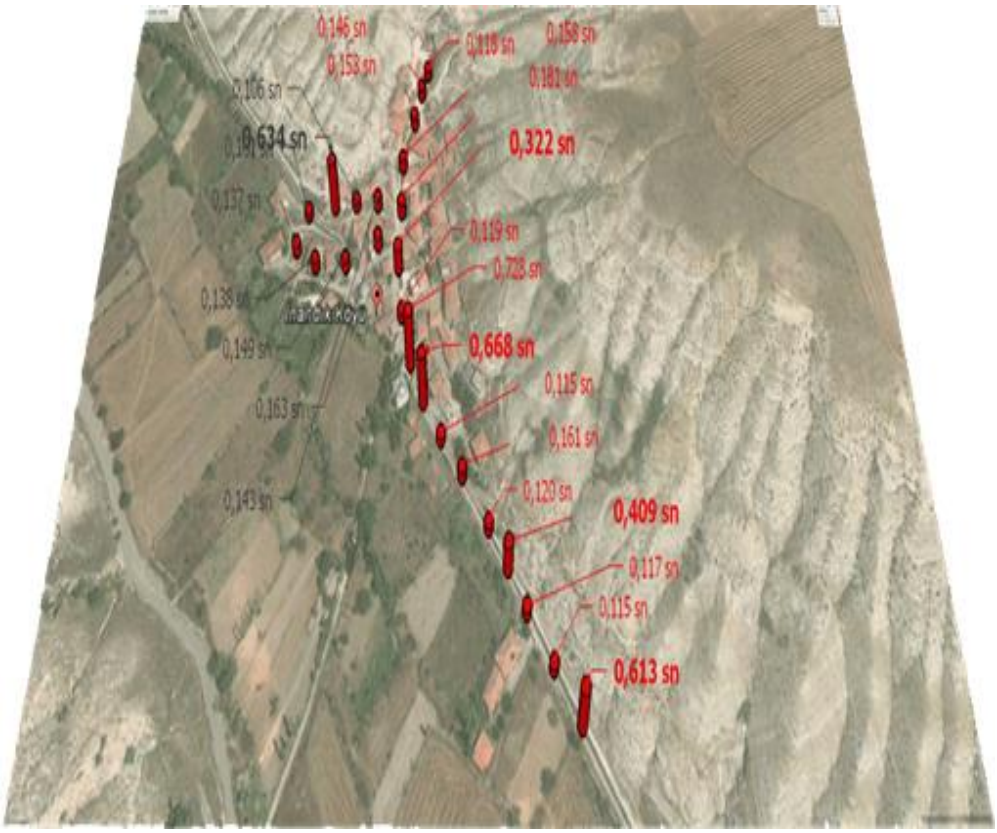
Çizelge 5.3 (a) Zemin hâkim titreşim periyoduna göre mikrobölgeleme ölçütleri. (b) Spektral büyütme oranlarına göre mikrobölgeleme ölçütleri (Ansal vd. 2004)

(a)		(b)	
Zemin Hâkim Titreşim Periyodu (sn)	**Ölçüt Tanımı**	**Spektral Büyütme**	**Tehlike Düzeyi**
0.10-0.30	A	0.00-2.50	A (Düşük)
0.30-0.50	B	2.50-4.00	B (Orta)
0.50-0.70	C	4.00-6.50	C (Yüksek)
0.70-1.00	D		

Çizelge 5.4 Mikrotremör ölçümlerinde elde edilen bulgular

Ölçüm İstasyonu	F0 (Frekans)	A0 (zemin Büyütmesi)	T0 (Hakim Titreşim Periyodu)	Tehlike Düzeyi
M1	1.63	1.75	0.61	YÜKSEK TEHLİKE(C)
M2	8.67	1.58	0.12	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M3	8.51	1.96	0.12	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M4	2.44	1.48	0.41	ORTA TEHLİKE(B)
M5	8.29	1.34	0.12	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M6	6.19	1.53	0.16	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M7	8.68	1.64	0.12	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M8	1.50	1.68	0.67	YÜKSEK TEHLİKE(C)
M9	1.37	1.57	0.73	ÇOK YÜKSEK TEHLİKE(D)
M10	8.35	2.34	0.12	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M11	3.01	1.81	0.32	ORTA TEHLİKE(B)
M12	5.51	1.67	0.18	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M13	6.30	2.55	0.16	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M14	6.50	2.67	0.15	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M15	6.81	1.47	0.15	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M16	8.43	1.71	0.12	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M17	6.13	2.16	0.16	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M18	6.96	3.29	0.14	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M19	9.35	2.29	0.11	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M20	1.58	1.66	0.63	YÜKSEK TEHLİKE(C)
M21	9.90	2.43	0.10	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M22	7.26	2.05	0.14	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M23	7.20	3.19	0.14	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M24	6.70	3.14	0.15	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M25	5.84	1.38	0.17	DÜŞÜK TEHLİKE(A)
M26	2.46	3.19	0.41	ORTA TEHLİKE(B)
M27	1.41	2.12	0.71	ÇOK YÜKSEK TEHLİKE(D)
M28	2.98	1.73	0.34	ORTA TEHLİKE(B)

Mikrotremör ölçümlerinden elde edilen zemin hâkim titreşim periyotlarının köy yerleşik alanı içerisindeki dağılımı ve tehlike arz eden kısımlara ait histogram (Şekil 5.6) aşağıdaki şekildedir.



Şekil 5.6 Mikrotremör ölçümlerinden elde edilen hakim titreşim periyotlarının konumları ile birlikte diyagram olarak gösterilmesi

5.2 Numune Alımı ve Deneylerden Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

Çalışma alanından numune alımı sondaj yoluyla değil iki adet araştırma çukuru aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi bölgedeki hâkim kayaç türü olan jipsin hem sudan etkilenerek bozunmalara uğraması hem de kristal bir yapıda bulunduğundan kırılmalara uğramasından dolayı sağlam ve örselenmemiş karot numune alımındaki zorluktur.

Bölgede yerleşim birimine çok yakın bir konumda açılan iki araştırma çukurundan elde edilen numuneler üzerinde nokta yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu deney için farklı derinliklerden numuneler alınarak deney sonucunun altere olmuş numunelerden etkilenmemesi amaçlanmıştır. 10 adet numunede gerçekleştirilen nokta yükleme deneyinde çıkan en yüksek ve en düşük ikişer dayanım değeri hesaplamaya dâhil edilmeksizin kalan değerlerin ortalaması alınarak kayanın mukavemeti hakkında

bilgi sahibi olunmuştur.

Nokta yükleme deneyinde ilk olarak numunenin yenildiği kuvvet (P) ile numunenin çapı (D) ve numunenin eksenel uzunluğu (W) değerleri kullanılarak, Denklem (5.2)'de düzeltilmemiş nokta yükleme dayanım değeri (Is) bulunur. Bu hesaplama için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$Is=P/De^2 \quad (5.2)$$

Burada (P) değeri numunenin yenildiği dolayısıyla da mukavemet gösterebildiği son kuvvet değeridir. Bununla beraber numune jips kayaç türünde olduğundan deney düzensiz boyutlu örnekler üzerinde gerçekleşmiştir. (De^2) değeri Denklem (5.3)'deki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$De^2=4A/p \quad (5.3)$$

Burada (4A) olarak ifade edilen değer numunenin çapı (D) ve eksenel uzunluğu (W) değerlerinin çarpımı ile bulunan alan (A) değerinin 4 katsayısı ile çarpılmasıdır. Ayrıca (p) ile ifade edilen değer de pi sayısı olup 3,14 olarak hesaplamaya dâhil edilmiştir. Deney eşdeğer çaptaki numuneler üzerinde yapılmadığından düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımı yani (Is) değeri bulunur. Ancak standart bir nokta yükleme dayanım değerini elde etmek için 50 mm olarak belirlenen eşdeğer karot çapına göre düzeltme yapılır. Düzeltilmiş nokta yükleme dayanım değeri (Is50) olarak ifade edilir. Denklem (5.4)'deki eşitlik yardımıyla bulunur.

$$Is50=F*Is \quad (5.4)$$

Bu eşitlikteki (F) değeri düzeltme faktörü olup aşağıdaki Denklem (5.5)'deki eşitlik yardımıyla hesaplanır

$$F=(De/50)^{0,45} \quad (5.5)$$

Yapılan nokta yükleme deneyinde kullanılan parametreler ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki tablolarda özetlenmiştir (Çizelge 5.5; Çizelge 5.6).

Çizelge 5.5 Nokta yükleme deney numuneleri ve parametreler

Numune Adı	**D (cm)**	**W (cm)**	**A= W*D (cm^2)**	**De^2= 4A/p (cm^2)**	**F= (De/50)^0,45**	**P (kgf)**
1	4.11	5.38	22.1	28.17	1.03	65
2	4.28	6.11	26.2	33.31	1.07	75
3	3.11	5.98	18.6	23.69	0.99	86
4	3.55	6.24	22.2	28.22	1.03	105
5	4.17	6.36	26.5	33.78	1.07	115.5
6	3.91	5.22	20.4	26.00	1.01	72.5
7	4.03	6.19	24.9	31.78	1.06	82.5
8	5.28	7.33	38.7	49.30	1.17	69.5
9	5.11	6.80	34.7	44.26	1.14	76.8
10	3.99	6.11	24.4	31.06	1.05	81.5

Çizelge 5.6 Nokta yükleme deney raporu

Kuyu Adı	**Numune Adı**	**Derinlik**	**Is**		**Is50 (kPa)**
			(Kgf/cm^2)	**(kPa)**	
A.Ç-1	1	0.50-1.00	2.31	226.30	232.45
A.Ç-1	2	0.50-1.00	2.25	220.78	235.51
A.Ç-1	3	1.50-2.00	3.63	355.98	351.70
A.Ç-1	4	1.50-2.00	3.72	364.89	374.97
A.Ç-2	5	0.50-1.00	3.42	335.26	358.76
A.Ç-2	6	0.50-1.00	2.79	273.45	275.87
A.Ç-2	7	0.50-1.00	2.60	254.59	268.71
A.Ç-2	8	1.00-1.50	1.41	138.24	161.06
A.Ç-2	9	1.00-1.50	1.74	170.15	193.48
A.Ç-2	10	1.50-2.00	2.62	257.35	270.23

Bulunan düzeltilmiş nokta yükleme dayanım değerlerinden (Is50) en yüksek (374.97-358.76) ve en düşük (161.06-193.48) değerleri göz ardı edilerek kalan değerlerin ortalaması alındığında aşağıdaki ortalama bulunur (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.7 Nokta yükleme deneyi sonuç ortalaması

Kuyu Adı	**Numune Adı**	**Is50 (kPa)**
A.Ç-1	1	232.45
A.Ç-1	2	235.51
A.Ç-1	3	351.70
~~A.Ç-1~~	~~4~~	~~374.97~~
~~A.Ç-2~~	~~5~~	~~358.76~~
A.Ç-2	6	275.87
A.Ç-2	7	268.71
~~A.Ç-2~~	~~8~~	~~161.06~~
~~A.Ç-2~~	~~9~~	~~193.48~~
A.Ç-2	10	270.23
Ortalama		272.41

Çizelge 5.8 Kayaçların nokta yükleme dayanımına göre sınıflandırılması (Bieniawski 1975)

Kayaç Sınıfı	**Nokta Yükleme Dayanımı (Is50)(MPa)**
Çok Düşük Dirençli	<1
Düşük Dirençli	1-2
Orta Dirençli	2-4
Yüksek Dirençli	4-8
Çok Yüksek Dirençli	>8

Bulunan ortalama Is50 değeri 1 MPa'dan küçük bir değer olduğundan Çizelge 5.8'e göre bir değerlendirme yapıldığında kayaç sınıfı ''çok düşük dirençli'' olarak bulunmuştur (Çizelge 5.9).

Çizelge 5.9 Numunelerin nokta yükleme dayanımına göre sınıflandırılmış hâli

Kuyu Adı	Numune Adı	Is50 (kPa)	Kayaç Sınıfı
A.Ç-1	1	232.45	Çok Düşük Dirençli
A.Ç-1	2	235.51	Çok Düşük Dirençli
A.Ç-1	3	351.70	Çok Düşük Dirençli
A.Ç-1	4	374.97	Çok Düşük Dirençli
A.Ç-2	5	358.76	Çok Düşük Dirençli
A.Ç-2	6	275.87	Çok Düşük Dirençli
A.Ç-2	7	268.71	Çok Düşük Dirençli
A.Ç-2	8	161.06	Çok Düşük Dirençli
A.Ç-2	9	193.48	Çok Düşük Dirençli
A.Ç-2	10	270.23	Çok Düşük Dirençli
Ortalama		**272.41**	**Çok Düşük Dirençli**

5.3 Jipsin Farklı Ortam Koşullarındaki Dayanımının Değerlendirilmesi

Jipsli alanlar mühendislik yapıları için daima tehdit oluşturmuş ve jipsli bir temel zeminine sahip arazi üzerinde yapı inşa etmek istenmeyen bir durum olarak karşımıza çıkmıştır. Bu konuda gerek ulusal gerek uluslararası literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Jipsin geoteknik özellikleri araştırılan ve üzerine deneyler yapılması gereken bir konu olarak güncelliği ile gündemde kalmaya devam etmiştir.

Jipsi problemli bir zemin haline getiren unsurlar temel betonuna yaptığı zararlı etkiler, çevresel koşullar olan basınç, su ve sıcaklık karşısındaki davranışı, bir de erimesidir (Ülker ve Gümüşoğlu 1982). Aşağıda jipsin çevresel koşullara bağlı olarak mukavemetinde meydana gelen değişimlere yer verilmiştir (Çizelge 5.10).

Çizelge 5.10 Değişik şartların etkisine bırakılmış numunelerin serbest basınç deneyi sonuçları (Ülker ve Gümüşoğlu 1982)

Numunelerin Maruz Bırakıldıkları Ortam Koşulları	Numuneler	Serbest Basınç Mukavemeti	
		σ max (kg/cm²)	σ ort (kg/cm²)
Doğal Halde	1	194	203.6
	1	242	
	2	175	
40 gün su içinde	3	67	81.3
	9	98	
	13	79	
15 gün su içinde 10 kg/cm² basınç altında	5	78	73.5
	6	69	
15 gün 105 °C sıcaklık altında	4	118	96.5
	7	75	
7 gün su içinde 10 kg/cm² basınç ve 7 günde 105 ºC sıcaklık altında	10	58	57.5
	14	57	

Çizelge 5.10'de farklı ortam koşulları veya çevresel faktörlere bağlı olarak jips numunelerinin mukavemetlerinde meydana gelen değişimler verilmiştir. Buna göre jipslerin doğal haldeki mukavemetlerinin ortalaması dahi ''çok düşük dayanımlı'' kayaç sınıflamasına girmektedir (Çizelge 5.11).

Çizelge 5.11 Tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflandırma (Deere ve Miller 1966)

Sınıfı	Niteliği	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (kg/cm²)
A	Çok yüksek dayanımlı	>2000
B	Yüksek Dayanımlı	1000-2000
C	Orta Dayanımlı	500-1000
D	Düşük Dayanımlı	250-500
E	Çok Düşük Dayanımlı	<250

Çizelge 5.10'a göre 40 gün su içerisinde bekletilen bir jips numunesinin serbest basınç mukavemeti değerinde ortalama % 60 oranında bir azalma gözlemlenmiştir.

Ayrıca, Çizelge 5.10'da gözlendiği gibi jipslerin yalnızca suya maruz kalma durumu hem su hem de basınca maruz kalma durumuna göre nispeten daha iyi sonuç vermiştir. Bu durumu şöyle açıklayabiliriz doğada serbest halde bulunan bir jips üzerinde yapı dolayısıyla da basınç bulunan bir jips numunesine göre daha dayanıklıdır.

Çizelge 5.10'a göre sıcaklıkta jipsin mukavemet değerlerine olumsuz olarak etkiyen bir diğer parametredir. 15 gün 105 °C sıcaklığa maruz kalan numunelerde doğal halde bekleyen numunelere oranla %52,6 oranında bir mukavemet kaybı gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.10'a göre 7 gün boyunca hem su hem basınca maruz bırakılan ardından 7 gün boyunca da sıcaklık etkisine maruz bırakılan bir numunede ortalama %71,8 oranında bir mukavemet kaybı gözlemlenmiştir.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmanın yapıldığı alan Bozkır Formasyonunun litolojik birimleri yayılım sunar. Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı Bozkır Formasyonu jips tabakaları ile çamurtaşı, kiltaşı ve kumtaşı ardalanmalarından meydana gelmektedir.

Çalışma alanında 3 adet sondaj kuyusu açılarak, bölgenin litolojik özellikleri hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Açılan sondaj kuyularının 2 tanesinde yer yer boşluklu jipsli tabakalara rastlanılmıştır. Yapılan diğer arazi çalışmalarında güvenli olduğu düşünülen 3.bölgede açılan sondaj kuyusunda jipsli birimlere erişilse de boşluk tespit edilmemiştir. Bölgede yeraltı suyu tespit edilmemiştir.

Çalışma alanındaki yapılarda obruk oluşumlarından ve yer yer zemin oturmalarından kaynaklanan büyük ölçekli hasarların bulunduğu tespit edilmiştir. Yapıların taşıyıcı elemanlarında gözlemlenen hasarların içindeki insanlar için büyük bir tehdit olduğu belirlenmiştir.

Yerleşim yerine çok yakın konumda bulunan jipsli birimlerde yatay ve düşey süreksizlikler bulunduğu ve yüzey sularının etkisi ile yer yer boşluklu tabakaların bulunduğu belirlenmiştir. Süreksizliklerin ölçüsü Uluslararası Kaya Mekaniği Topluluğunca kabul gören ölçütlere göre ‘’aşırı geniş’’ ve ‘’boşluklu’’ olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanında toplamda 8 adet obruk oluştuğu ve bunların en güncel olanının 2012 yılında meydana geldiği belirlenmiştir. Oluşan obrukların çaplarının 1 m ile 44 m arasında değiştiği, derinliklerinin ise örtülmüş obruklardaki belirsizle beraber 1 ila 22.5 m aralığında olduğu belirlenmiştir. Yapılan obruk sınıflamasında bölgede oluşan obrukların 3 farklı sınıflamada olduğu gözlemlenmiştir. Bunlar; Çökme Obruğu, Örtü Çökme Obruğu ve Örtülmüş Obruk’tur.

Çalışma alanında 28 farklı noktada mikrotremör ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler sonucunda ‘’Zemin Hâkim Tireşim Periyodu’’ ve ‘’Zemin Büyütmesi’’

değerlerine ulaşılmıştır. Ulaşılan değerlere göre 2 noktada çok yüksek tehlike, 3 noktada yüksek tehlike, 4 noktada orta tehlike ve 19 noktada düşük tehlike olduğu belirlenmiştir.

Çalışma alanında iki adet araştırma çukuru açılarak jips kayaç türündeki numuneler alınmıştır. Alınan numuneler üzerinde nokta yükleme deneyi gerçekleştirilmiş ve deney sonrası bulunan dayanım değerlerine göre sınıflamaya gidilerek kayaç sınıfının çok düşük dirençli olduğu belirlenmiştir.

Jips üzerinde yapılan serbest basınç deneyleri göstermiştir ki; jips, dayanımı son derece düşük olan bir kayaç türüdür. Ayrıca çevresel koşullar olan su, sıcaklık ve basınçtan oldukça fazla etkilenen jipsin dayanım değerlerinde önemli ölçüde düşüşler olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak jipsli birimlerde yapılacak olan mühendislik yapıları konusunda son derece dikkatli olunması gerektiği ve özellikle suyun iyi bir şekilde drene edilerek temel altındaki jipsli birimlere ulaşmasının engellenmesi gerektiği değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

AFAD. 2014. Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü. Web sitesi. https://www.afad.gov.tr. Erişim Tarihi: 16.10.2021.

AİGM, 2004. Ansal, A., Springman, S., Studer, J., Demirbaş, E., Önalp, A., Erdik, M., Giardini, D., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M., Akman, H., Fäh, D., Christen, A., Laue, J., Buchheister, J., Çetin, Ö., Siyahi, B., Fahjan, Y., Gülkan, P., Bakır, S., Lestuzzi, P., Elmas, M., Köksal, D. ve Gökçe, O. Belediyeler için sismik mikrobölgeleme örnek uygulamalar. 256 sayfa, Ankara.

Akyürek, B., Bilginer, E., Çatal, E., Dağer, Z., Soysal, Y. ve Sunu, O. 1980. Eldivan-Şabanözü (Çankırı), Hasayaz-Çandır (Kalecik-Ankara) dolayının jeolojisi. MTA Rapor No: 6741 (yayınlanmamış).

Alagöz, C. A. 1944. Türkiye karst olayları hakkında bir araştırma. (Une etüde surles phenomes karstiquesen Turquie). Turk.Coğr. Kurum. Yay, 1: 87-92.

Ateş, Ş., Özata, A., Gülmez, F. K., Osmançelebioğlu, R., Mutlu, G., Özerk, O. C., Yeleser, L. ve Üstün, A. B. 2008. Çankırı İli ve kentsel alanların (il-ilçe merkezleri) yerbilim verileri. 220 sayfa, Ankara.

Bieniawski, Z. T. 1975. The point load test in geotechnical practice. Engineering Geology, 9: 1-11.

Biricik, A. S. 1992. Obruk platosu ve çevresinin jeomorfolojisi. Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Yayınları, 187 sayfa, İstanbul.

Canik, B. and Çörekçioğlu, I. 1985. The formation of sinkholes (obruk) between Karapınar and Kızören Konya. In: Proceedings of int symp of Karst water res, 1: 193-205.

Deere, D. U. and Miller, R.P. 1966. Classification and index properties of intact rock. Technical Report Air Force Weapons Laboratory, 1: 65-116.

Doğan, U. 2002. Çankırı doğusunda jips karstlaşmasıyla oluşan sübsidans dolinleri. G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22(1): 67-82.

Doğan, U. 2004. Dolin sınıflamasında yeni yaklaşımlar. G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 24(1): 249-269.

Erinç, S. 1960. Konya bölümünde ve iç toros sıralarında karst şekilleri üzerinde müşahedeler. Türk Coğrafya Dergisi, 20: 83-106.

Erol, O. 1985. The relationship between the phases of the development of the Konya-Karapınar obruks and the Pleistocene Tuzgölü and Konya pluvial lakes. In: Proceedings of the int symp of karst water res, IAHS Publ No 161, 207-2013.

Eroskay, S. O. 1982. Engineerıng Properties Of Carbonate Rocks And Karst Regions In Turkey, Symposium On Engineering Geological Problems Of Construction On Soluble Rocks. No:25, 61-65.

Filazi, A. 2008. Antakya kent merkezi'nin mikrotremör yöntemi ile yer etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, 61 sayfa, Hatay.

Günay, G., Çörekçioğlu, I. and Övül, G. 2011. Geologic and hydrogeologic factors affecting sinkhole (obruk) development in Central Turkey. Carbonates Evaporites, 26: 3-9.

Gökkaya, E. and Tunçel, E. 2019. Natural and human-induced subsidence due to gypsum dissolution: a case study from Inandik, Central Anatolia, Turkey. Journal of Cave and Karst Studies, 81(4): 221-232.

Hack, J. T. 1965. Geomorphology of the Shenandoah Valley, Virginia and West Virginia, and origin of the residual ore deposits. U.S. Geology Survey Professional Paper 484, 81 p., Washington.

Hakyemez, Y., Barkurt, M.Y., Bilginer, E., Pehlivan, Ş., Can, B., Dağer, Z. ve Sözeri, B. 1986. Yapraklı-Ilgaz-Çankırı-Çandır Dolayının Jeolojisi. MTA Rapor No. 7966 (yayınlanmamış).

Hazer, G. 2013. Jeoteknik parametrelerin hâkim titreşim periyodu ve zemin büyütme katsayısına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, 74 sayfa, Denizli.

ISRM, 2007. The complete ISRM Suggested Metodts for Rock Characterization, Testting and Monitoring: 1974-2006. Suggested Methots Prepared by the Commission on Testing Metohods, ISRM, R. Ulusay and J.A. Hudson (eds.), CompilationsArranged by the ISRM Turkısh National Group Ankara, Kozan ofset; 628 p., Turkey.

Karabulut, S., Özel, O. ve Özçep, F. 2009. Deprem Tehdidi altındaki mühendislik yapılarının hâkim titreşim periyotlarının belirlenmesinde yeni bir seçenek: Mikrotremor yöntemi ve örnek uygulaması. E-Journal of New World Sciences Academy, 4(3): 428-441.

Karacan, E. and Yılmaz, I. 1997. Collapse dolines in Miocene gypsum: an example

from SW Sivas (Turkey): Environmental Geology, 29(1): 263−266.

Lahn. E. 1940. Konya mıntıkasının karst hadiseleri ve bunların ziraat bakımından ehemmiyeti. MTA Enstitü Mecmua Sayısı, 4(21): 620-626.

Lermo, J. and Chavez-Garcia, F. J. 1994. Are microtremors useful in site response evaluation. Bulletin of the Seismological Society of America, 84(5): 1350-1364.

MTA. 2018. Obruk araştırmaları. Web sitesi. https://www.mta.gov.tr. Erişim Tarihi: 20.09.2021.

Nakamura, Y. 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR of RTRI, 30: 25-33.

Özçelik, A., Yiğit, A. E., Işık, B., Arıtürk, M. A., Özen, Ö. and Büyükurvayli, B. 2016. Determination of karstic cavities and sinkholes by geophysical methods: Inandık Village Application, in Keskin, İ., and Göloğlu, C., eds., Proceedings of International Symposium on Natural Hazards and Hazard Management, 543−549.

Sarıfakıoğlu, E., Sevin, M., Esirtgen, E., Bilgiç, T.,Duran, S.,Parlak, O., Karabalık, N.N., Alemdar, S., Dilek, Y. ve Uysal, İ. 2011. Çankırı–Çorum Havzasını Çevreleyen Ofiyolitik Kayaçların Jeolojisi: Petrojenezi, Tektoniği ve Cevher İçerikleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor no. 11449, Ankara (yayımlanmamış).

Sarıfakıoğlu, E., Erin, B., Tırın, M. ve Sezgin, İ.İ. 2021. Çankırı'da jips seviyelerinin sebep olduğu heyelanlar. 4. Uluslararası Uni-DOKAP Sempozyumu. Bildiriler Kitabı, 98-113.

Sür, A. 1994. Karstik yerşekilleri ve Türkiye'den örnekler. Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi, 3: 1-28.

Sür, Ö. 1972. Türkiye'nin özellikle İç Anadolu'nun genç volkanik alanlarının jeomorfolojisi. Ankara Üniversitesi Dil, Tarih-Coğrafya Fakültesi Yayınları, 223 sayfa, Ankara.

Şen, M. 2018. Afet yönetimi için İHA görüntülerinin kullanımı ve Karapınar obrukları örneği. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, 56 sayfa, Konya.

Topal, T. 2000. Nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamada karşılaşılan problemler. Geological Engineering Journal, 24: 73-86.

Törk, K. ve Güner, İ. N. 2019. Obruk. Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 27: 45-52.

Ülker, R. ve Gümüşoğlu, Ç. 1982. Jipsin mukavemet özelliklerine ortam koşullarının etkisi. Türkiye Mühendislik Haberleri, 301: 14-18.

Waltham A. C. and Fookes P. G. 2005. Engineering classification of karst ground conditions, Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, 3: 1-20.

Yılmaz, I. 2001. Gypsum/anhydrite: some engineering problems. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 59: 227–230.

Zanbak, C. and Arthur, R. C. 1986. Geochemical and engineering aspect of anhydrite/gysum phase transions. Environmental and Engineering Geoscience, 23(4): 419-433.

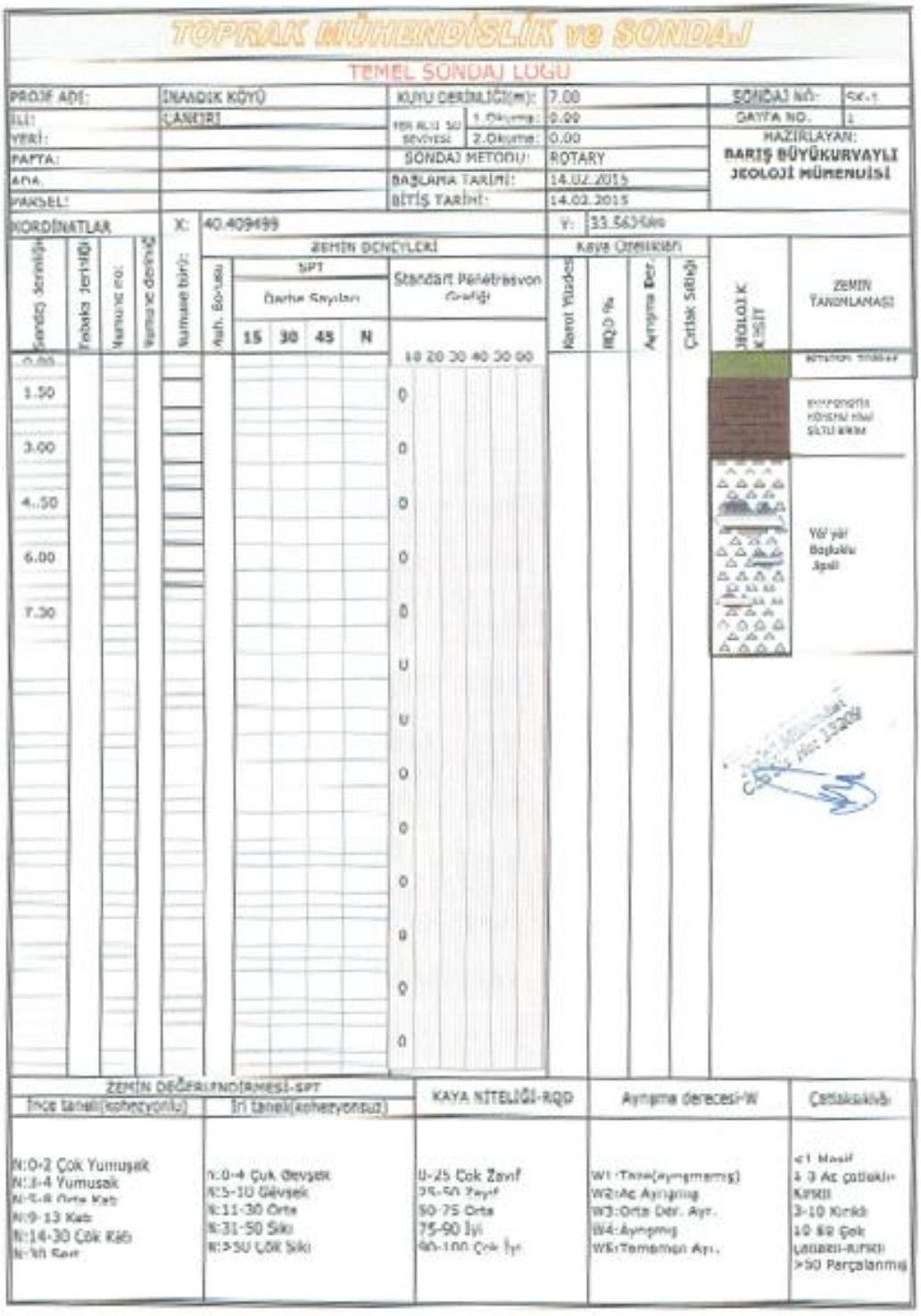
EKLER

EK 1. Sondaj Logları

EK 2. Mikrotremör Ölçümleri

EK 3. Nokta Yükleme Deney Raporu

EK 1. Sondaj Logları



TOPRAK MÜHENDİSLİK ve SONDAJ

TEMEL SONDAJ LOGU

PROJE ADI:	İNANDIK KÖYÜ	KUYU DERİNLİĞİ(m):	7.00	SONDAJ NO:	SK-1
İLİ:	ÇANKIRI	YER ALTI SU SEVİYESİ 1.Okuma:	0.00	SAYFA NO.	1
YERİ:		2.Okuma:	0.00	HAZIRLAYAN:	BARIŞ BÜYÜKURVAYLI JEOLOJİ MÜHENDİSİ
PAFTA:		SONDAJ METODU:	ROTARY		
ADA:		BAŞLAMA TARİHİ:	14.02.2015		
PARSEL:		BİTİŞ TARİHİ:	14.02.2015		
KORDİNATLAR	X: 40.409499		Y: 33.563Gkn		

Sondaj derinliği	Tebeşir derinliği	Numune no:	Numune derinliği	Numune türü:	Kuh. Bo-luşu	SPT Darbe Sayıları 15	30	45	N	Standart Penetrasyon Grafiği 10 20 30 40 50 60	Karot Yüzdesi	RQD %	Ayrışma Der.	Çatlak Sıklığı	JEOLOJİK KESİT	ZEMİN TANIMLAMASI
0.00																BİTKİSEL TOPRAK
1.50																KİREÇTAŞI KÖKSÜ KİREÇ SÜLTÜ KİRİM
3.00																
4..50																
6.00																Yol yar Başkalu Şişli
7.30																

ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ-SPT		KAYA NİTELİĞİ-RQD	Ayrışma derecesi-W	Çatlaklılık
İnce taneli(kohezyonlu)	İri taneli(kohezyonsuz)			
N:0-2 Çok Yumuşak N:3-4 Yumuşak N:5-8 Orta Kat N:9-13 Kati N:14-30 Çok Kati N>30 Sert	N:0-4 Çok Gevşek N:5-10 Gevşek N:11-30 Orta N:31-50 Sıkı N>50 Çok Sıkı	0-25 Çok Zayıf 25-50 Zayıf 50-75 Orta 75-90 İyi 90-100 Çok İyi	W1 :Taze(ayrışmamış) W2:Az Ayrışmış W3:Orta Der. Ayr. W4:Ayrışmış W5:Tamamen Ayr.	<1 Masif 1-3 Az çatlaklı 3-10 Kırıklı 10-50 Çok çatlaklı-Kırıklı >50 Parçalanmış

TOPRAK MÜHENDİSLİK ve SONDAJ

TEMEL SONDAJ LOGU

PROJE ADI:	İNANDIK KÖYÜ	KUYU DERİNLİĞİ(m):	7.00	SONDAJ NO:	SK-2
İLİ:	ÇANKIRI	YAK ALTI SU seviyesi 1.Okuma:	0.00	SAYFA NO:	1
YERİ:		2.Okuma:	0.00	HAZIRLAYAN:	BARIŞ BÜYÜKURVAYLI
PAFTA:		SONDAJ METODU:	ROTARY		JEOLOJİ MÜHENDİSİ
ADA:		BAŞLAMA TARİHİ:	14.02.2015		
PARSEL:		BİTİŞ TARİHİ:	14.02.2015		
KORDİNATLAR	X: 40.408619		Y: 33.562683		

Sondaj derinliği	Tabaka derinliği	Numune no:	Numune derinliği	Numune türü:	ZEMİN DENEYLERİ Muh. Borusu	SPT Darbe Sayıları 15	30	45	N	Standart Penetrasyon Grafiği 10 20 30 40 50 60	Karot Yüzdesi	RQD %	Ayrışma Der.	Çatlak Sıklığı	JEOLOJİK KESİT	ZEMİN TANIMLAMASI
0.00										0						BİTKİSEL TOPRAK
1.50										0						DOLGU
3.00										0						Yer yer Bloklu Şişli
4..50										0						
6.00										0						
7.00										0						
										0						
										0						
										0						
										0						
										0						
										0						
										0						
										0						
										0						



ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ-SPT		KAYA NİTELİĞİ RQD	Ayrışma derecesi-W	Çatlaklıklığı
İnce taneli(kohezyonlu)	İri taneli(kohezyonsuz)			
N:0-2 Çok Yumuşak N:3-4 Yumuşak N:5-8 Orta Katı N:9-13 Katı N:14-30 Çok Katı N:30 Sert	N:0-4 Çok Gevşek N:5-10 Gevşek N:11-30 Orta N:31-50 Sıkı N:>50 Çok Sıkı	0-25 Çok Zayıf 25-50 Zayıf 50-75 Orta 75-90 İyi 90-100 Çok İyi	W1:Taze(ayrışmamış) W2:Az Ayrışmış W3:Orta Der. Ayr. W4:Ayrışmış W5:Tamamen Ayr.	<1 Mesif 1-3 Az çatlaklı-Kırıklı 3-10 Kırıklı 10-50 Çok çatlaklı-Kırıklı >50 Parçalanmış

TOPRAK MÜHENDİSLİK ve SONDAJ

TEMEL SONDAJ LOGU

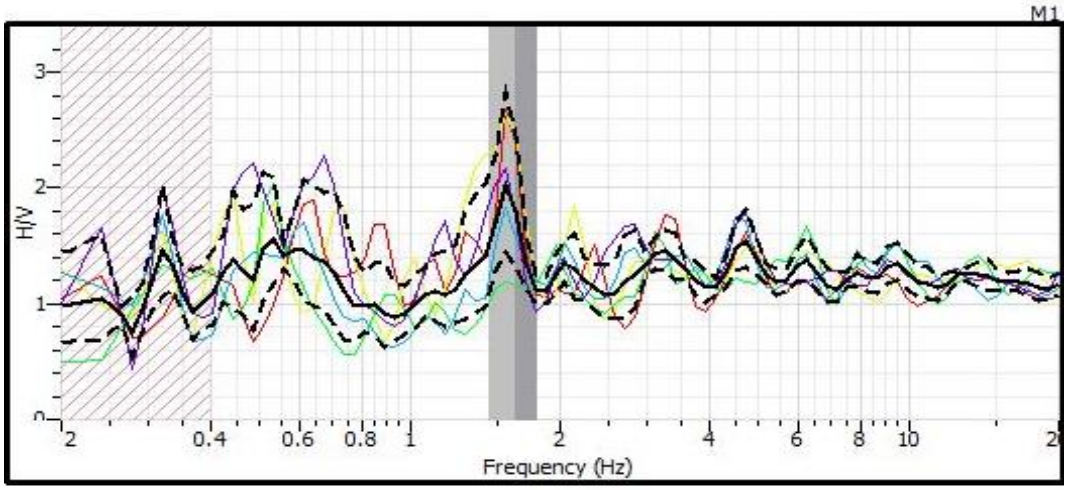
PROJE ADI:	İNANDIK KÖYÜ	KUYU DERİNLİĞİ(m):	5.00	SONDAJ NO:	SK-3
İLİ:	ÇANKIRI	YER ALTI SU SEVİYESİ: 1.Okuma:	0.00	SAYFA NO:	1
YERİ:		2.Okuma:	0.00	HAZIRLAYAN:	
PAFTA:		SONDAJ METODU:	ROTARY	BARIŞ BÜYÜKURVAYLI JEOLOJİ MÜHENDİSİ	
ADA:		BAŞLAMA TARİHİ:	14.02.2015		
PARSEL:		BİTİŞ TARİHİ:	14.02.2015		
KOORDİNATLAR	X: 40.409879		Y: 33.561469		

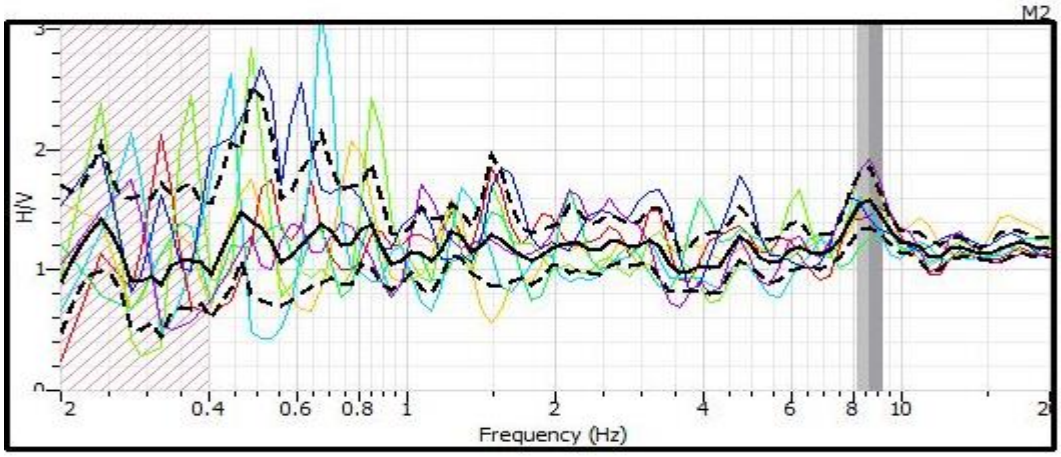
Sondaj derinliği	Tabaka derinliği	Numune no:	Numune derinliği	Numune türü:	Nuh. Bonusu	SPT Darbe Sayıları 15	30	45	N	Standart Penetrasyon Grafiği 10 20 30 40 50 60	Kırık Yüzdesi	RQD %	Ayrışma Der.	Çatlak Sıklığı	JEOLOJİK KESİT	ZEMİN TANIMLAMASI
0.00																
1.50										0						
3.00										0						Jipli Kiltaşı, Çamurtaşı
4.50										0						
6.00										0						
7.50										0						
										0						
										0						
										0						
										0						
										0						
										0						
										0						
										0						

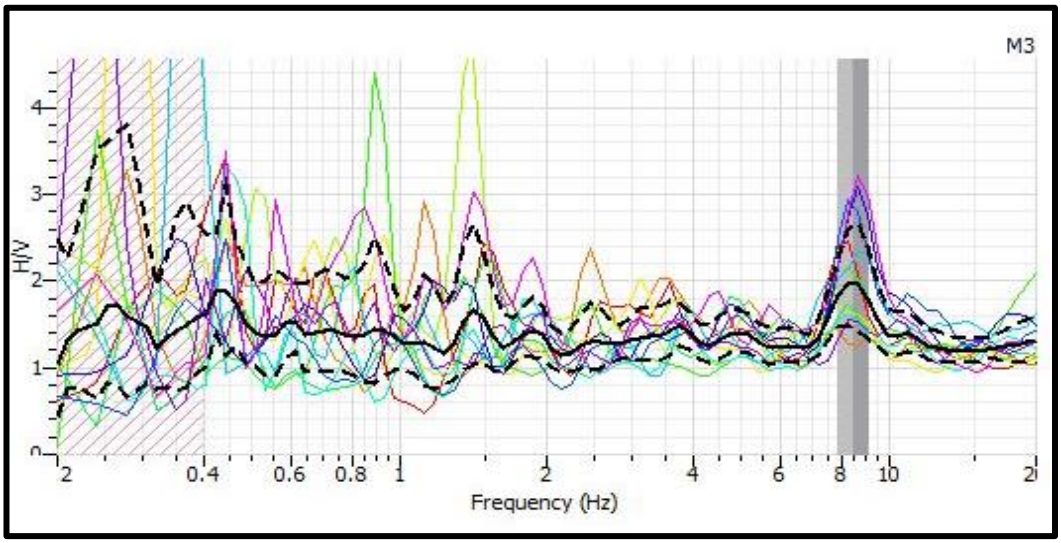
BARIŞ BÜYÜKURVAYLI Jeoloji Mühendisi Oda Sic. No:13209

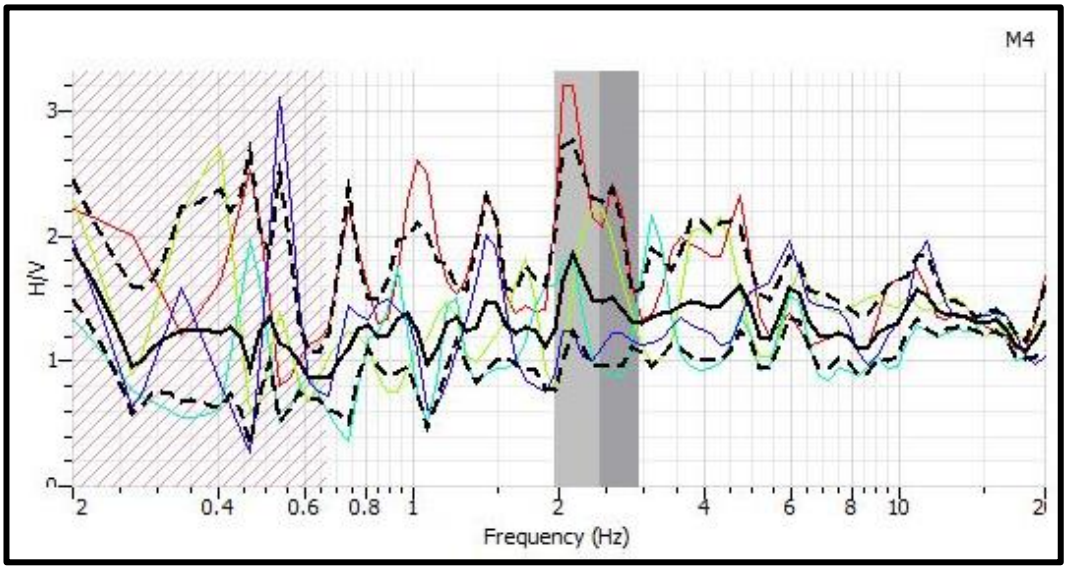
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ-SPT		KAYA NİTELİĞİ-RQD	Ayrışma derecesi-W	Çatlaksıklığı
İnce taneli(kohezyonlu)	İri taneli(kohezyonsuz)			
N:0-2 Çok Yumuşak N:3-4 Yumuşak N:5-8 Orta Kıvr. N:9-13 Kob N:14-30 Çok Kati N:30 Sert	N:0-4 Çok Gevşek N:5-10 Gevşek N:11-30 Orta N:31-50 Sıkı N:>50 Çok Sıkı	0-25 Çok Zayıf 25-50 Zayıf 50-75 Orta 75-90 İyi 90-100 Çok İyi	W1:Taze(ayrışmamış) W2:Az Ayrışmış W3:Orta Der. Ayr. W4:Ayrışmış W5:Tamamen Ayr.	<1 Masif 1-3 Az çatlaklı-Kırıklı 3-10 Kırıklı 10-50 Çok çatlaklı-Kırıklı >50 Parçalanmış

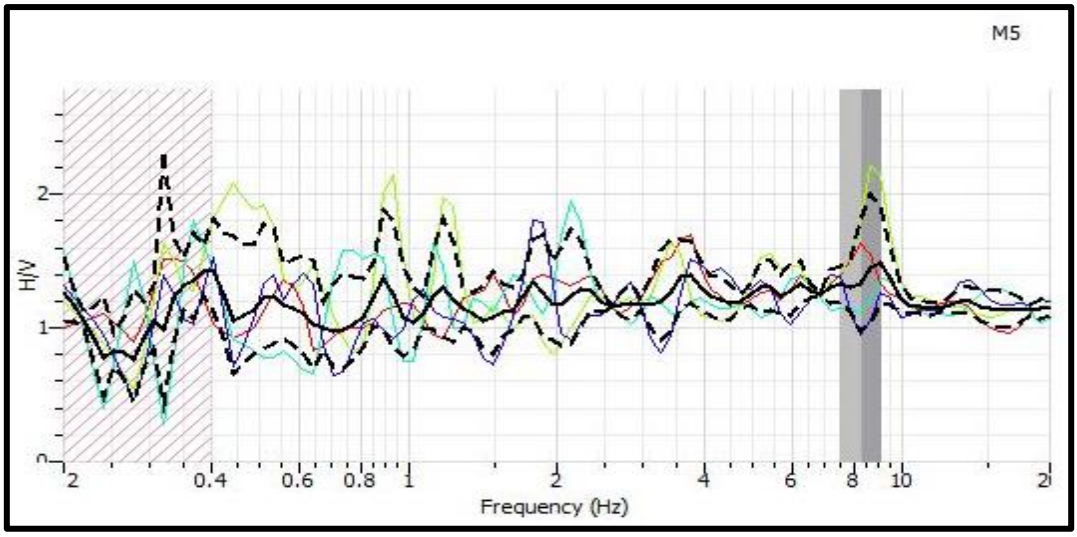
EK 2. Mikrotremör Ölçümleri

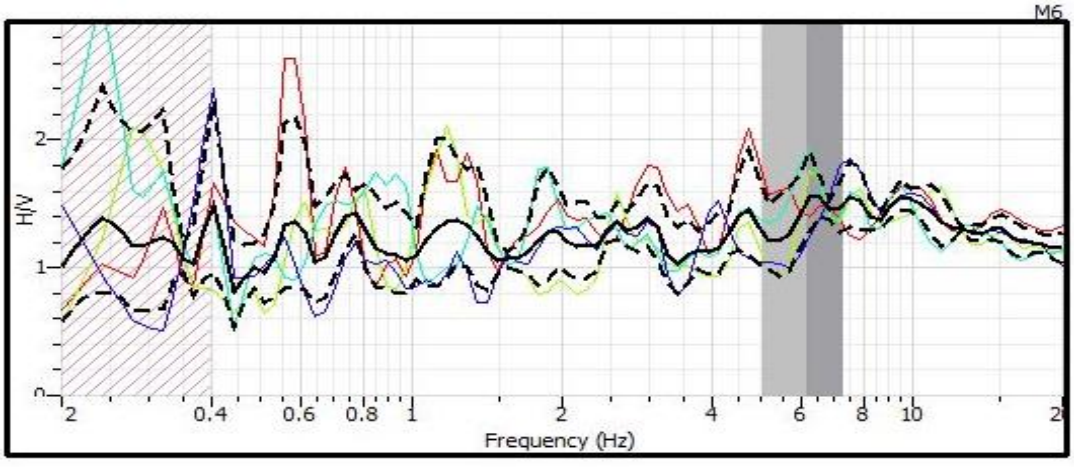


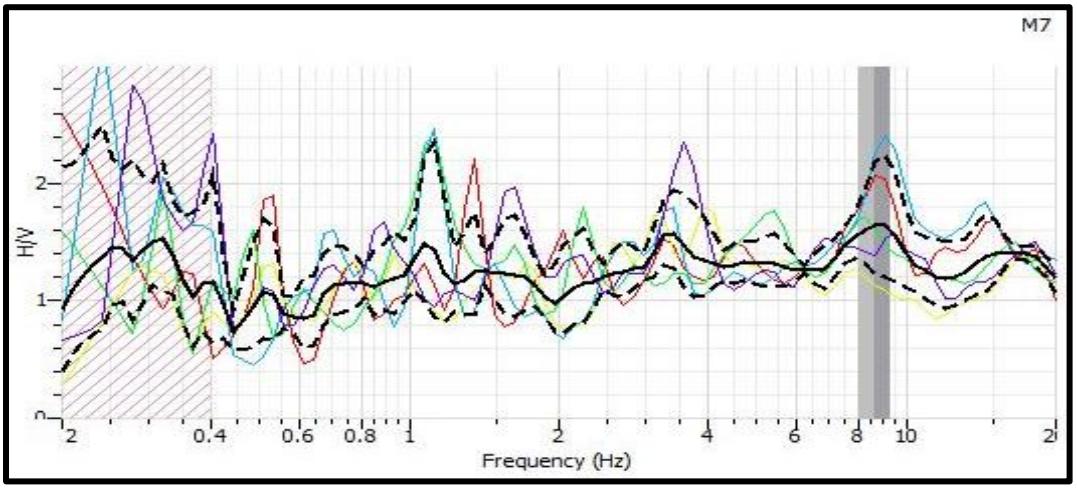


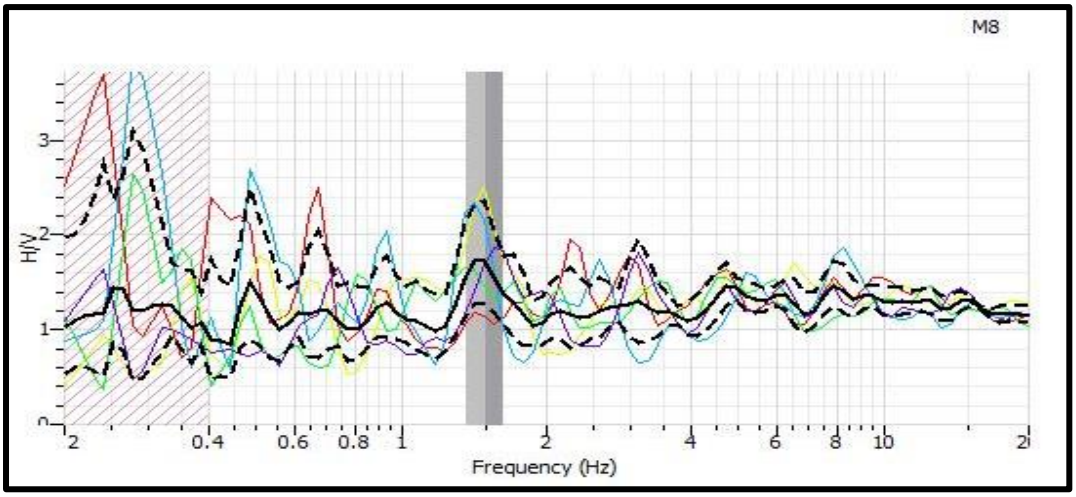


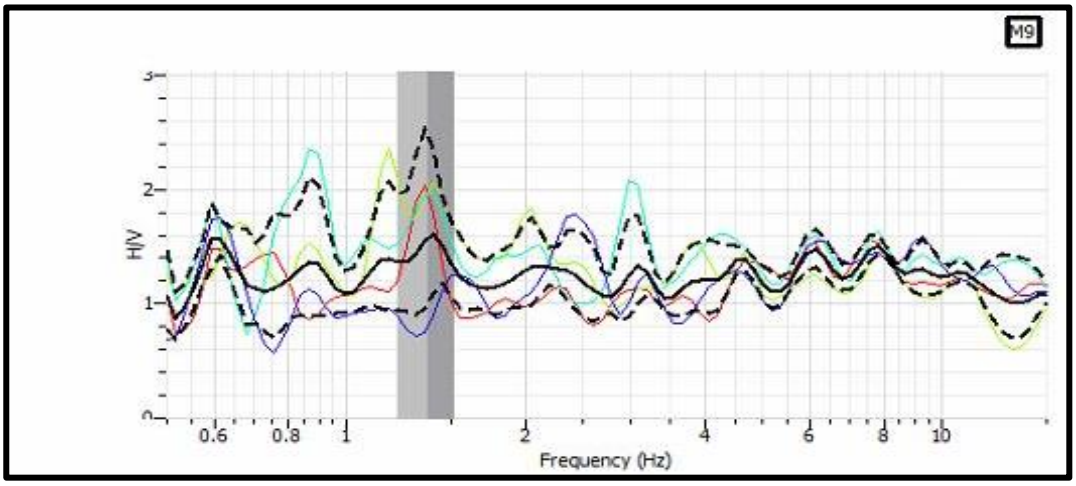

M4
H/V
Frequency (Hz)

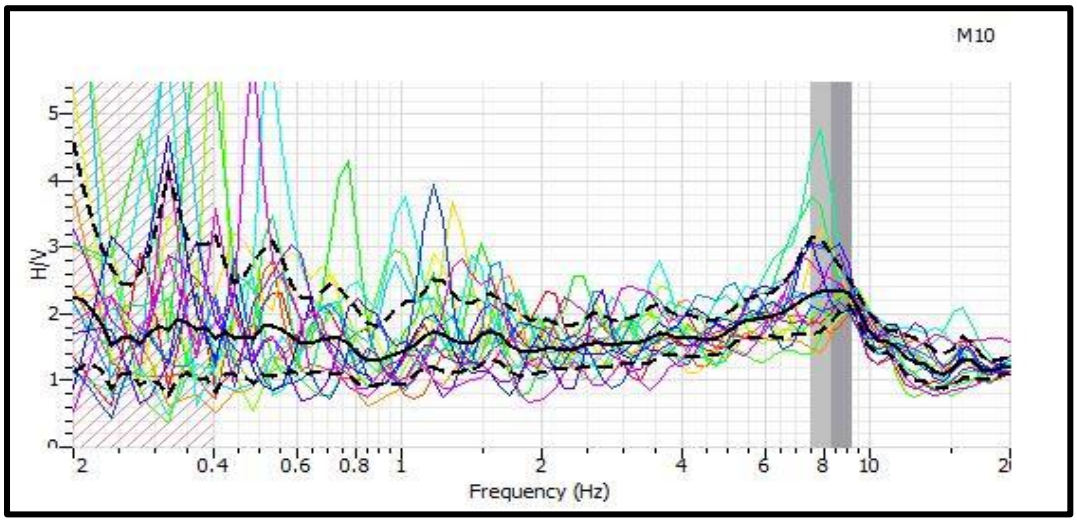

M5
H/V
Frequency (Hz)

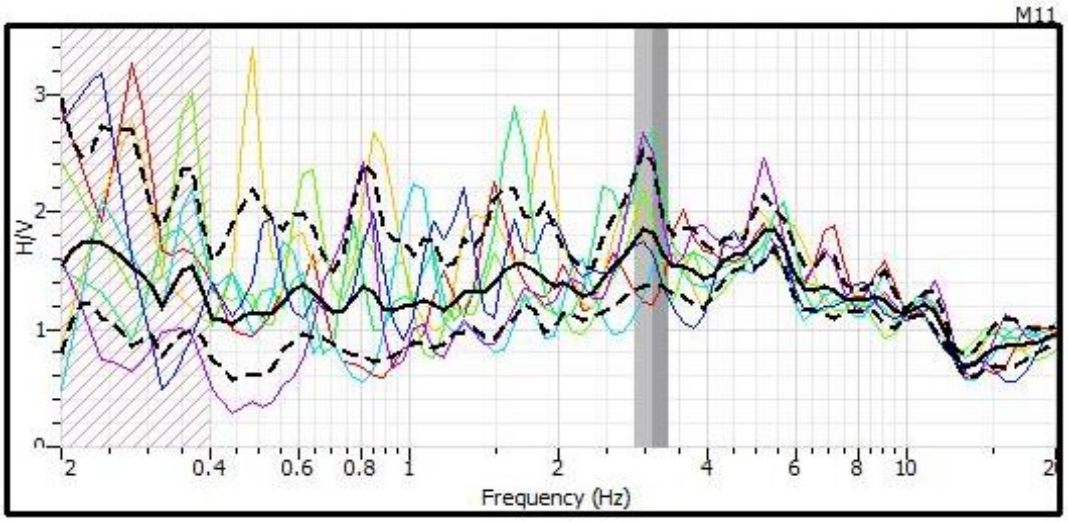

M6
H/V
Frequency (Hz)

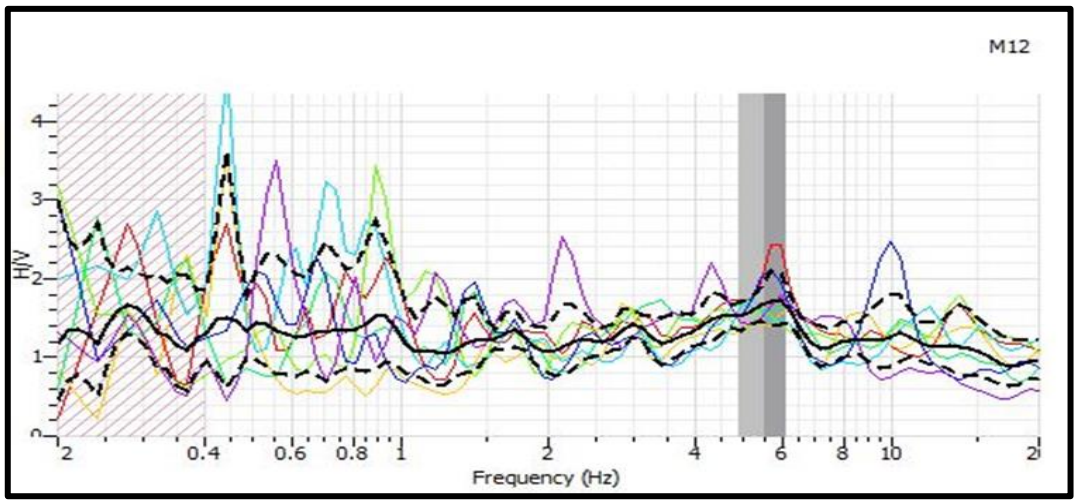

M7
H/V
Frequency (Hz)

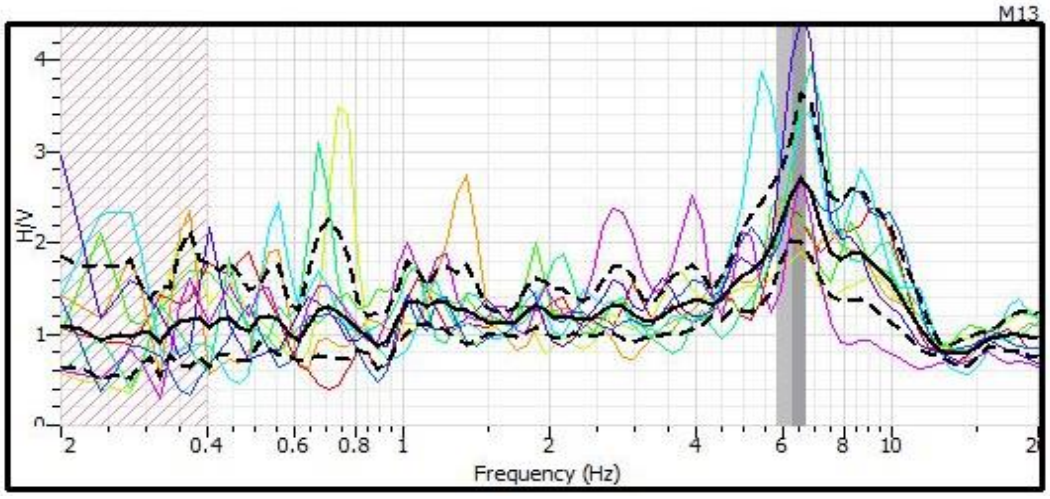

M8
H/V
Frequency (Hz)

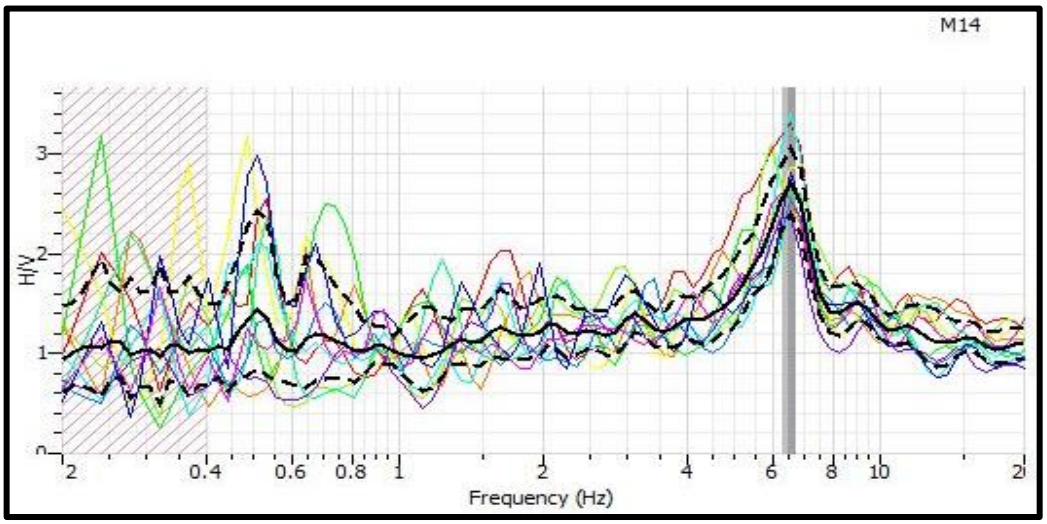

M9
H/V
Frequency (Hz)

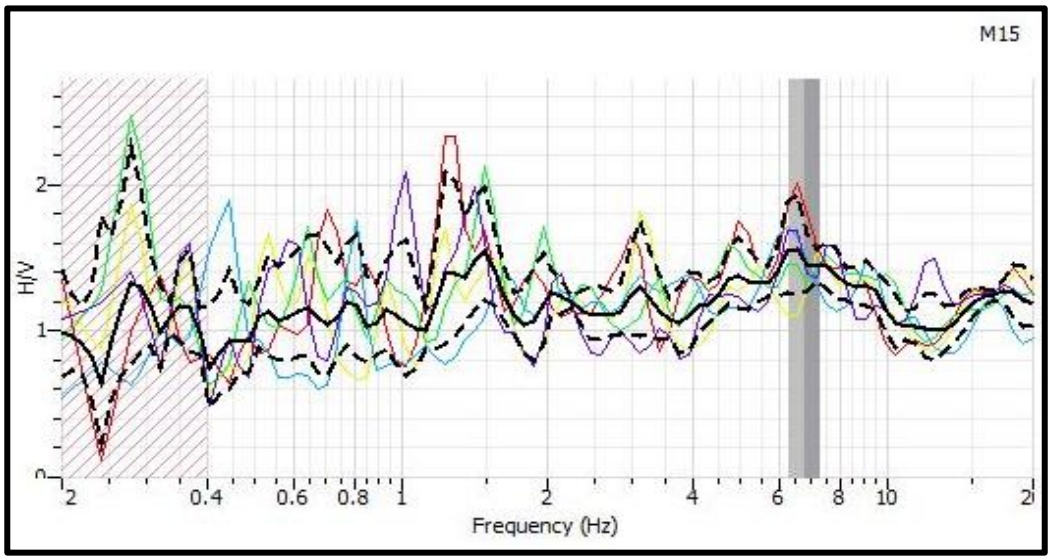

M10
H/V
Frequency (Hz)

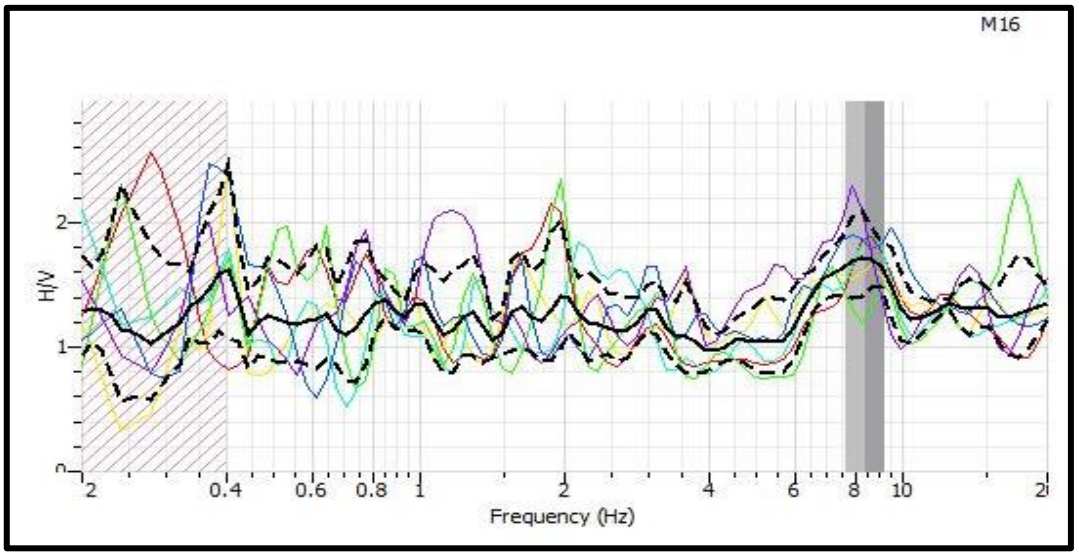

M11
H/V
Frequency (Hz)

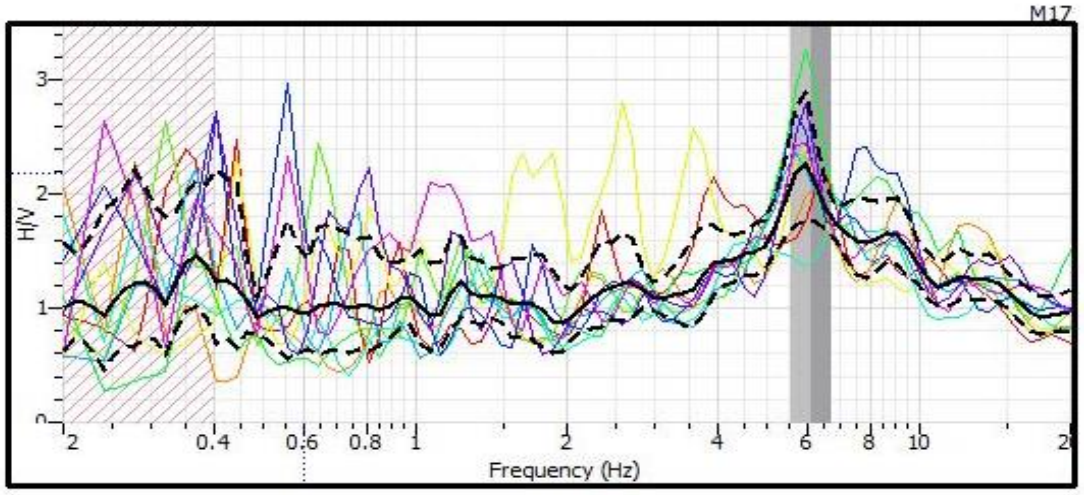

M12
H/V
Frequency (Hz)

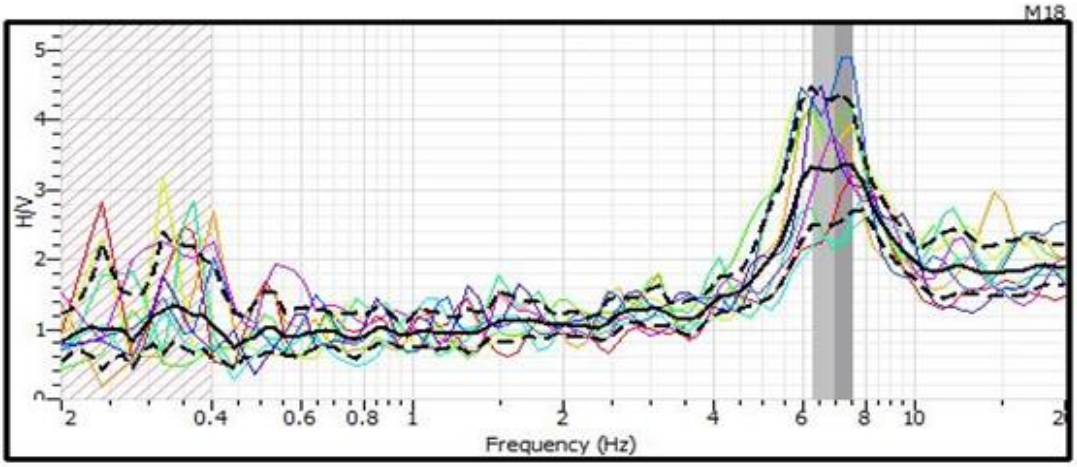

M13
H/V
Frequency (Hz)

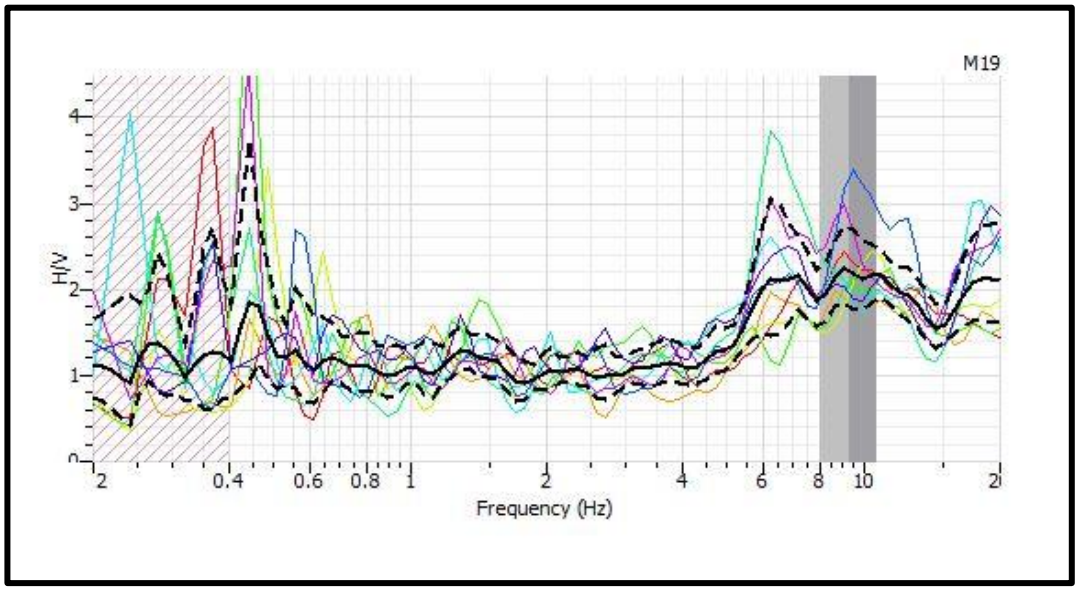

M14
H/V
Frequency (Hz)

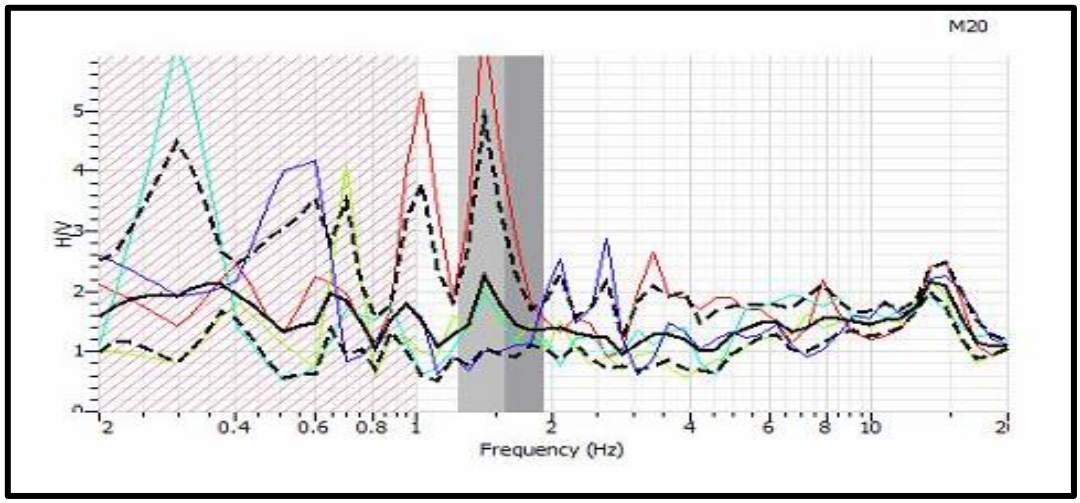

M15
H/V
Frequency (Hz)

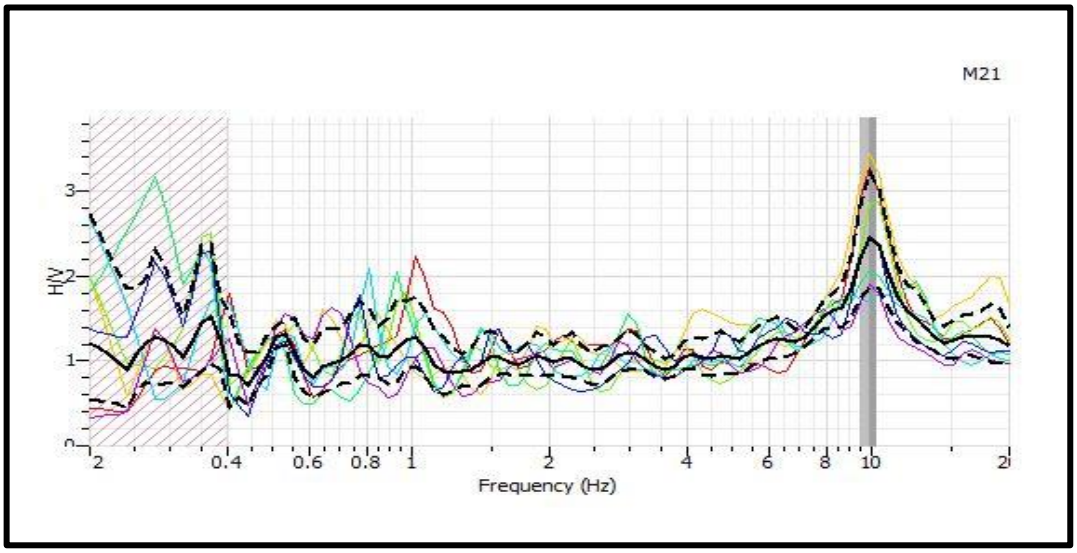

M16
H/V
Frequency (Hz)

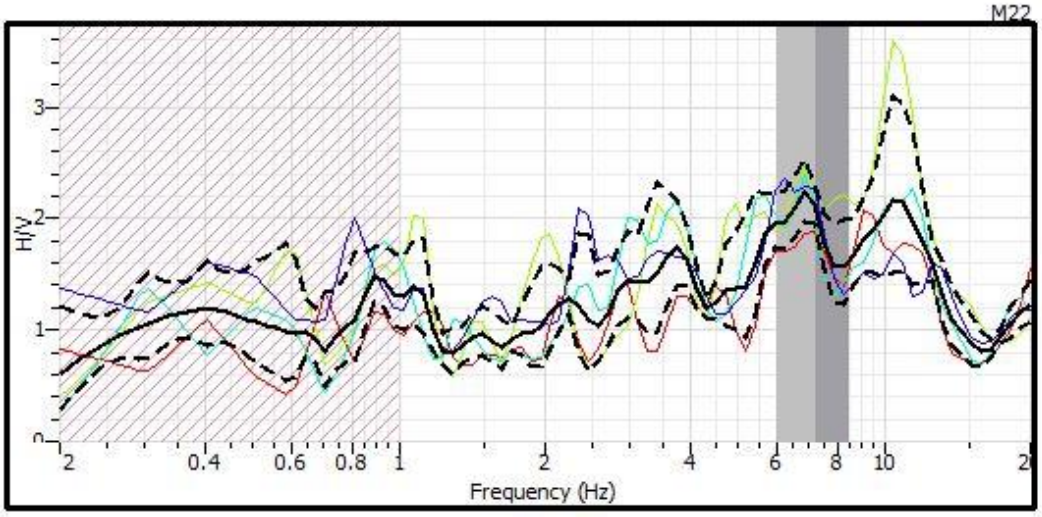

M17
H/V
Frequency (Hz)

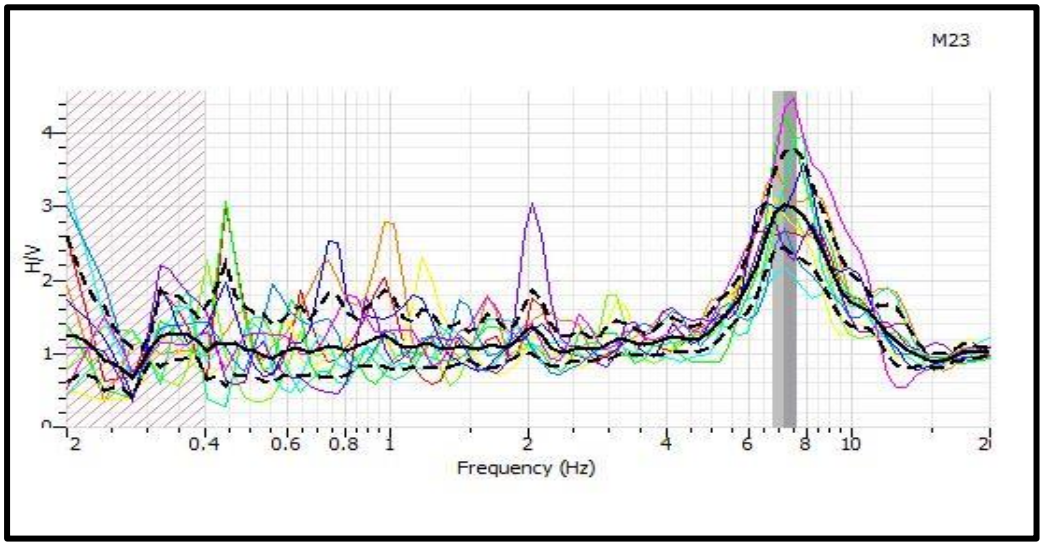

M18
H/V
Frequency (Hz)

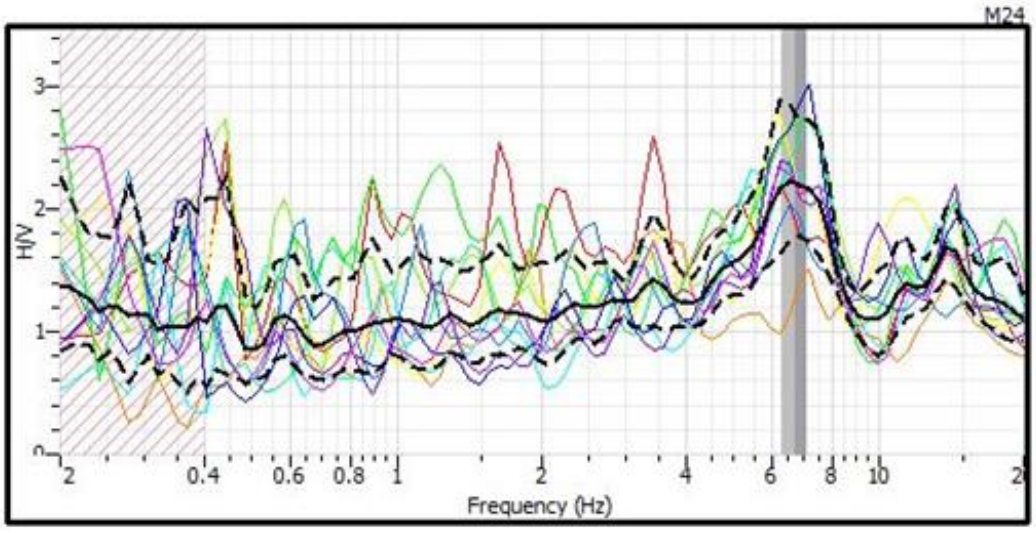

M19
H/V
Frequency (Hz)

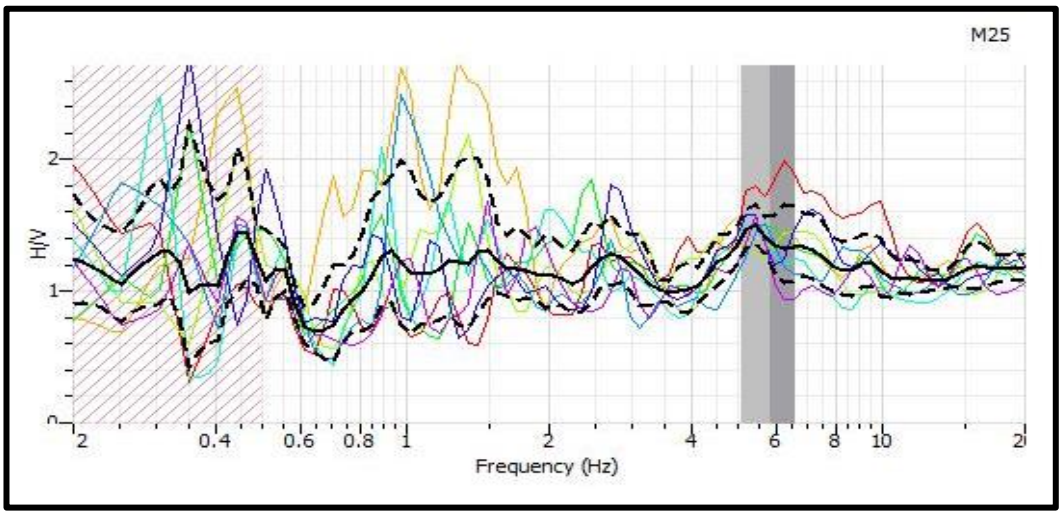

M20
H/V
Frequency (Hz)

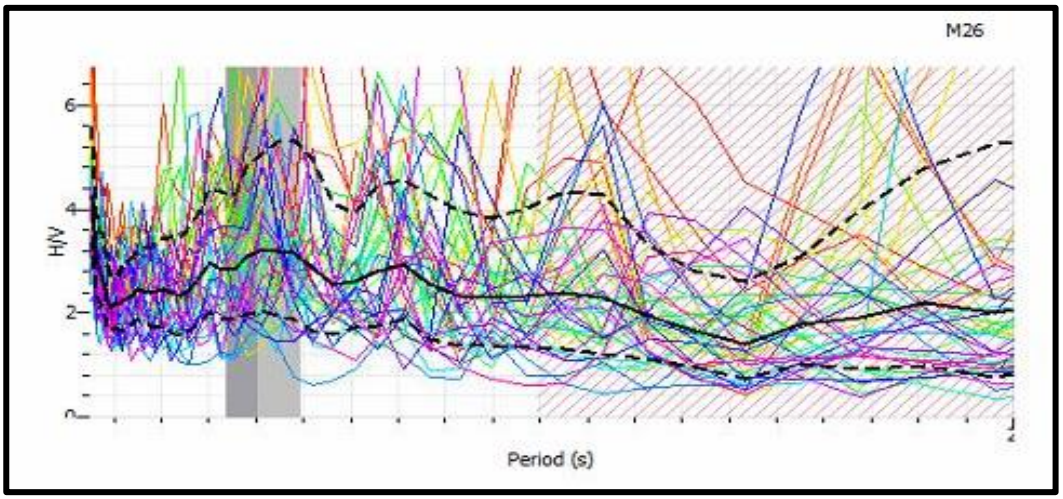

M21
H/V
Frequency (Hz)

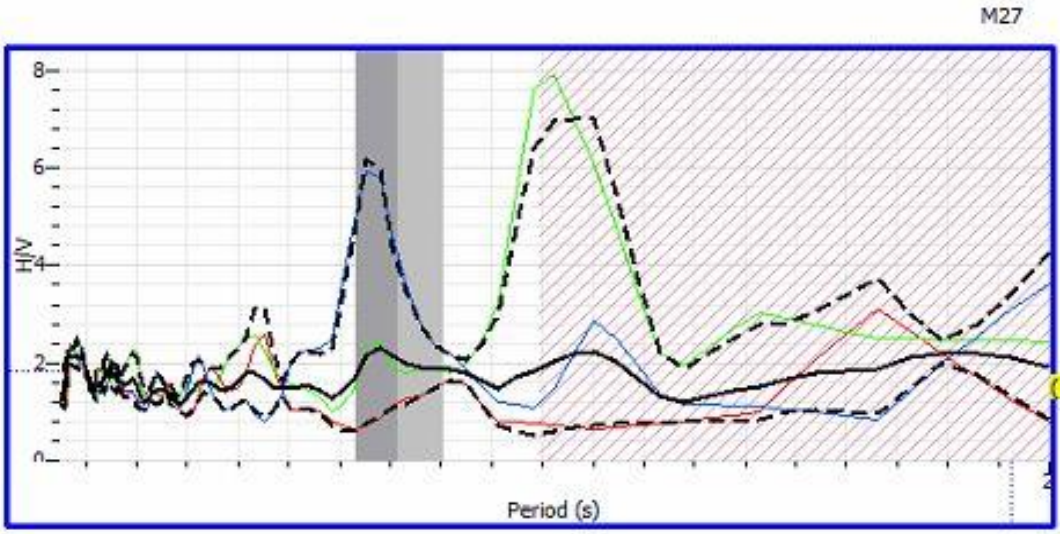

M22
H/V
Frequency (Hz)

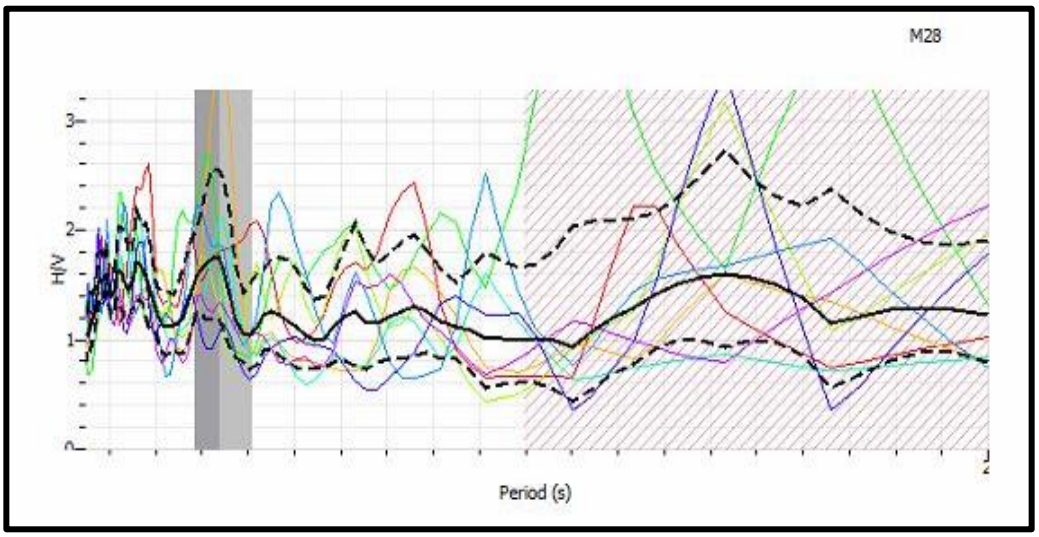

M23
H/V
Frequency (Hz)


M24
H/V
Frequency (Hz)


M25
H/V
Frequency (Hz)


M26
H/V
Period (s)


M27
H/V
Period (s)


M28
H/V
3
2
1
Period (s)

EK 3. Nokta Yükleme Deney Raporu

Çözüm Jeoteknik
Uygulamalı Mühendislik İnşaat Tic. Ltd. Şti.
C.Atıf Kansu Cd. Oğuzlar Mh. 1378 . Sk. 7/A Balgat- ANKARA
Tel : 0312 285 55 56 Fax: 0312 285 55 57
www.cozumjeoteknik.com.tr e-mail :info@cozumjeoteknik.com.tr

İZİN BELGE NO: 2958

ZEMİN VE KAYA MEKANİĞİ LABORATUVARI TOPLU DENEY SONUÇ RAPORU

SAYFA NO: - / 5370/21 / 12/21

Rev. Tar./No: | ER - 029 Rev. Tar./No: 24.01.21 / 04

Uygulanan Standart			TS EN ISO 17892-1 Aralık 2014	TS EN ISO 17892-2 Aralık 2014	TS EN ISO 17892-2 Aralık 2014	TS EN ISO 17892-4 Aralık 2016			TS EN ISO 17892-12 Kasım 2018			TS 1500 Aralık 2000	TS EN ISO 17892-4 Aralık 2016		TS 699 Mart 2009	TS EN 1926 Temmuz 2007	TS EN ISO 17892-7 Mart 2018	TS EN ISO 17892-8 Kasım 2018	TS 1900-2 Mart 2006	TS EN ISO 17892-5 Nisan 2017	TS EN ISO 17892-3 Şubat 2016	TS 1900-1 Mart 2006	TS 1900-1 Mart 2006
Numune						Elek Analizi		Atterberg Limitleri					Hidrometrik analiz										
Sondaj Aç Kuyusu Adı	Tüp ve Adı	Derinlik (m.)	Doğal Su Muhtevası (%)	Doğal Birim Hacim Kütle (g/cm³)	Kuru Birim Hacim Kütle (g/cm³)	#10 Kalan (%)	#200 Geçen (%)	Baş Nokta	LL (%)	Tek Nokta	PL (%)	PI (%)	USCS	Ilık Geçen (%)	Akar Geçen (%)	Nokta Yükleme	Yük etkisi Basınç Dayanımı Testi (Kısa)	Serbest Basınç (Zemin)	Üç Eksenli Basınç(UU)	Kesme Kutusu (UU)	Konsolidasyon		Proktor		CBR	
																					Şişme Yüzdesi (%)	Şişme Basıncı (kPa)	Tane Yoğunluğu ρs (Mg/m³)	maks. KBHA γ (kN/m³)	W_{opt} (%)	CBR %	CBR ŞİŞME %
AÇ-1	POŞET-1	0,50-14,00													228,30											
AÇ-1	POŞET-2	0,50-1,00													220,78											
AÇ-1	POŞET-3	1,50-2,00													355,98											
AÇ-1	POŞET-4	1,50-2,00													364,69											
AÇ-2	POŞET-1	0,50-1,00													335,26											
AÇ-2	POŞET-1	0,50-1,00													273,45											
AÇ-2	POŞET-1	0,50-1,00													264,59											
AÇ-2	POŞET-1	1,00-1,50													138,24											
AÇ-2	POŞET-1	1,00-1,50													170,15											
AÇ-2	POŞET-1	1,50-2,00													257,35											

FİRMA ADI	MEHMET SALİH YILDIZ - ÇANKIRI	Raporlayan : Jeoloji Müh.Halil Sıla KÖSEOĞLU	Kontrol Eden : Jeoloji Müh : Zafer AYGÖREN
PROJE ADI	ÇANKIRI MERKEZ İLÇESİ İNANDIK KÖYÜ VE ÇEVRESİ	İmza : Halil Sıla KÖSEOĞLU Jeoloji Mühendisi	İmza : Zafer AYGÖREN Jeoloji Mühendisi Oda Sicil No: 18400
GELİŞ TARİHİ	8.12.2021	RAPOR NO 5370/21	
RAPOR TARİHİ	15.12.2021	B.R.N 20466092	

* Numunelerimizdeki uzman kişi veya kişilerce alınıp alınmadığı, numunenin alındığı yerin ve koşulların belirtilerin dışında olması nedeni ile meydana gelebilecek herhangi olumsuzluklerden laboratuvarımız sorumlu değildir.
* Bu deney sonuç formu ve ekinde verilen deney sonuç grafikleri laboratuvarımızın izni olmadan kısmen veya tamamen kopyalanamaz, değiştirilemez.
* Bu deney sonuç formu yukarıda adı geçen iş için laboratuvarımıza teslim edilen ve sadece formda belirtilen numunelerine aittir.

İZİN BELGE NO: 0166

Çözüm Jeoteknik
Uygulamalar Mühendislik İnşaat Tic. Ltd. Şti.

Ç. Atıf Kaya Cd. Öğüler Blk. 137/1 Sk. 7/A Balgat ANKARA
Tel: 0312 285 56 66 Fax: 0312 285 56 67
www.cozumjeoteknik.com.tr
email: info@cozumjeoteknik.com.tr

-
4936/21
11/21

NOKTA YÜKLEME DENEYİ RAPOR FORMU

(BLOK NUMUNELERDE)

FR - 053 Rev. Tar./No: 10.06.17 /03		Deney standardı	TS 699/Mart 2009 Madde 6.3B ASTM D 5731
Firma:	MEHMET SALİH YILDIZ - ÇANKIRI		
İşin Adı:	ÇANKIRI MERKEZ İLÇESİ İNANDIK KÖYÜ VE ÇEVRESİ		

Sondaj /kuyu adı	Numune Adı	Derinlik (m)	D (cm)	W (cm)	A= W*D (cm^2)	De^2= 4A/p (cm^2)	F= $(De^2/50)^{0,45}$	P (kgf)	Is = P/De^2		Is_{50} = Is*F (kPa)
									(kgf/cm^2)	(kPa)	
AÇ-1	POŞET-1	0,50-14,00	4,11	5,38	22,1	28,17	1,03	65,0	2,31	226,30	232,45
AÇ-1	POŞET-2	0,50-1,00	4,28	6,11	26,2	33,31	1,07	75,0	2,25	220,78	235,51
AÇ-1	POŞET-3	1,50-2,00	3,11	5,98	18,6	23,69	0,99	86,0	3,63	355,98	351,70
AÇ-1	POŞET-4	1,50-2,00	3,55	6,24	22,2	28,22	1,03	105,0	3,72	364,89	374,97
AÇ-2	POŞET-1	0,50-1,00	4,17	6,36	26,5	33,78	1,07	115,5	3,42	335,26	358,76
AÇ-2	POŞET-1	0,50-1,00	3,91	5,22	20,4	26,00	1,01	72,5	2,79	273,45	275,87
AÇ-2	POŞET-1	0,50-1,00	4,03	6,19	24,9	31,78	1,06	82,5	2,60	254,59	268,71
AÇ-2	POŞET-1	1,00-1,50	5,28	7,33	38,7	49,30	1,17	69,5	1,41	138,24	161,06
AÇ-2	POŞET-1	1,00-1,50	5,11	6,80	34,7	44,26	1,14	76,8	1,74	170,15	193,48
AÇ-2	POŞET-1	1,50-2,00	3,99	6,11	24,4	31,06	1,05	81,5	2,62	257,35	270,23

Numune Tipi :Normşen, Deney Sayısı: 1 / ~~Heterojen~~, ~~Deney Sayısı: 10~~

* Numune/numunelerin uygun tüp veya bloklarda alınıp alınmadığı, numunenin alındığı yerin ve kuyuğunun konumu veya numunenin değişmeden/değiştirilmeden nakliyesi ile muayene şekli/teknik hususlar değişiklik/farklılıkların laboratuvarımız sorumlu değildir.

* Bu deney sonuç formu ve ekinde verilen deney sonuç grafikleri laboratuvarımızın izni olmadan kısmen veya tamamen kopyalanamaz, değiştirilemez.

* Bu deney sonuç formu yukarıda adı geçen iş için laboratuvarımızca teslim edilen ve sadece burada belirtilen numunelerine aittir.

Raporlayı Jeoloji Müh. Halil Sıla KÜÇÜKAVŞAR
Oda Sicil No : 18[illegible]
İmza :

Kontrol Eden : Jeoloji Müh.Zafer AYGÖREN
Denetçi no : 18[illegible]
İmza:

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Mehmet Salih YILDIZ

Eğitim

Yüksek Lisans	Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	2019-Halen
Lisans	Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	2011-2015

İş Deneyimi

Yıl	**Kurum**	**Görev**
2015-2016	Arena Yapı Denetim LTD. ŞTİ.	İnşaat Mühendisi
2016-2017	Ankara Güvenal Yapı Denetim LTD. ŞTİ.	İnşaat Mühendisi
2017-2018	Jandarma İstihkam İnşaat Grup Komutanlığı	İnşaat Mühendisi
2019-Halen	ÇAKÜ Yapraklı MYO	Öğretim Görevlisi