

## **ÇANAKKALE ŞEHİR MERKEZİNİN SIVILAŞMA AÇISINDAN ZEMİN KARAKTERİZASYONU**

### **GROUND CHARACTERIZATION OF ÇANAKKALE CITY CENTER FROM A LIQUEFACTION POINT OF VIEW**

**Sadık ÖZTOPRAK<sup>1</sup>, İlknur BOZBEY<sup>2</sup>, Cihan ÖSER<sup>3</sup>, Sinan SARĞIN<sup>4</sup>,  
Ferhat ÖZÇEP<sup>5</sup>, Namık AYSAL<sup>6</sup>, M. Kubilay KELEŞOĞLU<sup>7</sup>, Mostafa ALMASRAF<sup>8</sup>**

#### **ÖZET**

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Avrupa'nın sivilaşma risk durumunu ortaya koymak için başlatılan UFUK 2020 projelerinden "LIQUEFACT: Assessment and Mitigation of Liquefaction Potential Across Europe: A Holistic Approach to Protect Structures/Infrastructures for Improved Resilience to Earthquake-Induced Liquefaction Disasters" isimli projeye dahil olmuştur. Bu bildiride, söz konusu proje kapsamında yapılmış olan ayrıntılı zemin karakterizasyon çalışmasının sonuçları anlatılmaktadır. Bu projenin hedeflerinden birisi, Avrupa ülkeleri için, geçmişte meydana gelmiş sivilaşma vakalarından elde edilen ve mevcut jeolojik, geoteknik ve sismolojik verilerin kullanıldığı sivilaşma risk haritasının geliştirilmesidir. Söz konusu olan risk haritası, "pilot bölge" olarak adlandırılan dört test bölgesinde yapılmış sahaya özel analizler ile doğrulanacaktır. Bu amaçla, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa proje ekibi tarafından Çanakkale şehir merkezi, Marmara Bölgesi için pilot bölge olarak seçilmiş ve sivilaşma riski açısından zemin karakterizasyonu yapılmıştır. Çanakkale şehir merkezi, yüksek sismik riskli zemin grubu olarak karakterize edilen gevşek, suya doygun kumlu-siltli zemin profili üzerine kurulmuştur ve bu nedenle pilot bölge olma kriterlerinin tamamını taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında, ilk olarak Çanakkale şehir merkezinde daha önce yapılmış olan zemin etüt çalışmaları bir araya getirilmiş ve değerlendirilmiştir. Pilot bölge içinde sivilaşma potansiyeli yüksek olan alanlar belirlenmiş ve buna bağlı olarak altı farklı sahada detaylı zemin araştırmaları yapılmıştır. Belirlenen altı çalışma sahasından elde edilen sonuçlar daha önceki çalışmalardan elde

<sup>1</sup> Doç. Dr., İstanbul Ü.-Cerrahpaşa, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, oztoprak@istanbul.edu.tr  
<sup>2</sup> Prof. Dr., İstanbul Ü.-Cerrahpaşa, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ibozbey@istanbul.edu.tr  
<sup>3</sup> Dr., İstanbul Ü.-Cerrahpaşa, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, oser@istanbul.edu.tr  
<sup>4</sup> Araş. Gör., İstanbul Ü.-Cerrahpaşa, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ssargin@istanbul.edu.tr  
<sup>5</sup> Prof. Dr., İstanbul Ü.-Cerrahpaşa, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ferozcep@istanbul.edu.tr  
<sup>6</sup> Doç. Dr., İstanbul Ü.-Cerrahpaşa, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, aysaln@gmail.com  
<sup>7</sup> Doç. Dr., İstanbul Ü.-Cerrahpaşa, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, kelesoglu@istanbul.edu.tr  
<sup>8</sup> İnşaat Müh., İstanbul Ü.-Cerrahpaşa, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, m.luay87@gmail.com

edilmiş veriler ile daha sonra yapılacak sıvılaşma değerlendirme çalışmalarında kullanılmak üzere birleştirilmiştir.

*Anahtar Kelimeler: LIQUEFACT, Sıvılaşma, Çanakkale, Zemin Karakterizasyonu*

## ABSTRACT

This paper presents the results of an extensive ground characterization study carried within the context of a Horizon 2020 Project, “Liquefact”. The project aims to develop a low-accuracy liquefaction risk map for European countries based on past liquefaction occurrences and existing geological, geotechnical and seismological information. This risk map will be validated and/or optimized after performing site-specific, localized analyses in four regions denoted as “testing sites”. In this context, Canakkale city center was selected as the test site in Marmara Region by Istanbul University team and ground characterization was performed from a liquefaction point of view. Canakkale city center is founded on loose, saturated sand and silts and is characterized by a high seismic hazard and therefore full fills the criteria as a test site. Within the context of the study, pre-existing studies carried out in the region were first collected and evaluated. The areas which were susceptible to liquefaction were determined and six study areas in the test site were selected accordingly. A complementary investigation campaign was then planned for these six study areas taking into account that the data will be used in liquefaction assessment studies. Ground characterization focused on coarse-grained soils including clean sands, silty-sands and non-plastic sandy-silts deposits in view of the susceptibility of these geomaterials to liquefaction.

*Keywords: LIQUEFACT, Liquefaction, Canakkale, Ground Characterization, Turkey*

## 1. GİRİŞ

İstanbul Üniveristesi-Cerrahpaşa, Avrupa’nın sıvılaşma risk durumunu ortaya koymak için başlatılan UFUK 2020 projelerinden “LIQUEFACT: Assessment and Mitigation of Liquefaction Potential Across Europe: A Holistic Approach to Protect Structures/Infrastructures for Improved Resilience for Earthquake-Induced Liquefaction Disasters” isimli projeye dahil olmuştur. Söz konusu proje, AB tarafından H2020 – DRS 2015 çağrısı (Araştırma İnovasyon Eylemi) kapsamında finanse edilmektedir ve Avrupa ülkelerindeki Deprem Kaynaklı Sıvılaşma Afetlerine (EILD) karşı risklerin bütünsel bir yaklaşımla azaltılmasına yöneliktir. Projenin hedefleri, Avrupa sıvılaşma tehlikesinin GIS ile haritalanması, basitleştirilmiş metodolojilerin geliştirilmesi, sıvılaşma riskinin azaltılmasının planlanması, kentsel toplum esneklik modeli ve genel bir entegre yazılım geliştirilmesi (www.liquefact.eu) olarak tanımlanmıştır.

Projede, Avrupa ülkeleri için geçmiş sıvılaşma olaylarına ve mevcut jeolojik, geoteknik ve sismolojik bilgilere dayanan sıvılaşma risk haritalarının oluşturması hedeflenmiştir. Bu risk haritası, daha sonra “test sahaları” olarak belirtilen dört bölgede sahaya özgü, bölgesel analizler yapıldıktan sonra doğrulanacak ve/veya optimize edilecektir. Haritanın oluşturulabilmesi için proje bölgesi olan Avrupa’da arazi ve laboratuvar deneyleri ile yeni teknikler ve ileri yöntemler kullanılarak zemin karakterizasyonu yapmak üzere dört bölge seçilmiştir. Bu çalışma paketinde İstanbul Üniveristesi-Cerrahpaşa, Marmara Bölgesi'nde saha araştırması yapmakla yükümlü olup, bu kapsamda Marmara Bölgesi'ndeki Çanakkale

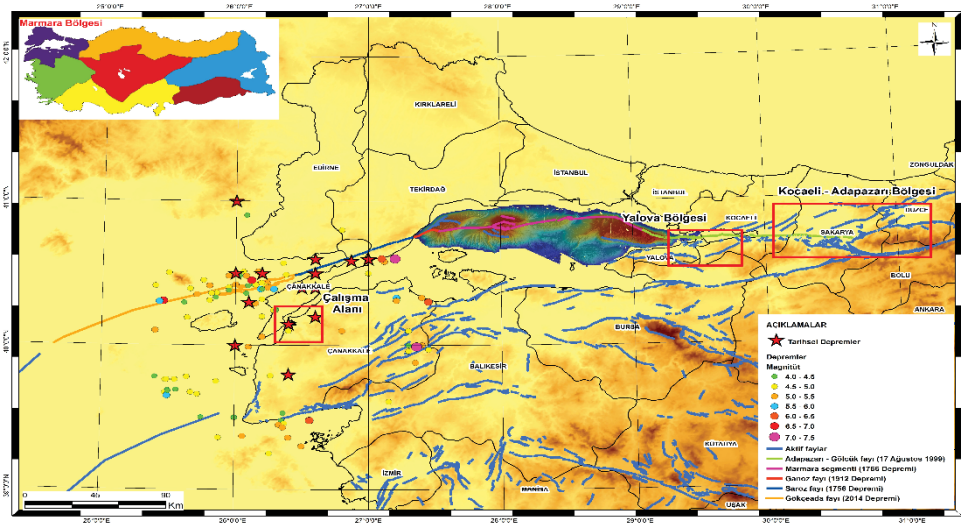
şehir merkezi test sahası olarak seçilmiştir. Projenin ilk aşamasında, önceden yapılmış zemin araştırması çalışmalarından elde edilen veriler (Büyüksaraç vd., 2013; Çanakkale Belediyesi Raporu, 2013, Geosan, 2008) toplanmış ve değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmelere dayanarak, test sahasında detaylı olarak çalışılmak üzere altı adet çalışma alanı seçilmiş ve sivilaşma analizlerinin ihtiyaçları dikkate alınarak bu alanlarda ilave testler gerçekleştirilmiştir. Bu bildiride, bölgede yapılan ilave çalışmalar sunulmuş, test alanlarından birinde (Çalışma Alanı 2) yapılan çalışmalardan örnekler verilmiş ve bulgular zemin karakterizasyonu açısından değerlendirilmiştir (Özcep vd., 2017).

## 2. ÇANAKKALE TEST SAHASI: KONUMU VE ÖNEMİ

Bu bildiri kapsamında sunulan çalışma paketinde “Test bölgesi olarak seçilen dört alanın yer tespiti, arazi ve laboratuvar deneylerinin yapılmasında yeni tekniklerin ve ileri yöntemlerin kullanılması ve raporların hazırlanması” amaçlanmaktadır. Ayrıca bu bölümde toplanan bilgiler, mikrobölgeleme çalışmalarının oluşturulmasında kullanılacaktır. Bu kapsamda İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Ekibi tarafından Marmara Bölgesi'nde bir test alanı seçilmiştir.

Marmara Bölgesi, Türkiye'nin en kalabalık bölgelerinden biridir ve 2009 yılı sayımına göre bölgenin nüfusu, ülkenin toplam nüfusun yaklaşık dörtte birini oluşturan 23 milyondan fazladır. Marmara bölgesi aynı zamanda sosyal-ekonomik açıdan ülkenin en önemli bölgesidir. Türkiye'nin en yıkıcı depremlerinden biri, 17 Ağustos 1999'da meydana gelmiştir ve deprem merkez üssünün olduğu il nedeniyle Kocaeli depremi olarak bilinmektedir. Resmi kayıtlara göre depremin şiddeti 7.4'tür ve depremde 10.000 km<sup>2</sup>'den büyük bir alan etkilenmiştir. Şekil 1'de, 1999 depreminden etkilenen Kocaeli-Sakarya ve Yalova bölgeleriyle birlikte Marmara Bölgesi görülmektedir. Adapazarı, Kocaeli (Gölcük) ve Yalova bölgelerinde çok sayıda ulusal ve uluslararası ekip tarafından yoğun ve sayısız deprem sonrası araştırma kampanyaları gerçekleştirilmiş ve çeşitli yayınlar yapılmıştır. Bu bağlamda, söz konusu bölgelerde sivilaşma olayı ile ilgili çok titiz çalışmalar yapılmış ve konu ile ilgili literatüre önemli katkılar sağlanmıştır. Özellikle Adapazarı ili, sivilaşma açısından çok iyi şekilde araştırılmış ve bölgenin özellikleri sivilaşma kriterleri bakımından iyi derecede belirlenmiştir. Bu nedenle Adapazarı ve Yalova illerinde yapılacak ek çalışmaların sivilaşma konusunda literatüre fazla bir katkı sağlamayacağı düşünülmüş, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Proje Ekibi tarafından gevşek, suya doymun kum ve siltler üzerinde kurulu ve yüksek sismik tehlike ile karakterize edilen Çanakkale Şehir Merkezi'nin test sahası olarak seçilmesine karar verilmiştir. Şekil 1'de çalışma sahası olarak seçilen Çanakkale şehir merkezi görülmektedir.

Test sahasının yaklaşık 11 km<sup>2</sup> olan sınırları Şekil 2'de görülmektedir. Çalışma alanı, Türk Deprem Yönetmeliği'ne (2007) göre birinci derece deprem bölgesi içinde yer almaktadır. Marmara Bölgesi'nin en batı kesiminde yer alan Saros ve Ganos fayları Çanakkale şehriden geçmektedir ve seçilen test sahasına yaklaşık 40 km mesafede bulunmaktadır. Ayrıca Gökçeada fayı da test sahasına yakın bir bölgededir ve Ege denizinde Yunanistan'a doğru uzanmaktadır. Bu iki fay nedeniyle bölgede yüksek deprem riski bulunmaktadır. Bölgede meydana gelmiş olan tarihi depremler Şekil 1'de gösterilmiştir. Bölgedeki zemin özellikleri ve yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması nedeniyle sivilaşma olayı için uygun koşulları sağlamaktadır.



Şekil 1. Marmara Bölgesi, geçmiş depremler, çalışma alanı ve bölgedeki aktif faylar



Şekil 2. Çanakkale şehrinde bulunan test sahasının sınırları

### 3. ZEMİN KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARININ HEDEFLERİ

Zemin karakterizasyonu, sivilaşmaya karşı duyarlı olan temiz kumlar, siltli kumlar, ve plastik olmayan kumlu silt birimler gibi iri daneli zemin profilleri üzerinde odaklanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, zemin yüzeyinden itibaren en az 20 m derinliğe kadar zemin profili hakkında jeolojik bilgi sağlayan mevcut veriler toplanmıştır. Bu kapsamda, Çanakkale şehir merkezi için mevcut olan tüm resmi bilgiler, devlet dairelerinden ve özel şirketlerden alınmıştır. Bu araştırmanın sonucunda, veriler iki ana kaynaktan elde edilmiştir. Ana veriler Büyüksarac vd. (2013) tarafından Çanakkale Belediyesi için hazırlanan Çanakkale Belediyesi Raporu (2013)'tan alınmıştır. Söz konusu rapor Çanakkale Belediyesi için bölgede yapılan arazi ve laboratuvar deney sonuçlarına dayandırılarak hazırlanmıştır. İkinci veri kaynağı ise, bir zemin etüd firması tarafından hazırlanan bir zemin araştırma raporudur (Geosan, 2008). Toplanan veriler ilk aşamada doğruluk ve güvenilirlik açısından kontrol edilmiştir ve daha

sonra coğrafi olarak çalışmaların yapıldığı noktalar belirlenmiştir. Bu kapsamda proje boyunca Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) kullanılmıştır.

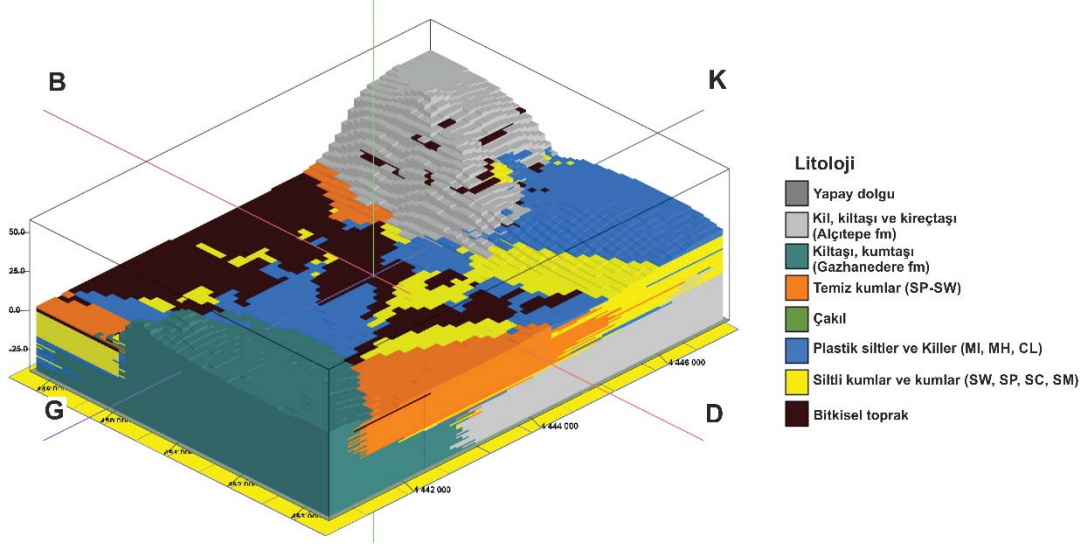
Önceki veriler Çanakkale şehir merkezinin, nehrin menderes noktaları, nehir ağzı yatakları, alüvyon sırtları ve ıslah dolguları nedeniyle sivilaşma potansiyeli yüksek bir bölge olduğunu göstermiştir. Sivilaşabilir formasyonların üç boyutlu dağılımını elde edebilmek için uygun sayıda jeolitolojik kesit tanımlanmıştır. Mevcut bilgilere dayanarak, üç boyutlu bir jeolojik zemin modeli Şekil 3'te görüldüğü gibi geliştirilmiş, konsolide olmayan birimlerin geometrileri, jeolojik veya sismik anakayanın yeri haritalanmış ve konsolide olmayan birimlerin yaşları sunulmuştur. Önceki veriler test alanında litolojik Kuvaterner (Holosen) birimlerin bulunduğunu ve zemin litolojisinin altı farklı tipden oluştuğunu göstermiştir. Bunlar; Yapay dolgu / üst toprak, temiz kumlar (SP, SW) (Holosen, Alüvyon), plastik siltler ve killer (ML, MH, CL, CH) (Holosen, Alüvyon), siltli kumlar ve kumlar (SW-SP-SC-SM) (Holosen, Alüvyon), killer, kilaşları ve kireçtaşları (Miyosen-Pliyosen, Alçıtepe Formasyonu) ve kilaşı, kumtaşı (Miyosen, Gazhanedere Formasyonu) (Büyüksaraç ve diğ., 2013). Şekil 4'de 5 metre derinlik için örnek bir litolojik harita verilmiştir. Veriler, ilk 15 metre boyunca zemin profilinin esas olarak temiz kumlar, kumlar, siltli kumlar ve plastik silt ve kil girintilerinden oluştuğunu göstermektedir. Plastik siltler ve killer sivilaşmaya daha az duyarlıdır ve Miyosen-Pliyosen kilaşı ve kireçtaşları ve Miyosen kumtaşı birimleri sivilaşabilir birimler değildir. Zemin litolojisine dayanarak, alanın büyük bir kısmının 20 veya 25 metre derinliğe kadar sivilaştırılabilen zeminlerden oluştuğu sonucuna varılmıştır.

Mevcut verilerin değerlendirilmesine dayalı olarak, Şekil 4'te gösterilen altı alanda (Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4, Alan 5, Alan 6) , daha önceki çalışmalara ilave olarak daha detaylı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu altı çalışma alanı, test sahasında farklı zemin profillerini temsil edecek şekilde seçilmiştir. Yeni yapılacak ilave test çalışmaları ile projenin daha ileri aşamalarında gerçekleştirilecek olan sivilaşma analizleri için titiz ve güvenilir veriler sağlanması amaçlanmıştır. Tablo 1'de, ilave yapılacak çalışmalar kapsamında yürütülen arazi ve laboratuvar testlerini gösterilmektedir.

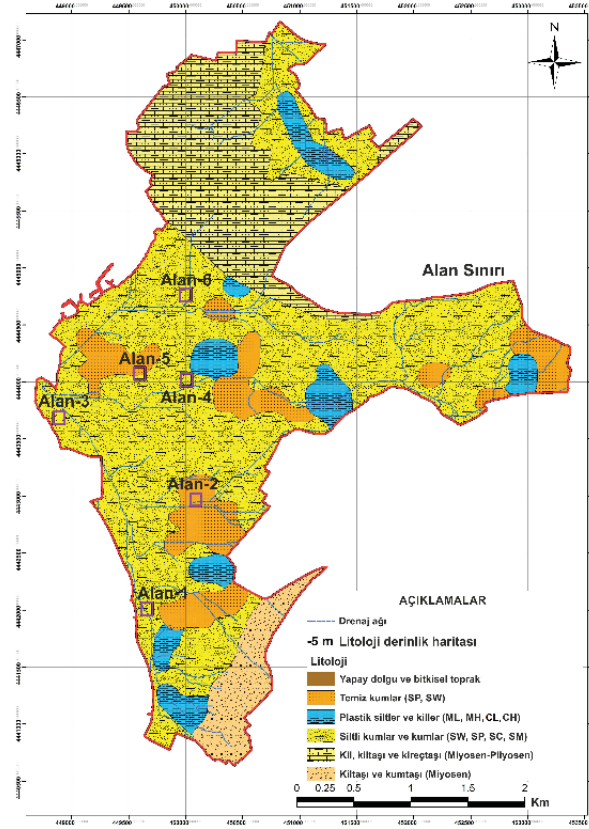
Tablo 1. Test sahasında yapılan ilave arazi ve laboratuvar deneyleri

Alan	Saha ve Laboratuvar Çalışmaları
1, 2, 3	SPT, DMT, SCPT, kuyucu sismik, PS-logging, sismik kırılma, 2D-ReMi, MASW, mikrotremor, H/V Nakamura araştırması, 2D resistivite, rezonans akustik profil (RAP)
4, 6	SPT, CPTu, MASW, rezonans akustik profil (RAP)
5	SPT, SCPT, MASW, rezonans e akustik profil (RAP)
Şehir merkezi	2D resistivite (anakayanın ve akifer özelliklerinin derinlemesine araştırılması için)
Tüm alanlar	Laboratuvar deneyleri; elek analizi, hidrometre, kıvam limitleri, rezonant kolon testi (RCT), elek analizi, hidrometre, kıvam limitleri, rezonant kolon testi (RCT), burulma kesme testi (TST), dinamik basit kesme (DSS) testleri





Şekil 3. Üç boyutlu jeolojik zemin modeli



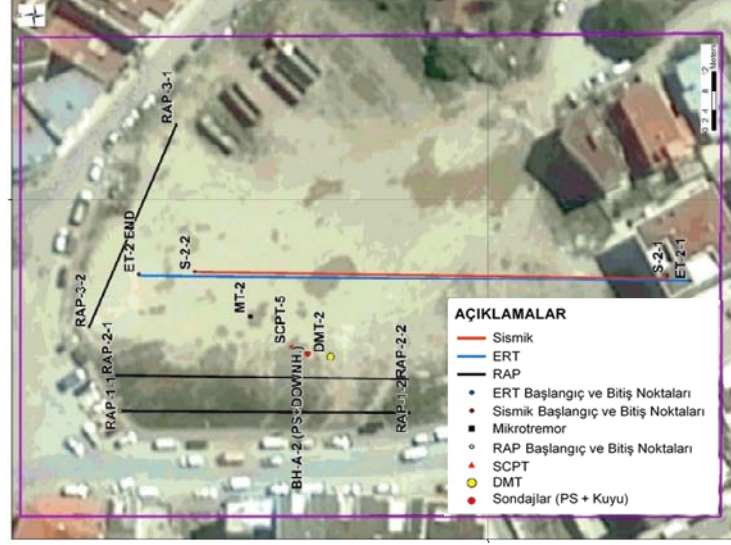
Şekil 4. Test sahasının 5 metre derinlik için litolojik haritası

Çalışmanın ana çerçevesi şu şekilde belirlenmiştir; inceleme derinliği zemin yüzeyinden itibaren 25-30 metre olarak seçilmiştir. Uygun bir zemin modelinin elde edebilmesi ve tabakalanmanın belirlenmesi için sondaj kuyularının açılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle seçilen altı alanda kontrollü sondaj kuyuları açılmıştır. Sondajlarda SPT deneyleri sırasında enerji ölçümleri yapılmıştır. Zemin tabakalanmasını sürekli olarak tanımlamak için CPT testleri yapılmış ve sonuçlar sondajlardan elde edilen gözlemlerle karşılaştırılmıştır. İlave zemin karakterizasyonu için Marchetti dilatometre ve DMT testleri yapılmıştır. Zemin birimlerinin heterojenliğini değerlendirmek için invazif ve invazif olmayan jeofizik testler uygulanmıştır. Bu testler arasında SCPT, downhole sismik, PS-logging, sismik kırılma, 2D-ReMi, MASW, mikrotremor (H / V Nakamura), 2D direnç ve rezonans akustik profil (RAP) bulunmaktadır. Yeraltı suyu (çoğunlukla akifer) ve ana kayaç derinliğinin belirlenebilmesi için yeni gelişmekte olan (halen onaylanmamış olan) RAP tekniği kullanılmış ve sonuçlar geleneksel tekniklerle karşılaştırılmıştır. Farklı teknikler kullanılarak kayma dalgası hızları elde edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Dane boyutu dağılımını, Atterberg Limitlerini ve potansiyel olarak sıvılaştırılabilir tabakaların su muhtevalarını belirlemek için laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Rezonant kolon testleri, burulma kesme testleri ve çevrimsel direk basit kesme testleri dahil olmak üzere dinamik zemin testleri yapılmıştır. Bu testlerin yapılmasının amacı, zeminleri düşük ve yüksek gerilme altındaki dinamik özelliklerinin belirlenmesidir. Bilindiği üzere, kumlu zeminlerden örselenmemiş numune almak ancak zemin dondurma veya jel-itmeli örnek alma gibi çok pahalı yöntemler ile mümkün olmaktadır. Çalışmamızda kumlu topraklardan arızalı numuneler elde etmek mümkün olmamıştır. Ancak çalışma kapsamında numuneler dikkatli bir şekilde laboratuvar ortamında hazırlanmış ve arazi sıkılıkları hedeflenmiş ve elde edilebilmiştir. Dinamik laboratuvar testleri, temiz kumların ve siltli kumların sıvılaşma duyarlılığının yüksek olduğunu göstermiştir ancak alan kısıtlaması nedeniyle laboratuvar test sonuçları bu bildiride gösterilememiştir. Arazi ve laboratuvar çalışmalarının son aşamasında, verilerin kapsamlı bir değerlendirmesi yapılmıştır ve burada sunulmaktadır.

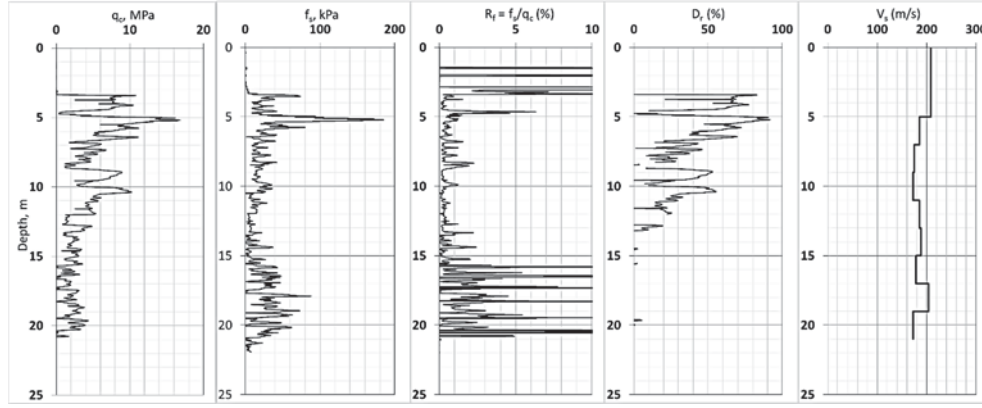
#### 4. ALAN-2'DE GERÇEKLEŞTİRİLEN İLAVE TESTLER

Bu bölümde, çalışma alanı olan Alan-2'de gerçekleştirilen ilave testlerin sonuçları sunulmuş ve değerlendirmeler yapılmıştır. Benzer çalışmalar ve değerlendirmeler diğer çalışma alanları için de yapılmıştır. Alan-2'de sismik (kırılma, MASW, ReM profilleri), 2D-Resistivite profili, mikrotremor ölçümleri, kuyucu sismik ölçüm, RAP ve PS-logging ölçümleri yapılmıştır. Alanda yapılan arazi testleri ve jeofiziksel ölçümlerin yerleri Şekil 5'de verilmiştir. Sondaj kuyusu (BH-A-2), SCPT, DMT ve jeofizik testlerden elde edilen veriler bu bölümde sunulmuştur.

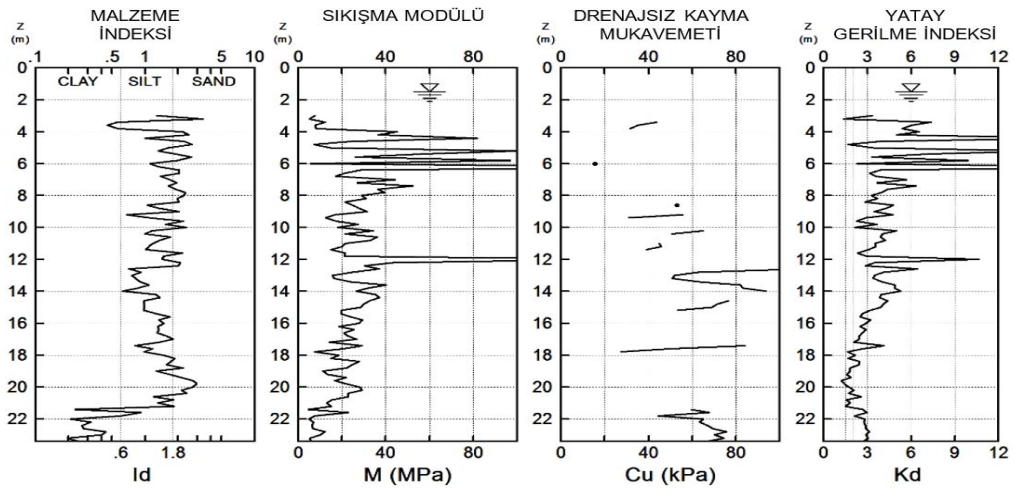
Alan-2'de yapılan SPT ve SCPT testlerine dayandırılarak belirlenen zemin profili Tablo 2'de verilmiştir. 25 metre derinliğe kadar yapılan arazi deneylerinde zemin profilinin kumlar, siltli kumlar ve killerden oluştuğu görülmektedir. SCPT testleri ile ölçülen kayma dalgası hızlarının 20 metre derinliğe kadara yaklaşık 200 m/sn olduğu Şekil 6'da görülmektedir. DMT testinin sonuçları Şekil 7'de sunulmaktadır. Jeofizik ölçüm sonuçları ise Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir. Sismik kırılma, 2D-ReMi ve MASW ölçümleri aynı hat üzerinde yapılmıştır. X-T grafiğini içeren Vp modeli ve tomografinin sonuçları Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir. Vs hız ölçüm sonuçları Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 5. Alan-2'nin genel görünümü



Şekil 6. Alan-2'de elde edilen SCPT sonuçları

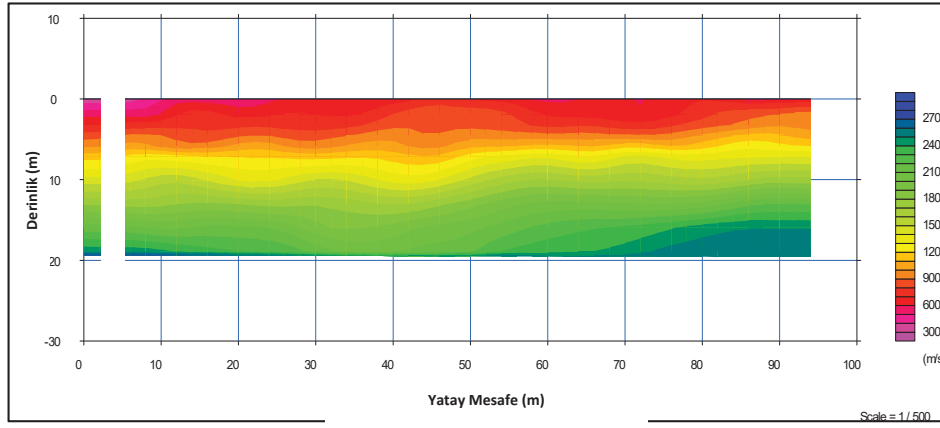


Şekil 7. Alan-2'de elde edilen DMT sonuçları

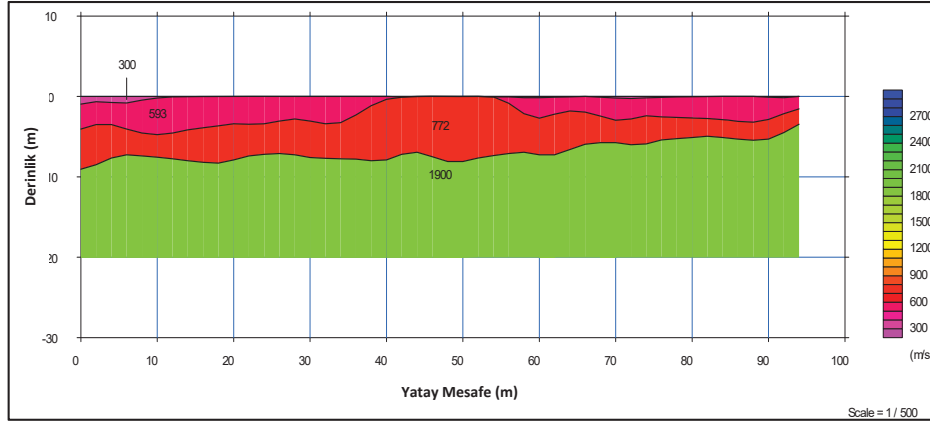


Tablo 2. Alan-2’de yapılan SPT ve SCPT deney sonuçlarına göre zemin profili

BH-A-2			SCPT-A-2			$q_c$ (MPa)	$D_r$ (%)	$S_u$ (kPa)
0.0 – 2.0	Kumlu Dolgu	11	0.0 – 3.0	Dolgu	-	-	-	-
2.0 – 5.0	Kumlar	11	3.0 – 7.0	Kumlar	8	70	-	-
5.0 – 12.0	Siltli Kumlar	13	7.0 – 12.0	Kumlar	5	55	-	-
12.0 – 19.0	Siltli Kumlar	13	12.0 – 19.0	Siltler, Siltli Kumlar	2	-	100	-
19.0 – 22.3	Killer-Siltler-Kumlar	13						
22.3 – 25.5	Killer	6						



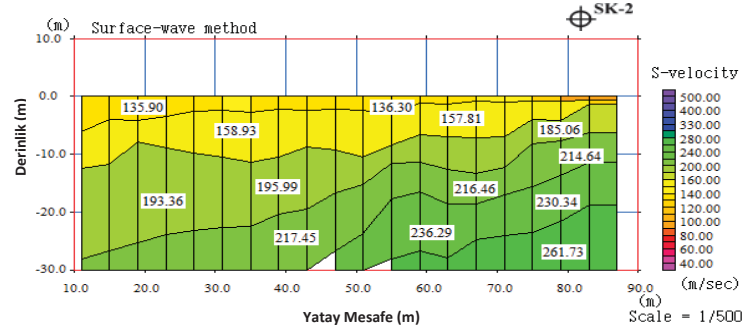
Şekil 8. Sismik-2 (Alan-2) Vp Tomografisi, X-T grafiği ve Vp Tomografisi sonuçları



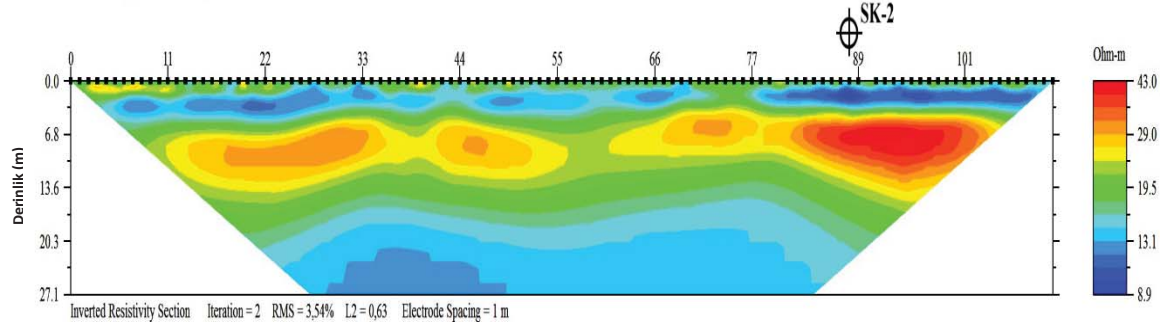
Şekil 9. Sismik-2 (Alan-2) Vp Modeli, X-T grafiği ve Vp Model sonuçları

2D-Resistivite ölçümleri 1 metre elektrot aralığı ile 112 elektrottan oluşmaktadır. 2D-Resistivite çalışmasında Dipole-Dipole, Wenner ve Schlumberger elektrot konfigürasyonları kullanılmıştır. 2D-Resistivite sonuçları Şekil 11’de görülmektedir. Arazi deneyleri, sondaj kuyusunda 20 metre derinliğe kadar yapılan bir kuyucu sismik testini de kapsamaktadır. PS-logging ölçümü de sondaj kuyusunda 21.5 metre derinliğe kadar gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçlar, takip eden bölümde kayma dalgası hızı ölçümleri ile birlikte değerlendirilmiştir.

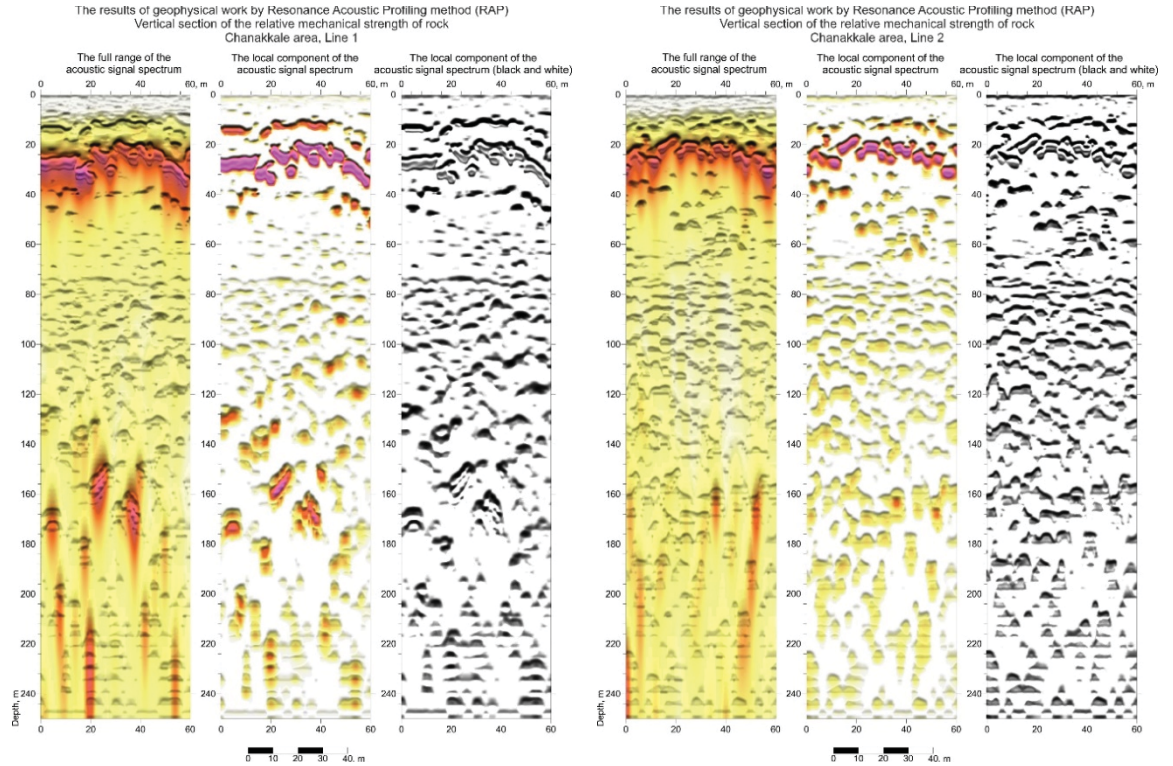
Rezonans akustik profil (RAP) yöntemi, Zuykov (2001) tarafından geliştirilen ve yeryüzü katmanlarının kendi akustik titreşimleri olarak adlandırılan doğal fiziksel alanlar hakkında bilgi etmek için kullanılan jeofizik yöntemleri ifade etmektedir. Alan-2’de gerçekleştirilen RAP verileri Şekil 12’de görülmektedir.



Şekil 10. Sismik-2 (Alan-2) Vs kayma dalgası hızları



Şekil 11. ET-2 (Alan-2) 2D-Resistivite sonuçları (Dipole-Dipole+Wenner+Schlumberger)



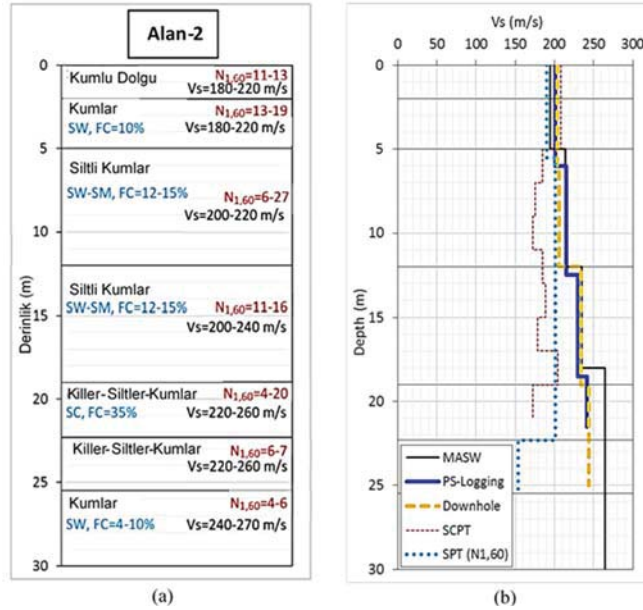
Şekil 12. Alan-2 için elde edilen RAP profili

## 5. ALAN-2'DE GERÇEKLEŞTİRİLEN İLAVE TESTLER

Alan-2 için yapılan ilave çalışmalardan elde edilen bilgiler Şekil 13'de görüldüğü gibi özetlenmiştir. Şekil 13a, alandaki genel zemin profilini göstermektedir. Düzeltilmiş SPT değerleri ( $N_{1,60}$ ) 2-27 aralığında değişmektedir. Kayma dalgası hızları 150 m/s ile 270 m/s arasındadır. Zemin tipleri kum, siltli kum, kil, siltli kil, dolgu ve kum-silt-kil karışımlarından oluşmaktadır. İnce dane oranları %4 ile %35 arasında değişmektedir. Bu nedenle zeminlerin ince dane oranı düşük olduğu söylenebilir. Alan-2 de dahil olmak üzere tüm test sahasında zemin sınıfları SP-SM, SP, SM, ML, SW, SW-SM, SC olarak listelenebilir. Bu zemin sınıfları yüksek derecede sıvılaşma potansiyeline sahiptir. Şekil 13b'de ise, MASW, PS-logging, kuyuiçi SCPT ile ölçülen kayma dalgası hızları,  $N_{1,60}$  değerlerine göre hesaplanan kayma dalgası hızları karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında Kuaterner Alüvyon birimler için kayma dalgası hızlarının hesaplanması için Ohta ve Goto (1979) tarafından verilen Denklem 1 kullanılmıştır.

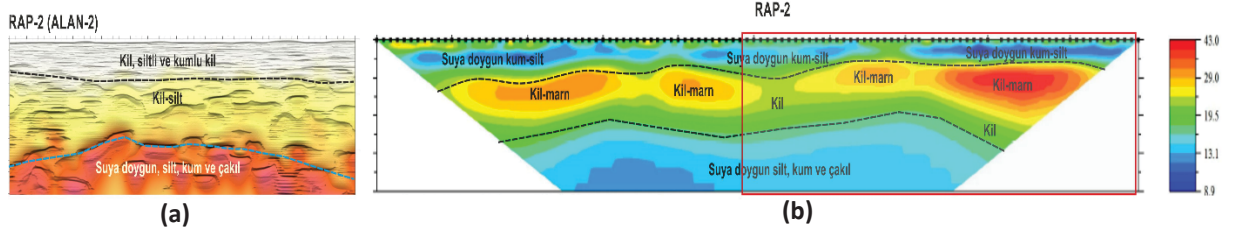
$$V_s = 82.1 \cdot (N_{1,60})^{0,35} \quad (1)$$

Şekil 13b'de görüldüğü üzere, ilk 10-15 metre derinlikte kayma dalgası hızları yaklaşık 200 m/sn'dir. Derinlik boyunca kayma dalgası hızlarında artış olsa da tüm durumlarda hızlar 300 m/sn'nin altında kalmaktadır. Sıvılaşma durumu göz önünde bulundurulduğunda tüm alanların kayma dalgası hızlarına göre sıvılaşma açısından duyarlı olduğu görülmektedir. Şekil 13b'de ayrıca, farklı yöntemlerle ölçülen kayma dalgası hızları karşılaştırılmıştır. Jeofizik yöntemlerle ölçülen kayma dalgası hızlarının (PS-logging, kuyuiçi, MASW) birbirleriyle tutarlı olduğu ve SPT değerleri ile hesaplanan hızların da jeofizik yöntemlerle ölçülen kayma dalgası hızları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak, Kuaterner Alüvyon birimler için Ohta ve Goto (1978) denkleminin geçerli olduğu görülmüştür. Ancak SCPT ile ölçülen kayma dalgası hızları jeofizik yöntemlerle benzer sonuçlar vermemiştir. Bu durum, okumaların çoğunluğu için geçerlidir.



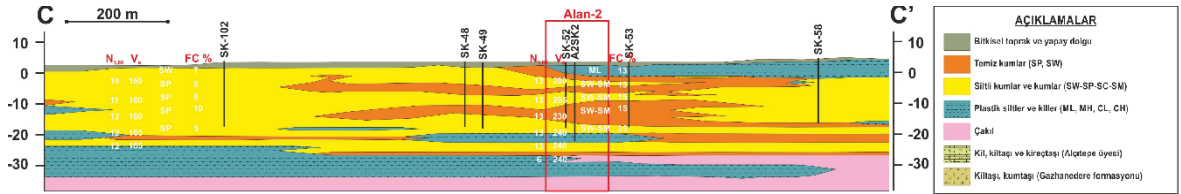
Şekil 13. İlave çalışmalardan elde edilen bilgilerin özeti a) Zemin profili, arazi ve laboratuvarından elde edilen sonuçlar b) Kayma dalgası hızlarının karşılaştırması

Sonuçlar ayrıca, gelişmekte olan RAP tekniği sonuçlarının ana kaya derinliğini tanımlamak kullanılan özdirenç ve derin sondaj sonuçları ile şaşırtıcı derecede uyumlu olduğunu göstermiştir. Bu sonuç Şekil 14'te görülmektedir. Hem özdirenç hem de RAP sonuçları, killi tabakaların (yaklaşık 20-25 metre derinlikte) altında bulunan kum ve çakıl tabakalarında yeraltı suyunun artezyen basınçlarına neden olduğunu göstermiştir. Sondaj kuyularının açılması ve SPT ve CPT testleri sırasında bu artezyen basınçları hakkında ipuçları elde edilmiştir.



Şekil 14. a) RAP tekniği ile b) özdirenç içeren arazi deneyleri ile elde edilen kesitlerin karşılaştırılması

Çalışmanın son aşamasında, ilave araştırma sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak Çanakkale test sahası için zemin profilleri yeniden çizilmiştir. Alan-2 için tipik bir enine kesit Şekil 15'de görülmektedir. Bu şekil, Çanakkale test sahası zemin profilinin çoğunlukla siltli kum ve kum birimlerden oluştuğunu göstermektedir. Tüm alan, düşük SPT sayıları ve düşük kayma dalgası hızları ile karakterize edilmiştir. Zemin profili boyunca ince dane oranı değişiklik göstermektedir ancak genelde düşük orandadır. Yaklaşık 20 m derinlikte, sondaj kuyularının çoğunda plastik siltlere ve killere rastlanmıştır. Bu tabakanın altında ise bir çakıl tabakası bulunmaktadır.



Şekil 15. Çanakkale test sahasına ait bir kesit görünüşü

## 6. SONUÇLAR

Bu bildiriye, UFUK 2020 projesi olan "LIQUEFACT" projesi kapsamında yürütülen bir zemin karakterizasyonu çalışmasının sonuçları sunulmuştur. İstanbul Üniversitesi ekibi, Marmara Bölgesi'nde saha araştırmaları yapmakla yükümlüdür. Çalışma kapsamında Çanakkale şehir merkezi test bölgesi olarak seçilmiştir. Şehir merkezi, gelecekteki depremler açısından risk altındadır ve genellikle suya doymuş gevşek granüler zeminler üzerinde kurulu olmasından dolayı sıvılaşma bakımından duyarlı durumdadır. Bu bölgede gelecekte yapılacak çalışmalar ve araştırmalar, deprem durumunda insan yaşamını güvenceye almak ve bölgedeki olası ekonomik kayıpları önlemeye yardımcı olacak önemli sonuçlara sahip olacaktır.

Önceki çalışmalara ait veriler ve bölgede yapılan yeni ilave testlerden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, Çanakkale test sahasının zemin profilinde siltli kumların ve kumların hakim olduğu görülmüştür. Zemin sınıfları SP-SM, SP, SM, ML, SW, SW-SM, SC olarak listelenebilir. Laboratuvarında yapılan dinamik deney sonuçları, temiz kumların ve siltli



kumların sıvılaşma duyarlılığının yüksek olduğunu göstermiştir. Çanakkale test sahasında belirlenen altı adet çalışma alanından toplanan tüm bu sağlam ve güvenilir bilgiler ışığında, çalışma alanlarının sıvılaşmaya karşı oldukça duyarlı olduğu görülmektedir. Sondajlar, CPT'ler ve DMT'ler tarafından belirlenen zemin profilleri jeofizik yöntemlerle doğrulanmıştır. Halen geliştirilmekte olan RAP tekniği ile elde edilen sonuçların umut verici olduğu görülmüştür. Farklı yöntemlerle ölçülen kayma dalgası hızları karşılaştırılmış ve değerlendirmeler yapılmıştır. Çanakkale test sahasında elde edilen sonuçlar daha sonra hem geleneksel hem de yeni teknikler kullanılarak projenin daha ileri aşamalarında kullanılacaktır.

## TEŞEKKÜR



*LIQUEFACT projesi, Avrupa Birliği'nin UFUK 2020 hibe sözleşmesi kapsamındaki araştırma ve inovasyon programı tarafından finanse edilmektedir.  
Proje No: 700748.*

## KAYNAKLAR

- Büyüksaraç, A., Tunusluoğlu, M.C., Bekler, T., Yalçiner, C., Karaca, O., Ekinci, Y.L., Demirci, A. ve Dinç, O. (2013). “Çanakkale Belediyesi imar planına esas jeolojik-jeoteknik etüt projesi”, Çanakkale Belediyesi, Canakkale.
- Çanakkale Belediyesi Raporu (2013). “Çanakkale için imara esas jeolojik ve geoteknik rapor”, Canakkale.
- Geosan (2008). “Forum Çanakkale için geoteknik araştırma raporu”, İstanbul
- Ohta, Y. ve Goto, N. (1978). “Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes” Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 6, pp 167–187.
- Özçep, F., Öztoprak, S., Bozbey, İ., Aysal, N., Öser C., Sarğın, S., Tezel, O., Çinku, M., Özdemir, K. (2016). “LIQUEFACT, Deliverable 2.1, Report on ground characterization of the four areas selected as testing sites by using novel technique and advances methodologies to perform in situ and laboratory tests”, part of the report that was prepared by Istanbul University Team.
- Türk Deprem Yönetmeliği (2007). “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007, Türkiye
- Zuykov, I. (yayınlanmamış). “The Resonance Acoustic Profiling (RAP) method and its use for various tasks”, power point sunumu (<http://www.alterra.geoacoustic.com/>)