

ALÜVYON ZEMİN TEPKİSİNİN JEOFİZİK VE GEOTEKNİK YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ VE YERLİME UYGUNLUK: ÇANAKKALE İHR ÖRNEĞİ

T. Bekler

*Doçent Dr., Jeofizik Müh. Bölümü, Mühendislik Fakültesi Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale
Email: tbekler@comu.edu.tr*

ÖZET:

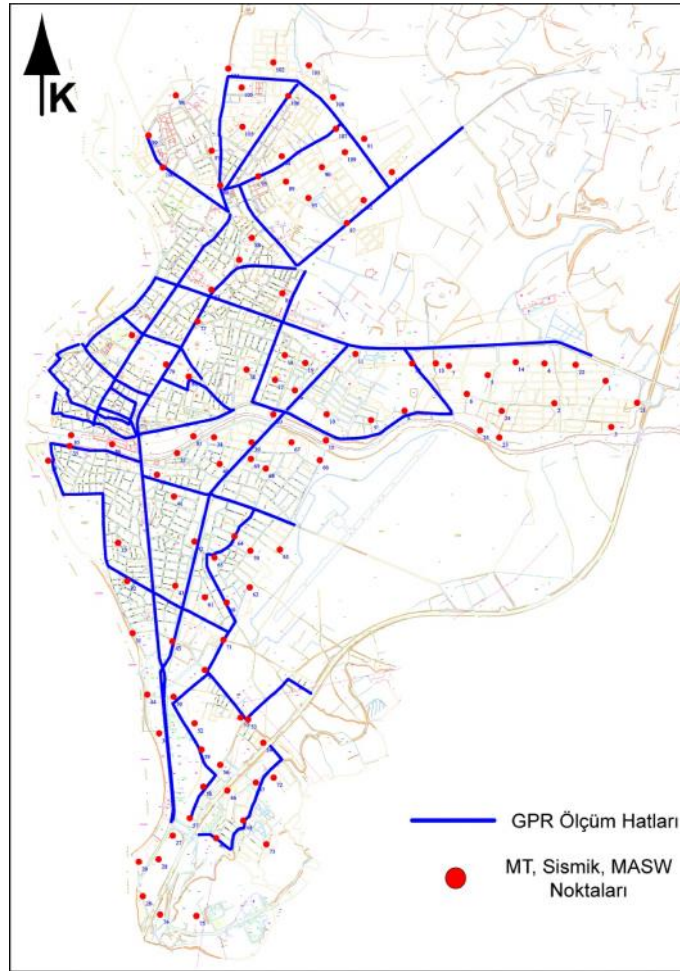
Çanakkale Türkiye'nin batı ucunda ve iki farklı kıtanın bo az ile ayrıldığı bir bölgede, yerleimin büyük bölümünün alüvyal bir yalpa üzerinde kurulu olduğu bir kenttir. Çanakkale, yerleim alanları ba ta olmak üzere yakın çevresi, aletsel ve tarihsel dönemlerde hasar yapıcı depremlere maruz kalmı depremsellik açısından da oldukça aktif bir bölgede yer almaktadır. İhrin yerleim alanlarının çok büyük kısmının alüvyon üzerinde olması yanında, Kuzey Anadolu Fay Zonu batı uzantısında güney ve kuzey kolları, Kuzeybatı Ege fay sistemleri ve Edremit Körfezi aktif fayları etkisinde olması sebebiyle de ciddi bir tektonik tehdit sarmalında olduğu görülmektedir. Bu nedenle yerli kaynaklı tehlike faktörleri etkisinde zemin tepki karakterinin de erlendirilmesinde sı jeofizik yöntemler yanında jeoteknik parametrelerden faydandırıldığı bir çalıma gerçekleştirilmiştir. Çalımalarda sismik ilk varı tomografisi, yer radarı yöntemleri ile beraber, nokta bazında çok kanallı yüzey dalgası analizi ve mikrotremor ölçümleri de zemin dinamik özelliklerinin irdelenmesinde kullanılmıştır. Çalıma genelinde yeraltı katmanları, yerin titreim özellikleri, gev ek-sıkı katman ayırtılması, taşıma gücü hesabına temel olarak Vs hız de imi de eri, yeraltı tabaka emimleri, yer esneklik parametreleri gibi bilgilere ulaılması hedeflenmiştir. Özellikle ilk 30 metreye kadar ortalama Vs kesme dalga hızı (Vs30), Y/D spektral genlik oranlarına (HVSr) ba lı zemin salınım periyodu de imi sismik mikro bölgeleme haritalarının oluşturulmasında ve zemin tanısında önemli ipuçları vermiştir. 24 Mayıs 2014 tarihinde Gökçeada'nın kuzey batısında oluşan deprem (Mw=6.8, KRDAE) ve Çanakkale imar alanlarındaki etkisi yapılan bu çalımanın ve sonuçlarının yer-yapı etkileimindeki bütünlük jeofizik çalımalarının önemini bir kez daha ortaya koymaktadır. Bu çalıma çıktıları bir sahil kenti olan, sık ve dar yerleim düzenine sahip Çanakkale'de risk bölgelerinin oluşturulmasında önemli katkılar sağlamıştır.

ANAHTAR KELİMELER : Mikrobölgeleme, Jeofizik, Geoteknik, Zemin Tehlikesi

1. GİRİŞ

Çanakkale konumu itibarıyla İstanbul'dan sonra farklı iki kıtada yerleimi olan ve Kuzey Ege ile Güney Marmara bölgesi arasından kalan Türkiye'nin nüfusu az olan illerinden birisidir (2014 yılı merkez ilçe nüfusu 156,000). Depremselli i de yüksek olan Çanakkale ve yakın çevresi aletsel ve tarihsel dönemlerde orta ve büyük depremler üreten farklı karakterdeki Tektonik unsurlarla çevrilmiştir. Kuzey Anadolu Fayı zonu kuzey kolu baskın yanal atım ve güney kolu yanal ve normal bile en karakterli fay sistemleri bölgenin aktif tektonizmasını kontrol etmektedir. Tüm bu tektonik tehlikeler altında Çanakkale merkez yerleim alanları dahil olmak üzere birçok bölgesinde zemin karakterinin belirlenmesi ve yerel zemin problemlerinin tanısında yönelik çalımalar son derece sınırlı kalmıştır. Bu çalımanın alandaki mevcut bo lu u dolduracak nitelikte olması hedeflenmiştir. Problemin tanısında farklı zemin parametrelerinin yanal ve dü ey de imleri jeofizik ve jeoteknik ölçüm, gözlem ve analiz yöntemleri ile de erlendirilmiştir. Gerek zemin odaklı problemlerin parametrik tanısında gerekse deprem tehlike de erlendirme analizlerinde önemli girdileri verebilecek sı jeofizik yöntemler ve jeoteknik ölçümler bu çalımanın temelini oluşturmuştur. Çanakkale Belediyesi ile mevcut yerleim içerisinde jeolojik, jeoteknik ve jeofizik özelliklerinin belirlenerek, yerleime deprem etkisi, yerel zemin ko ulları

açısından farklı tehlike potansiyellerine sahip alanların belirlenmesi, belirlenen sorunların analizlerinin yapılması ve elde edilen veriler ışığında imar planlarına esas teşkil edecek “Yerleşime Uygunluk Haritaları’nın hazırlanması” bu çalışmanın temelini oluşturur. Türkiye’nin çok önemli iki su yolundan bir tanesi olan Çanakkale Boğazı, boyunca yerleşim yapılmıştır. Kentin en önemli coğrafik unsurlarından birisi de Sarıçay’dır. Nehrin büyük bölümü deniz seviyesi yüksekli indeyken denizden uzaklaştıkça, iç kısımlara doğru gidildikçe yaklaşık 100 metreye kadar yerleşim olduğu görülmektedir. Sarıçay, Çanakkale Boğazı’na dik doğrultuda nehir iki bölüme ayırarak ekilde konumlanmıştır. Sarıçay’ın getirdiği alüvyonlar, nehrin zemin yapısını da yelpazelendirmektedir. Jeofizik çalışmalar kapsamında, 42 km uzunluğunda yeraltı radarı (GPR) ölçümleri, 110 noktada sismik kırılma ölçüsü, 110 noktada yüzey dalgalarının çoklu analizi (MASW) ölçüsü ve 110 noktada mikrotremor ölçüsü alınmıştır (ekil 1). Jeofizik çalışmalar kapsamında dört yöntem uygulaması yapılmıştır. GPR profilleri dışında tüm yöntemler aynı noktalarda uygulanmıştır, GPR ölçümleri ise belirlenen hatlar boyunca ölçülmüştür. Jeoteknik ölçümlerinde, zeminlerin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla açılan kuyuların derinlikleri 20–30 m aralığında olup toplam 3000 m’lik 151 adet jeoteknik amaçlı sondaj yapılmıştır. Sondajlar sırasında her noktada standart penetrasyon deneyi (SPT) ile zeminlerin penetrasyon direnci belirlenerek, örneklenen numune alınmıştır.

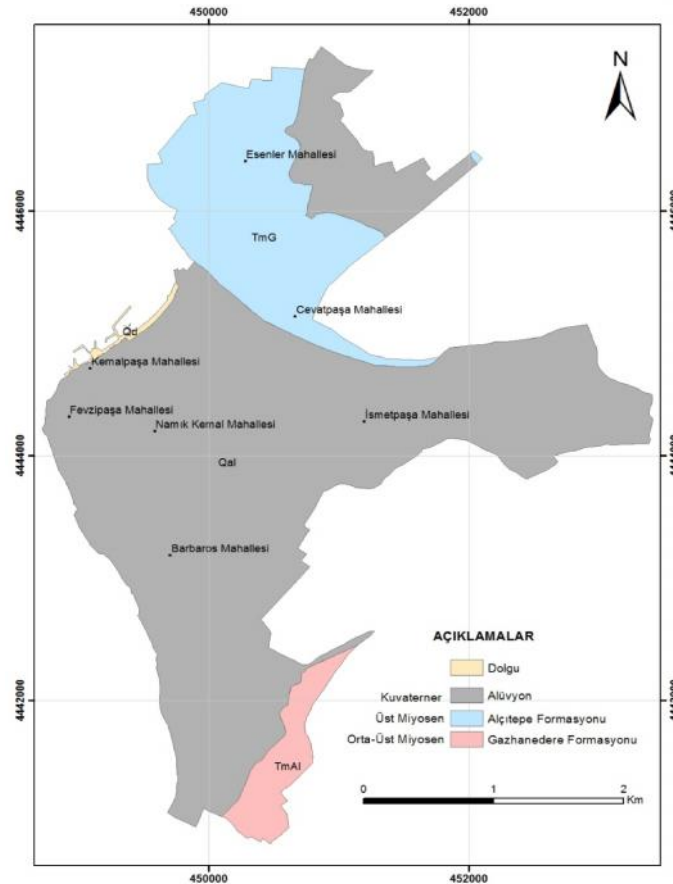


ekil 1. İnceleme alanının imar plan haritası ve yapılan jeofizik ölçülerin gösterimi (Ölçeksiz harita).

2. YEREL JEOLoj VE TEKTONİK PENCERE

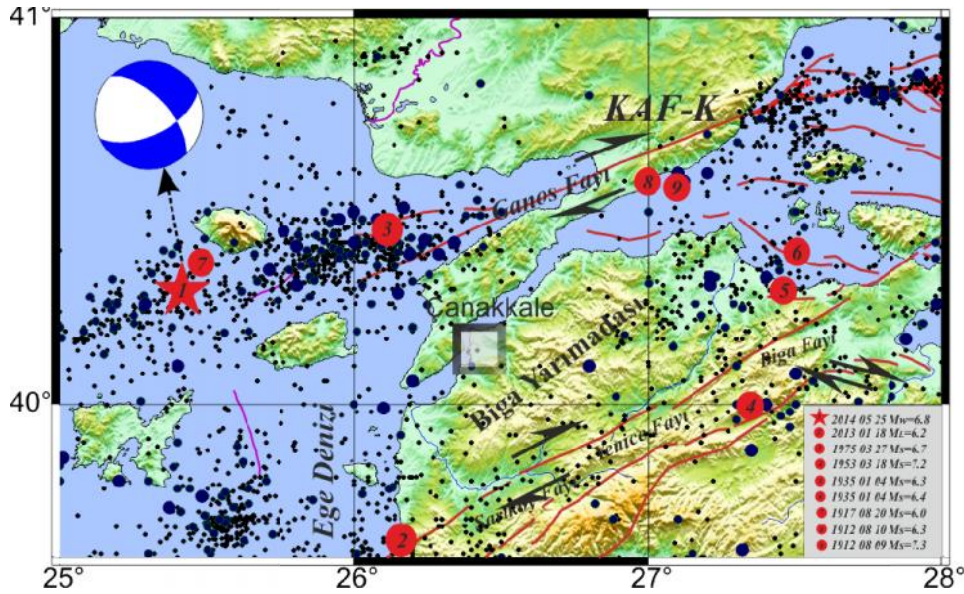
Çanakkale yerleşim birimi ve çevresinin genç jeolojik oluşumlarına bakıldığında Pliyo-Kuvaterner dönemindeki tektonik ve erozyonel hareketlerle biçimlendiği görülmektedir. Bölgede uzun yıllar jeolojik ve jeomorfolojik araştırmalar yapılmış olan Erol (1992), Çanakkale Boğazı'nın Üst Miyosen yaşlı Çanakkale havzası tortulları üzerinde, fayların denetiminde, Pliyosen-Alt Pleistosen'de gelişmiş bir akarsu vadisi olduğunu belirtmiştir. Daha sonra bu akarsu vadisi Üst Pleistosen ve Holosen'de deniz suları tarafından istila edilmiştir. Çanakkale ve çevresindeki jeolojik olayları değerlendirirken Orta Miyosen'den günümüze kadar (Neotektonik Dönem) bölgedeki jeolojik, jeomorfolojik ve iklimsel olayları birlikte değerlendirmek gerekir.

İnceleme alanının jeolojik unsurları ayrı ayrı olarak sedimanları içermektedir. Bu çökeller derinden yüzeye doğru stratigrafik olarak; Neojen yaşlı Çanakkale Formasyonu (Tç), Kuvaterner Alüvyal taraça (Qat) ve alüvyonlar (Qal) (Deniz, 2005). Çanakkale formasyonu daha az konsolide olmuş sedimanlardır. Göreceli olarak şehir yerleşim alanı kuzey ve güneyde yumuşak geçişli topografik yükseltilere sahiptir (Aktimur ve diğeri., 1993). Sondaj bilgileri ve stratigrafik kesitler incelendiğinde, Çanakkale formasyonu çoğunlukla kil, siltli, kumlu çakıllı birimlerden oluşan marn içerikli olup, ovada alüvyonun altında derinlere devam etmektedir. Alüvyon kalınlığı neredeyse 50 metreden fazla olup Çanakkale'de ovada doğru artmaktadır (Deniz, 2005). Ekil 2'de Çanakkale şehir imar alanlarını da kapsayan genel jeoloji haritası verilmiştir.



ekil 2. nceleme alanının jeoloji haritası ve stratigrafi kolon kesiti.

Çalışma alanı ve yakın çevresi Türkiye'nin kuzeybatısında olup, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) batı uzantısının etkisi altındadır. Türkiye'de Neotektonik dönem Kuzey Anadolu Fayı'nın oluşması ve Anadolu levhasının batıya doğru hareketi ile bağlantılıdır (engör ve Yılmaz, 1981). Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) batı uzantılarının oluştuğu düz ve yanıl hareketler Kuzey Batı Anadolu'da önemli yerleşim birimlerini etkileyen depremler olmaktadır. Düz hareketler özellikle Gönen-Yenice, Biga-Çan, Bayramiç-Ezine depresyonlarının oluşumunu sağlamıştır. nceleme alanı ve yakın çevresinde ise bu hareketler kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı çöküntüler olmaktadır. Marmara Denizi ve Güney Marmara bölgesinde fayların gidiş genellikle doğu-batı olmakla birlikte Biga Yarımadası içinde ve Kuzey Ege'de kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanım göstermektedir (Herece, 1990; Okay, 1990). nceleme alanı yakın çevresinde İznik-Sarıköy, Yenice-Gönen, Biga-Çan, Bayramiç-Ezine, Gülpınar-Kestanbol, Saroz-Gaziköy fayları önemli yer tutar (ekil 3). Bu ana çizgisellik yönlerinin dışında irili ufaklı birçok fay bulunmaktadır. Çanakkale Boğazı'nın oluşumunu sağlayan (veya oluşumunda etkili olan) yaklaşık kuzey-güney yönlü, yüzeyde izi gözlenmese de, fayların olduğu belirtilmektedir (Duritt, 1960; Erol, 1992).

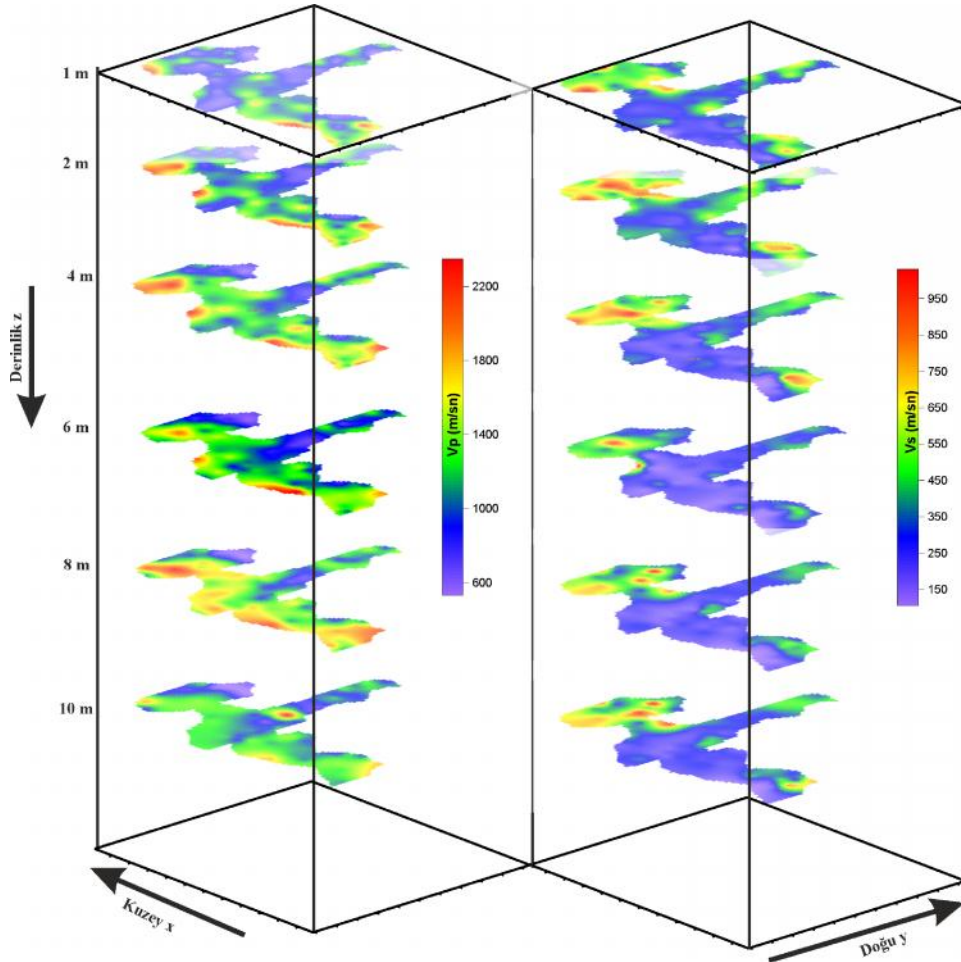


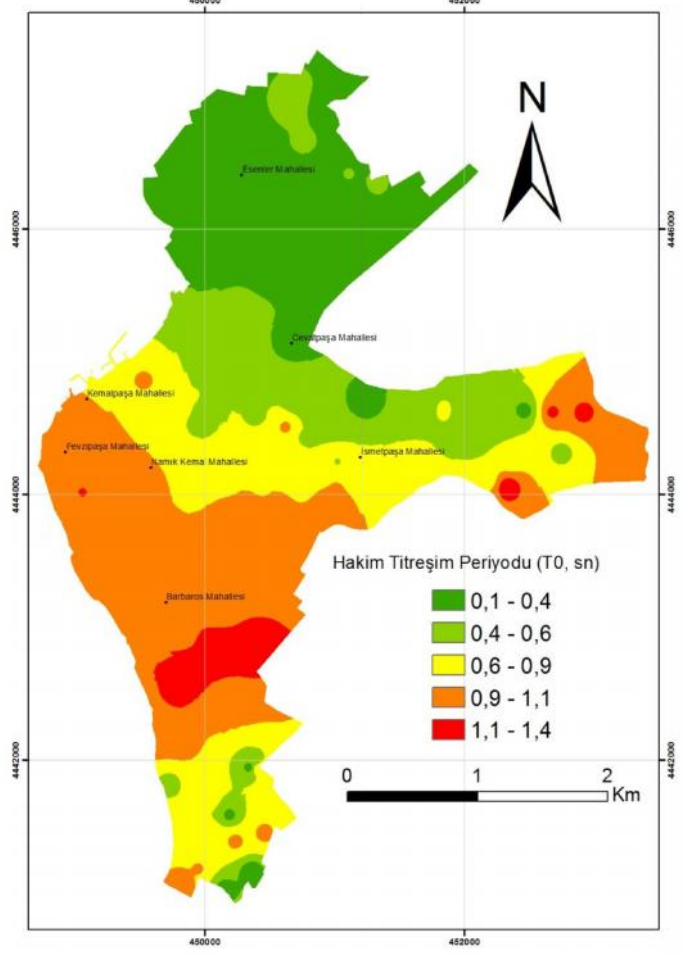
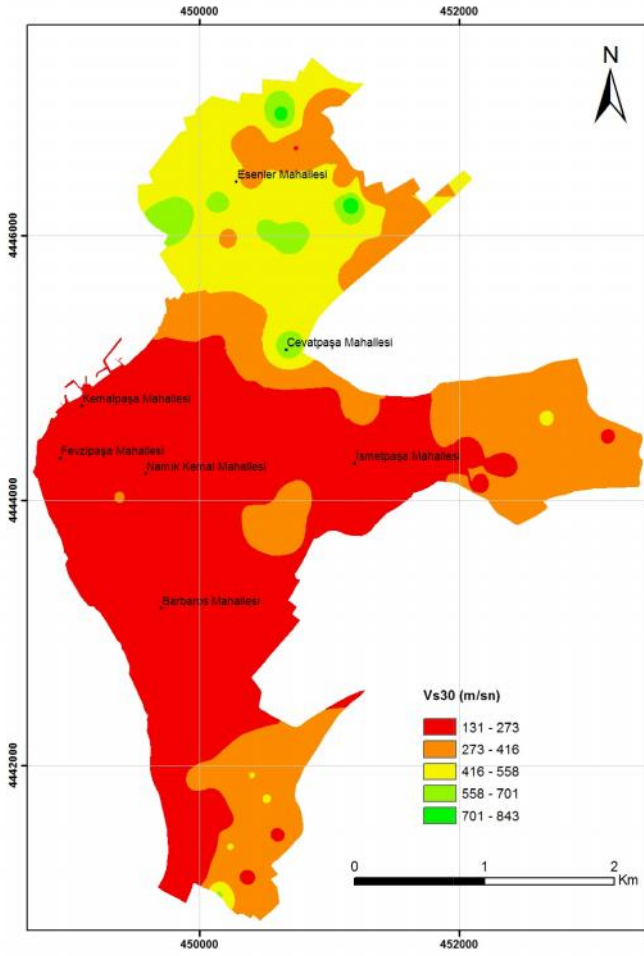
ekil 3. Kuzeybatı Ege – Biga Yarımadası basitletirilmiş tektonik unsurlar ve depremsellik (1912 – 2014). Harita sol üstünde 24 Mayıs 2014 depremi (Mw=6.8) kaynak mekanizması çözümü verilmiştir. Sağ altta ise tarihsel dönemde meydana gelen büyük depremler listelenmiştir (KRDAE).

ncelene alanı içinde, yüzeyde çizgiselliği belirgin olarak gözlenen, bir fay bulunmamaktadır. Ancak yukarıda ifade edildiği gibi inceleme alanının yakın çevresinde yer alan aktif fayların üreteceği depremlerden inceleme alanı ciddi bir şekilde etkilenecektir. Çanakkale ve yakın çevresi aktif tektonizma etkisi altında gerek tarihsel gerekse gelecekte deprem tehlikesi altında kalması risk faktörlerini de barındıran bir bölgedir. Son olarak da 24 Mayıs 2014 (Mw=6.8, KDAE*) depremi bu tektonizmanın sonucu olarak yaklaşık 85 km güneybatıda Çanakkale'de orta dereceli yapısal hasara neden olmuştur. Bu depreme ait kaynak mekanizması çözümünde esas düzleme doğrultusu, eğim ve dalım açıları sırası ile 65°, 59° ve -146° hesaplanmıştır (ekil 3)

3. YÖNTEM VE ÇIKTILAR

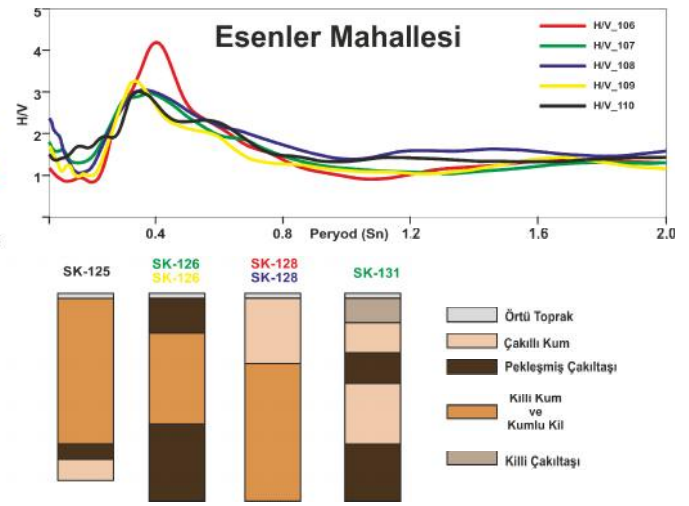
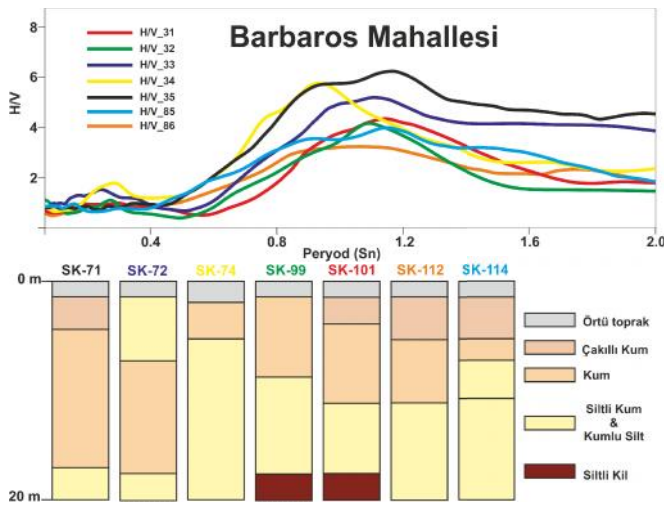
Çalışma alanında uygulanan yöntemler : Tahribatsız jeofizik yöntemler; sismik kırılma – elastik parametrelerin hesaplanması ve hız derinliklerinin görüntülenmesinde ilk varı tomografi de erlendirmesi (ekil 4) - , çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW) ölçümleri – Vs30 ve makaslama hızının derinliğe bağılı derinliği, zemin karakteristik spektrumlarının zemin sınıflandırılmasına yönelik (NEHRP) mikrotremor ölçümleri (ekil 5), elektriksel iletkenlik derinliğine bağılı olarak serbest yüzeye yakın sını yapıların risk de erlendirmesinde GPR ölçümlerinin çıktıları kullanılmıdır. Jeofizik yöntemlerin yanında zemine yönelik tanının daha güvenilir bir şekilde de erlendirilmesinde sını sondajlar tamamlayıcı çalışmaları niteliindedir. Bu amaçla jeolojik unsurların yapısına bağılı olarak zemin tepkilerinin dekarı tırılması yapılmıdır (ekil 6). Çanakkale yerleşim alanında bulunan zeminlerin mühendislik özelliklerini, yanal ve dikey derinliklerini, yeraltı suyu durumunu ve jeoteknik parametrelerini belirlemek amacıyla 151 adet sondaj çalışması yapılmıdır. Sondajların derinlikleri 20-30 m arasında derinlikte olup toplamda 3000 m sondaj açılmıdır. Sondaj çalışmaları sırasında, zemin koşullarının uygun olduğu bölümlerde her 1.5 metrede bir Standart Penetrasyon Testi (SPT) yapılmıdır. SPT’den alınan örselenmiş numuneler üzerinde zemin sınıflandırma deneyleri yapılmıdır. Uygun zemin koşullarında hidrolik baskı ile örselenmemiş zemin numuneleri alınarak zeminlerin fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir.





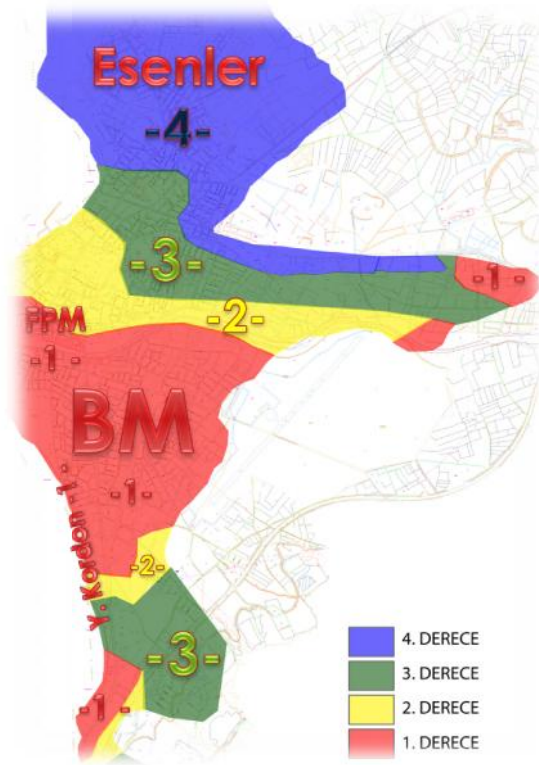
ekil 4. P ve S-dalga hızlarının dü ey ve yanal yönde de i mlerini gösteren kat haritaları.

ekil 5. Çanakkale merkez ilçe yerle im alanı Vs30 (sa da) ve baskın titre im periyodu (solda) de i mleri.



ekil 6. Barbaros (solda) ve Esenler Mahallesi (sa da) spektral genlik oranları (Nakamura, 1989) ve statigrafik kayıtlarla karşılaştırılması.

Geleneksel jeofizik ölçümlerin yanında yüksek frekans yer radarı ölçümleri ile de içerdiği sıvı ve boşluk miktarı ile gevrek malzemelerin yol açtığı ve durağan (statik) durumdaki zeminin taşıdığı risk oranları tanımlanmıştır. Genel olarak jeolojik birimlerin ve ortamların iletkenliği ile de ilgili en genlik değerleri ile oluşturulan bu haritalar farklı derinlikler için oluşturulmuştur. Risk oranlarının Çanakkale şehir yerleşim alanı imar sınırları dahilinde dağılımı ekil 7’de verilmiştir.



ekil 7. GPR sonuçlarına göre Çanakkale şehir yerleşim alanı dahilinde riskli zemin alanları. BM: Barbaros Mahallesi, FPM: Fevzi Paşa Mahallesi, Y: yeni.

Çanakkale zemine yönelik 4 ayrı risk bölgesi ile tanımlanmıştır. Buna göre Barbaros ve Fevzi Paşa Mahalleleri, Yeni Kordon civarı, şehir mezarlığı bazı kesimleri en yüksek risk taşıyan, nüfusun yer yer yoğun olduğu bölgelerdir (ekil 7).

4. SONUÇLAR

Sismik Ölçümlere göre: P-dalgası hızlarının 400-2200 m/s arasında derinliğe bağlı değişimi modellenmiştir. 400-600 m/s gibi çok düşük hızlar örtü/nebati örtü olarak adlandırılan ilk 1-1.5 metreyi temsil eden hızlardır. Hız ayrışması ya da anomali farklılıkları genel olarak ilk 4 metrede ani bir değişim göstermemekte ve yerel jeoloji ile uyum içindedir. 4 metre ortalama derinliklerden sonra jeolojik geçişleri hız ayrışmasıyla beraberinde

getirmektedir. S-kayma dalga hızları elde edilmi ve derinlikle de iimleri belirlenmi tir. Çanakkale merkez yerle im alanı ve potansiyel imar alanları yerel zemin ko ulları incelendi inde, kayma dalgası hızı 80-1000 m/s arasında de i mektedir. Bu durum bölgede farklı zemin büyütmelerinin olu abilece ine i aret etmektedir. Buna göre ilk 10 metre dü ük hız de erleri görülmekte olup, kayma dalga hızı de erlerinde derinlik artı ı ile ciddi bir yükselme görülmemi tir. Bunun en büyük nedeni olarak da yeraltı suyunun varlı ı ve sıvıla ma riskinin yüksekli idir.

Yer Radarı Ölçümlerine göre: Genel olarak jeolojik birimlerin ve ortamların iletkenli i ile de i en genlik de erleri ile olu turulan bu haritalar, 4 farklı derinlik için (1 m, 3 m, 5 m ve 10 m) tanımlanmı tir. Ba ta ehrin delta çevresinde yeraltı su seviyesinin de yüzeye yakın olması nedeniyle yüksek iletkenlik risk olarak de erlendirilmi tir.

Sondajlara göre: nceleme alanında açılan toplam 151 adet jeoteknik sondajda yeraltı su seviyeleri 0,65 m ile 17 m arasında de i kenlik göstermekle birlikte alüvyon birimde açılmı olan kuyulardaki yeraltı su seviyesi ortalama 2,5 m olarak belirlenmi tir.

Peryoda göre: Hakim titre im periyod aralı ı, 0.15 s ile 1.25 s arasında de i mektedir. Kuzey kesimlerde periyod de erlerinin 0.15-0.2 s gibi çok dü ük de erler almaktadır. Zemin hakim titre im periyodlarının haritalanması sonucu zemin sınıflamasına yönelik sınıflama yapmak mümkün olmu tur. Yerle imin ve yapıla manın yo un oldu u a ırlıklı olarak Barbaros Mahallesi, Troya Caddesi, Sanayi ve yakın çevresi, Sarıçay yakın çevresi, kinci Kordon yüksek hakim titre im periyodlu, dayanımı dü ük zeminleri göstermektedir. Bu alanlar, 2007 Deprem yönetmeli ine göre Z4 zemin sınıflaması dahilinde de erlendirebilecek kalın alüvyon, gev ek zemin sınıfına sahip alanlardır.

Zemin Türüne Göre: nceleme alanının merkezi, do usu ve güneyini kapsayan Kuvaterner ya lı alüvyal akarsu çökellerinde (Qal) yapılan sondaj çalı malarında genel olarak C2 (orta sıkı kum, çakıl...) ile 6 sondaj lokasyonunda D3 (yumu ak kil, siltli kil...), 4 sondaj lokasyonunda D2 (gev ek kum...) ve 1 sondaj lokasyonunda da Çanakkale içinden geçen Sarı Çay'ın menderes yaptı ı kısımda olması nedeniyle B2 (sıkı kum, çakıl...) zemin grubu ve genel olarak Z3 yerel zemin sınıfı içinde oldu u belirlenmi tir.

nceleme alanı için yapılan sıvıla ma potansiyeli analiz ve de erlendirme sonuçları en büyük moment deprem büyüklü ü (M_w) 7,5 ve en büyük yer ivmesi (a_{max}) 0,319 g ve en büyük moment deprem büyüklü ü (M_w) 7,0 ve en büyük yer ivmesi (a_{max}) 0,222 g için ayrı ayrı yapılmı tir. nceleme alanının en büyük moment deprem büyüklü ü (M_w) 7,5 için inceleme alanının kuzeyinde yer alan Alçitepe ile güneyde yer alan Gazhanedere formasyonları dı nda kalan tüm alüvyon birimlerde sıvıla ma iddeti indeksi (L_s) genel olarak "çok yüksek" ve "yüksek" olarak belirlenmi tir. En büyük moment deprem büyüklü ü (M_w) 7,0 için ise alüvyon birimlerde sıvıla ma iddeti indeksi (L_s) genel olarak "yüksek" ve "orta" olarak belirlenmi tir.

Zemin Dinamik Parametrelerine göre: Çanakkale zemin yapısı, dü ey eksenli gerilmelere dayanımlı, ancak yanal yönlü gerilmeler konusunda son derece zayıf dayanım göstermektedir. Bu durum kayma gerilmesi, Poisson oranı ve V_p/V_s hız oranlarından kolaylıkla ayırt edilebilmektedir.

Jeoteknik Sonuçlara göre: Konsolidasyon analizi yapılan lokasyonlarda ön konsolidasyon basıncı 71 kPa ile 120 kPa arasında de i mektedir. Killi birimlerin genel olarak a ırı konsolide kil grubuna girdi i görülmü tür. A ırı konsolide killer katı killer olup genellikle oturma problemi ya anmamakla birlikte üzerlerine gelecek temel yüklerin ön konsolidasyon basıncını geçmemesi gerekmektedir.

TE EKKÜR

Bu çalı maya gerek ölçümler gerekse de erlendirme a masında katkısı olan Aydın Büyüksaraç, Cahit Ça lar Yalçiner, Alper Demirci, Yunus Levent Ekinci, ve 2012-2013 Dönemi ÇOMÜ Jeofizik Mühendisli i Bölümü lisans ö rencilerine emekleri ve gayretleri için te ekkür ederim. Bu çalı ma Çanakkale Belediye Ba kanlı ı ile Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Rektörlü ü'nün 15.03.2012 tarihinde imzaladıkları protokol çerçevesinde gerçekleştirilen çalı maların ürünüdür.

KAYNAKLAR

- Aktimur, H.T., Uysal, S., Tamgaç, Ö.F., Aktimur, S., Sarıaslan, M., Emre, Ö., Yıldırım, N., Potolu, S., (1993). Land use potential in the province Çanakkale. General Directorate of Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA) Report, Ankara, 159p.
- Deniz, O., (2005). Çanakkale Yerleşim Alanının Yeraltısuyu Kalitesinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniv. Fen Bil. Enst. Çanakkale .
- Druitt, C.E., 1960. Report on the petroleum prospects of Thrace, Turkey, Turkish Gulf Oil Co.,TPAO Arama Grubu Arama, yayınlanmamış teknik rapor, 1427.
- Erol O., (1992) . Çanakkale Yöresinin Jeomorfolojik ve Neotektonik Evrimi. TPJD Bülteni, 4(1): 147-165.
- Herece, E., (1990). 1953 Yenice-Gönen deprem kırığı ve Kuzey Anadolu Fay sisteminin Biga yarımadasındaki uzantıları, MTA. Derg., No:111, s:47-59, Ankara.
- *KRDAE, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
- Nakamura, Y., (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, Quarterly Report of RTRI, Tokyo, 30, 25-33.
- Okay, I.A, Siyako, M., Bürkan, K.A., (1990) . Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Tektonik evrimi, Türkiye Petrol Jeologları Derneği (in Turkish with English abstract) 2 (1), 83-121.
- Engör, A.M.C., and Yılmaz, Y., (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach: Tectonophysics, v. 75, p. 181-241.