

MARMARAY TÜP GEÇİDİ : 24 MAYIS 2014 KUZEY EGE DEPREM GÖZLEMLERİ

S.Ü. Dikmen¹, A. Edinçliler¹ ve A. Pınar²

¹ Doçent, Deprem Müh. Bölümü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul

² Profesör, Deprem Müh. Bölümü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul Büyükşehir

Email: u.dikmen@boun.edu.tr

ÖZET:

Hem farklı davranışların tesbiti, hem zaman içerisinde muhtelif nedenlerle oluşabilecek davranış farklılıklarının gözlenmesi, hem de deprem esnasında tedbir amaçlı olarak kritik bazı sistemlerin devredışı bırakılması için bilhassa kritik öneme sahip yapılar sürekli şekilde ve çoğunlukla gerçek zamanlı olarak kayıt cihazları ile sürekli izlenmektedir. Bu bağlamda, Türkiye'nin hatta dünyanın önemli projelerinden biri olan Marmaray tüp geçidi projesinde de kapsamlı bir sismik takip sistemi mevcuttur. Deprem yandan, 24 Mayıs 2014'te merkezi Gökçeada açıklarında $M_w=6.9$ Kuzey Ege Depremi meydana gelmiştir. Deprem 300 km uzakta olan İstanbul'da da hissedilmiştir. Bu çalışmada Marmaray sismik takip sistemi tanıtılacak ve Mayıs 2014 Kuzey Ege Depremi esnasında alınan kayıtlarla bir değerlendirilmesi yapılacaktır.

ANAHTAR KELİMELER: Marmaray tüp geçidi, Kuzey Ege Depremi, Sismik takip.

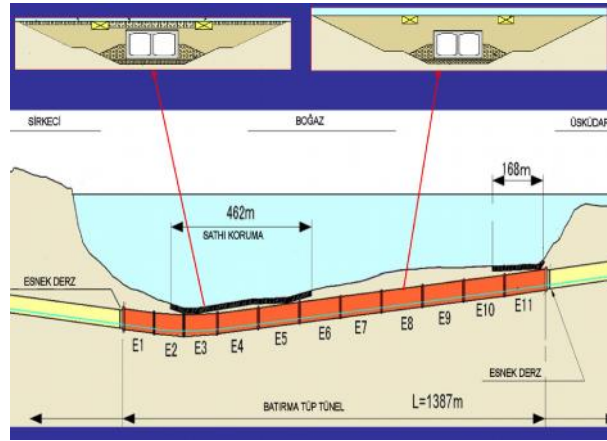
1. GİRİŞ

Newmark ve Rosenbluth, "Deprem Mühendisliği" (1971) başlıklı kitaplarının giriş kısmında "*Earthquakes systematically bring out the mistakes made in design and construction, even the minutest mistakes; it is this aspect of earthquake engineering that makes it an educational value far beyond its immediate objectives. If a civil engineer is to acquire fruitful experience in a brief span of time, expose him to the concepts of earthquake engineering, no matter if he is later not to work in earthquake country.*" diye yazmışlardır. Bu birkaç cümle deprem mühendisliğinin ne denli önemli ve bir o kadar da karmaşıklık içerdiğini özetle net bir şekilde ortaya koymaktadır. Hiç şüphesiz ki, deprem mühendisliğinin temel hedefi her zaman depremlerde oluşan can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi, hatta bertaraf edilmesi olmuştur. Bu amaçla bir taraftan depremlerin oluşum mekanizmaları, yarattıkları kuvvet ve enerji seviyeleri araştırılırken diğer yandan yapısal sistemlerin bu kuvvet ve enerjiye nasıl karşı koyacakları yönünde araştırmalar devam etmektedir. Ne var ki, Newmark ve Rosenbluth'un ortaya koyduğu gibi tasarım ve/veya uygulamada hatalar oluşabilen ve deprem esnasında su yüzüne çıkabilmektedir. Bu bağlamda bazı mühendislik kabulleri ile hazırlanan tasarımlar ile inşa edilen yapılar gerçek hayatta bazen bütüncül bazen kısmen farklı davranışlar sergileyebilmektedir. Hem farklı davranışların tesbiti, hem zaman içerisinde muhtelif nedenlerle oluşabilecek davranış farklılıklarının gözlenmesi, hem de deprem esnasında tedbir amaçlı olarak kritik bazı sistemlerin devredışı bırakılması için yapılar, bilhassa kritik öneme haiz yapılar sürekli şekilde ve çoğunlukla gerçek zamanlı olarak kayıt cihazları ile sürekli izlenmektedir. İstanbul'da da bu amaçla kurulmuş olan yapısal sismik izleme, acil müdahale ve erken uyarı sistemleri mevcuttur.

Bu çalışmanın amacı, yakın geçmişte inşa edilen ve kısmen tamamlanarak işletmeye alınmış olan Marmaray projesinde bulunan acil müdahale ve erken uyarı sistemini detaylı olarak tanıtmak ve bu sistemlerden bugüne dek elde edilmiş veriler hakkında bir değerlendirme yapmaktır. Bu bağlamda; öncelikle İstanbul'daki acil müdahale ve erken uyarı sistemleri hakkında bilgi verilecek, akabinde Marmaray'da kurulan izleme sistemi sunulacaktır. Ardından da 24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Depremi (KED) sırasında Marmaray'da elde edilen verilerin özet bir değerlendirmesi yapılacaktır.

2. MARMARAY TÛP GEÇİDİ

İstanbul'un Anadolu ve Avrupa yakasında kesintisiz demiryolu ulaşımını sağlayan Marmaray Projesi kapsamında, Boğazın altında yaklaşık 1.4 km uzunluğunda batırma tüneli, batırma tüneli yüzeydeki hatlara bağlayan delme tüneller (TBM & NATM), ve 3 yeraltı istasyonu bulunmaktadır. Yerleşim planı ekil 1'de verilen en derin noktası yaklaşık 58 m. olan batırma tüneli, dünyada bugüne kadar bu teknikle inşa edilmiş en derin tüneldir.



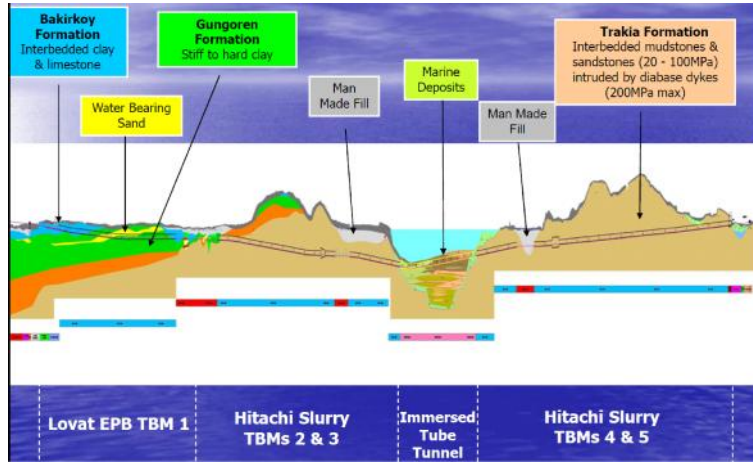
ekil 1. Batırma Tüneli'nin yerleşim planı

Marmaray batırma tûb tûnelinin (MBT) yaklaşık 1400m'lik kısmı Boğazın doğu kıyısı Üsküdar ile Batı kıyısı Sirkeci arasında inşa edilmiştir (ekil 1). Batırma tûneli 11 adet beton precast kutu kesitli elemandan (sekiz 135 m., iki 98.5 m. ve bir 110 m.) oluşmaktadır. Kutu kesitler, 15.30 m. genişliğinde ve 8.75 m. yüksekliğindedir. Topografya ve jeoloji gibi teknik nedenlerden dolayı, MBT düz ve yatay düzlemlerde eğrilik göstermektedir. En derin noktasının, deniz seviyesinden yaklaşık 60 m. aşağıda olması, MBT'yi en derin batırma tûneli inşası yapmaktadır. ekil 1'de, batırma tûneli elemanları, E1-E11 ile gösterilmektedir.

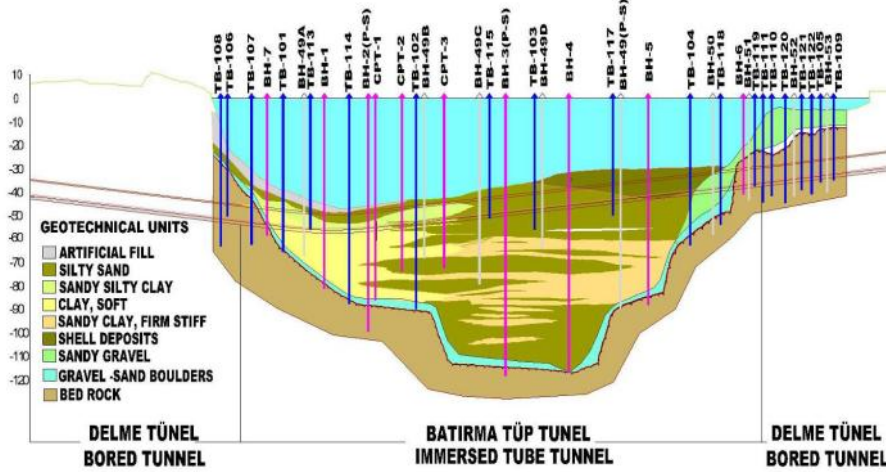
3. ZEMİN YAPISI VE ZEMİN YERLEŞİM ÇALIŞMALARI

Deprem kuvvetleri gömülü yapılarda zemin deformasyonları, sismik yanal toprak basıncı, sıvılaşma baskı kaldırma kuvveti, yamaç stabilitesizliğinden kalıcı yer deplasmanları, dalga yayılımından dinamik birim yerdeğiştirmelerin neden olduğu dinamik yerdeğiştirmeleri veya yanal yayılma hareketine neden olabilir. Tüneldeki sismik etkiler; fay yırtılması, heyelan, zemin sıvılaşması, zemin büyütmesi ve zemin davranış etkileri olmaktadır. Bu nedenle, bölgedeki zemin şartlarının iyi bilinmesi ve gerekli görüldüğünde zeminin iyileştirilmesi önemlidir. Diğer yandan ise yapılan bu iyileştirmelerin performansının takibi ileride benzer problemlerin çözümüne çok kıymetli bilgiler aktaracaktır.

Batırma tûneli inşa edildiği bölgenin jeolojik ve geoteknik çalışmalarından oldukça karmaşık formasyonlar belirlenmiştir. Zemin özelliklerini belirleyebilmek için, dizayn ve yapıma çalışmalarında denizde ve karada oldukça fazla sayıda inceleme yapılmıştır. Denizde ve karada gerçekleştirilen zemin araştırmalarının amacı, proje güzergahı üzerindeki zemin/kaya sınıflarının ve davranışlarının tespit edilmesi, projenin inşaat süresince kararlaştırılması yüksek Marmara Depremi'nde zeminlerin davranışlarının ve olası sıvılaşma zonlarının belirlenmesidir. Boğaz geçişinin jeolojisi ekil 2'de batırma tûneli güzergahının zemin profili ise ekil 3'te verilmektedir. ekilden de görüldüğü gibi, deniz yatağı çoğunlukla farklı özelliklerdeki kum (S) ve kumlu kil (CH) tortul tabakalarından oluşmaktadır. Tortul tabakaların kalınlığı, enkesitin merkezinde ve orta kısmında 80 m.'ye ulaşmaktadır (Simsek vd., 2005; Karakitsios, 2008).

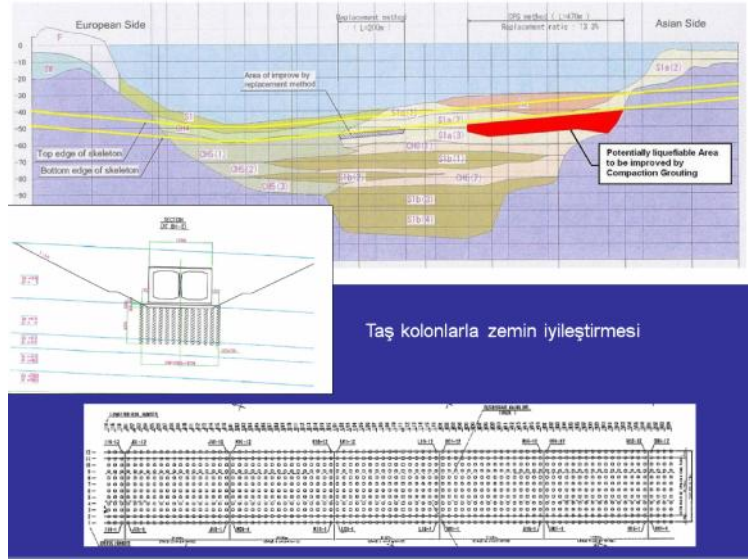


ekil 2. Batırma Tünelinin jeolojisi



ekil 3. Batırma Tünel güzergahı zemin kesiti

Tünel tamamlandıktan sonra sıvılabilen bölümler kontrollü olarak tasarlanarak sıvılabilecek malzemesi ile doldurulmuştur (Öztürk, 2011). Tünel altındaki sıvılabilen zemin tabakalarında ise 'Compaction Grouting' (4 m'den derin tabakalarda) ve yerden iyileştirme yöntemiyle (4 m.'den ince tabakalarda) zemin iyileştirilmesi uygulanmasına karar verilmiştir. Hattın Üsküdar'a yakın bölümünde uzunluğu 470 m, derinliği 4~10 m arasında değişen bir zemin tabakasında sıvılabilecek malzemesi potansiyeli görülmüştür ve bu zemin tabakasında 'Compaction Grouting' (CPG) yöntemiyle zemin iyileştirilmesi yapılmıştır. Yerden iyileştirme oranı %13.3'tür. Taahhüt kolonlarla zemin iyileştirilmesi ekil 4'te verilmektedir.



ekil 4. Ta kolonlarla zemin iyileştirilmesi

4. STANBUL ACİL MÜDAHALE VE ERKEN UYARI SİSTEMİ

Boğaziçi Üniversitesi tarafından 1998 yılında (1999 Kocaeli depreminden önce) yapılan İstanbul Deprem Acil Müdahale ve Erken Uyarı sistemi kurulması girişimleri, 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinden sonra, Bakanlar Kurulu'nun 5/4/2001 tarih ve 2001/2232 sayılı kararı ile gerçekleştirilmiştir.

Boğaziçi Üniversitesi-Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) tarafından 10 Mayıs 2001 tarihinde kurulan çalışanları başlatılan "İstanbul Deprem Erken Uyarı ve Acil Müdahale" projesi, İstanbul Valiliği, Birinci Ordu Komutanlığı ve İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı'nın lojistik katkıları ile yürütülmektedir. Projenin tüm tasarımı ve teknik şartnameleri KRDAE - Deprem Mühendisliği Ana Bilim Dalı tarafından hazırlanmıştır.

4.1. İstanbul Deprem Erken Uyarı Sistemi

Aralık 2012 tarihine kadar çalışan bu sistem, İstanbul Valiliği ve Sentez Yer ve Yapı Mühendisliği Ltd. Şti'nin katkıları ile acil müdahale ve erken uyarı sistemi CMG-5TCDE olarak geliştirilmiştir. Sisteme 20 adet yeni cihaz eklenerek toplam, 120 adet acil müdahale ve 10 adet erken uyarı istasyonu yeniden kurulmuştur.

Veri iletiminde fiber kablolar kullanılarak veri iletim hızı 2 - 4 milisaniye düzeyine çekilmiştir. Ayrıca, Marmara denizi tabanına yerleştirilen 5 adet OBS (Ocean Bottom Seismograph) sistemi de deprem erken uyarı ağına dahil edilerek toplam istasyon sayısı 15'e çıkarılmıştır (ekil 5). Bu sismik ağın başlıca kuruluş amacı, İstanbul'da olabilecek hasar yapıcı bir deprem sonrasında olası kayıpların azaltılması ve acil müdahale ile kurtarma ekiplerine yardımcı olacak Hızlı Kayıp Haritalarını üretmektir (<http://www.ew-istanbul.com/Icerik.aspx>). Kuvvetli yer hareketi deprem şebekesinden gelen veriyi ELER programı kullanarak, hasar yapıcı bir deprem sonrasında hızlı sarsıntı haritalarını ve hasar dağılım haritalarını oluşturmaktadır. Deprem istasyonlarından KRDAE'deki ana veri merkezine GSM yoluyla veya fiber optik kablo ile aktarılan veriler, ana merkezde otomatik olarak değerlendirilmektedir. Sistem tarafından sürekli olarak 10 saniyelik (ayarlanabilir) zaman penceresi içinde en az 3 istasyon tarafından elektrik seviyelerinin alınması (kabul) alınmadıkça kontrol edilmektedir. Seviye değişiminin ardından kabullerin sağlanmasıyla deprem kararı verilir ve yazılım tarafından otomatik olarak alarm mesajı üretilir. Depremin tetiklenmesinde en büyük ivme değeri (PGA) veya Kümülatif Mutlak Hız (CAV) elektrik seviyelerinden faydalanılır. Mevcut sistem ivme elektrik seviyesine göre çalıştırılmaktadır. Hasar yaratabilecek bir depremle ilgili uyarı sinyali, deprem kaynak parametrelerine ve etkilenecek konumun koordinatlarına bağlı olarak saniyeler öncesinde verilebilecektir (Erdik ve diğ., 2003). Bir deprem olduğunda yer hareketi dağılım haritası (sarsıntı haritası) ve hasar dağılım haritası otomatik olarak

oluşturulmakta ve İstanbul Valiliği-Deprem Araştırma Enstitüsü'ne, İstanbul Büyükşehir Belediyesi-Afet Koordinasyon Merkezi'ne ve Birinci Ordu Komutanlığı'na gönderilmektedir.



Şekil 5. İstanbul Deprem Erken Uyarı Sismik Ağı'nda yer alan kuvvetli yer hareketi sismograflarının dağılımı (Turuncu renkli sembol: kara istasyonları; mavi renkli sembol: OBS sistemleri)

4.2. Marmaray Deprem Erken Uyarı Sistemi

KRDAE Deprem Erken Uyarı sismik ağı tarafından üretilen deprem erken uyarı sinyali Marmaray Tüneli Geçit Sistemi Kontrol Ünitesine gönderilmektedir. Marmaray tünelinin Boğaz'ın altında yer alan kısmına yerleştirilen 26 adet kuvvetli yer hareketi sismik gözlem istasyonları (Şekil 6) deprem erken uyarı amacıyla çalıştırılmaktadır. Bu şekilde, deprem erken uyarı amacı güden iki farklı sismik ağ kullanılmaktadır; bunlardan biri **lokal sismik ağ (LSA)** olarak adlandırılan ve Tünel içerisinde çalıştırılan 26 adet sismik istasyon, diğersinde **bölgesel sismik ağ (BSA)** olarak adlandırılan ve KRDAE tarafından çalıştırılan karada 10 adet ve denizde 5 adet olmak üzere toplam 15 sismik istasyondan oluşmaktadır. BSA ve LSA tarafından üretilen deprem erken uyarı sinyalleri yanlış alarm verilmesinin önüne geçmek amacıyla üretilen sinyaller karıştırılmaktadır. Eki-seviye prensibiyle çalıştırılan her iki sistemde yer hareketi belli bir ekin seviyesini aşmış durumlarda deprem erken uyarı sinyali üretilerek alarm verilmektedir. Alarm verilmesinin amacı, tünele yaklaşan trenlerin durdurularak tünele girişin önlenmesi, tunnelde olan trenin yavaşlatılarak bir sonraki istasyonda durdurulması, tünelin kara ve deniz kısmında olan kapakların kapatılarak tünelin kara ve deniz kısımlarının birbirinden tecrit edilmesi gibi önlemlerin alınmasıdır.



Şekil 6. a) Marmaray Tüneli geçit sisteminin görüntüsü, b) tünel içinde kurulan ve 26 adet kuvvetli yer hareketi kayıtçısından oluşan lokal sismik ağın sarı üçgenler ile gösterimi, c) Avrupa-Asya ve Asya-Avrupa yönünde ilerleyen farklı iki trenin tüpten geçi esnasında kaydedilen dalga şekilleri

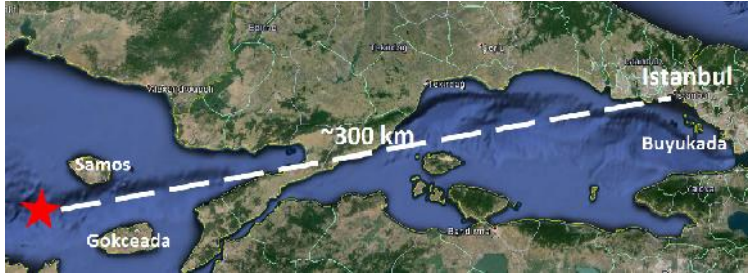
5. KUZEY EGE DEPREMİ (24.05.2014, $M_w=6.9$)

24 Mayıs 2014 tarihinde Ege Denizi'nde Gökçeada açıklarında yerel saat ile 12.25'de yerel büyüklüğü $M_L=6.5$ olan çok şiddetli bir deprem meydana gelmiştir. Depremin merkezi, Kuzey Anadolu Fayı'nın sonunda, Gökçeada açıklarında 20 km derindedir (Şekil 7) (Erdik vd., 2014; USGS, 2015). Depremin merkezinin önemli kentsel yerleşimlerden uzak olması nedeniyle, oldukça az hasar oluşmuştur. Depremin merkezi İstanbul'dan

3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 14-16 Ekim 2015 – DEÜ – ZMR

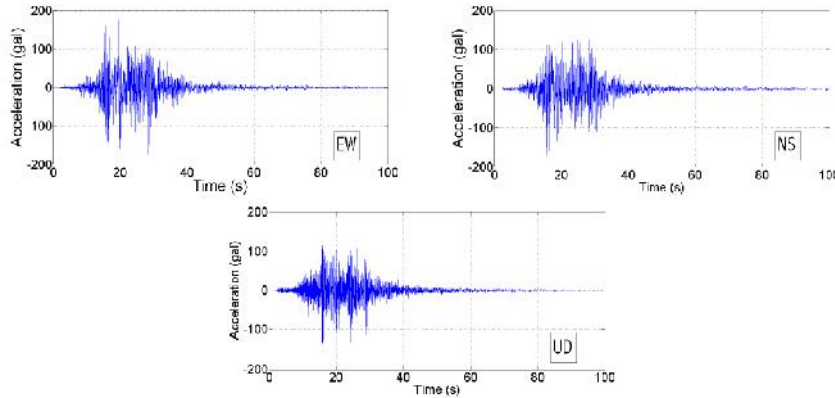


takriben 300 km uzaklıktadır (ekil 7). Wells ve Coppersmith'in (1994) moment büyüklüğü ile kırılan fay uzunluğu arasındaki ilişkiyi tanımlayan bağıntısı kullanılarak $[\text{Log}(L)=(M_w-5.16\pm 0.13)/1.12\pm 0.08]$, doğrultumlu faylarda bu büyüklükteki bir depremde beklenen faylanma uzunluğu 30-60 km arasında tahmin edilmektedir. Depremin odak derinliği 10 km civarında olup olağan kabuk içi bir deprem sınıfındadır. KED2014 depreminin en önemli özelliği, doğu Marmara bölgesindeki istasyonlarda uzun periodlu sismik dalgaların kaydedilmesidir.



ekil 7. 2014 KED'nin merkezi ve İstanbul'a uzaklığı.

Gökçeada'ya en yakın kayıt istasyonu (stasyon No.1711), T.C. Bakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından işletilmektedir. İstasyon koordinatları 40.191N-25.908E olarak verilmektedir (AFAD 2015). AFAD tarafından depremin merkez koordinatları ise 40.211N-25.407E'dir. Bu durumda, kayıt istasyonu ve depremin merkezi arasındaki uzaklık yaklaşık 50 km'dir. AFAD tarafından en yüksek ivme değerleri, 0.177g (EW), 0.171g (NS) ve 0.131g (UD) olarak rapor edilmiştir (ekil 8). Deprem kaydının süresi yaklaşık 90 dakikadır (AFAD, 2015).



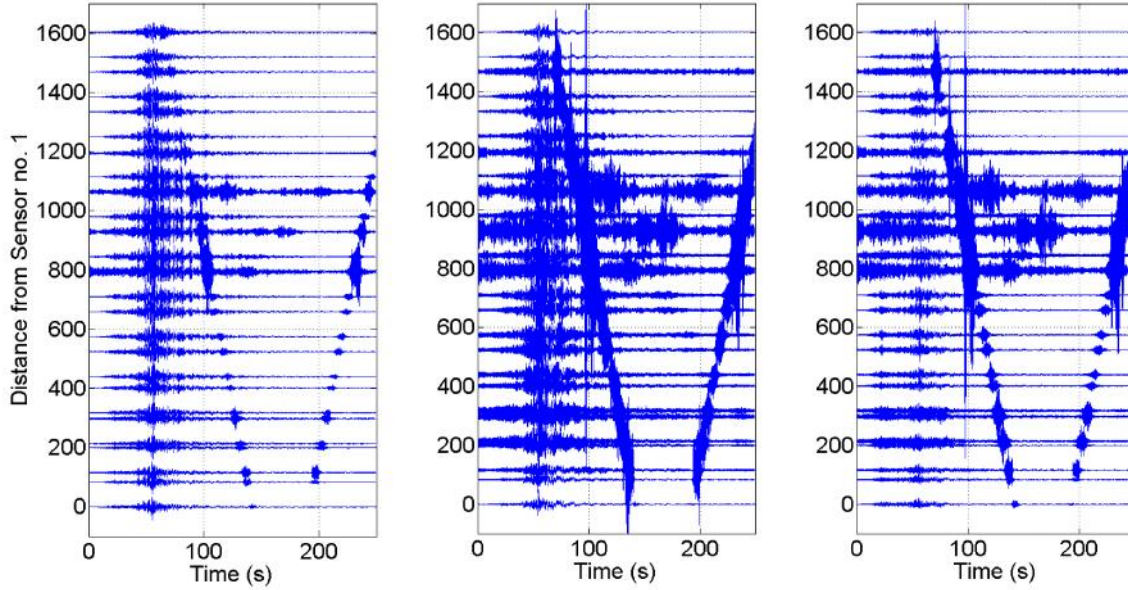
ekil 8. KED2014 Gökçeada kayıtları (AFAD Station no.1711).

6. KUZEY EGE DEPREMİNDE MARMARAY'IN DAVRANIŞI

Bu bölümde, KED2014 sırasında Marmaray izleme sisteminde kaydedilen ivme kayıtları verilmektedir. ekil 9'da depremin başlangıcından kaydedilen ivme kayıtlarının 250 sn. penceresi üç yön (EW, NS ve UD) olarak gösterilmektedir. ekilde, doğu uçtaki sensor üstte, batı uçtaki sensor alttadır. Diğerleri bununla ilgili sıralanmıştır.

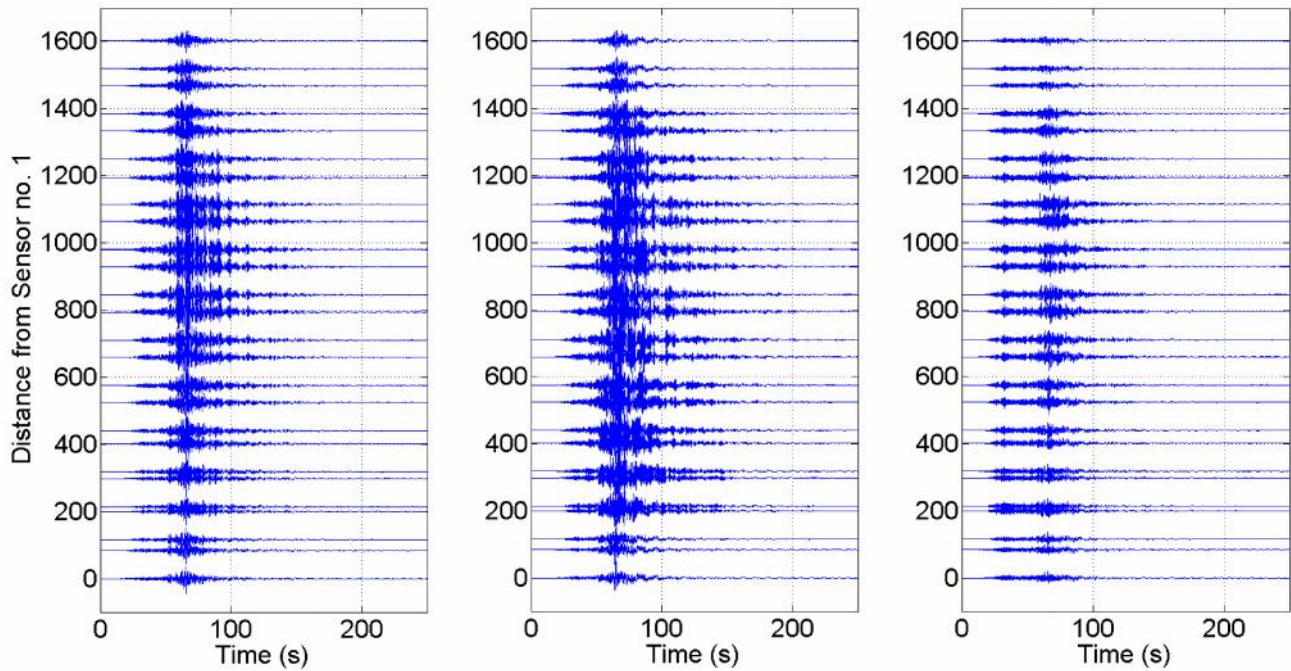
Seçilen pencerede, KED2014 depreminin oluşturdugu ivme kayıtlarından ters yönde hareket eden iki tren açıkça görülebilmektedir. 60 sn ve 150 sn pencere bantında yakalanan tren doğu-batı yönünde seyahat ederken, ters yönde giden diğer tren 200-250 sn. bandında görülmektedir. Trenler tarafından yaratılan ivmeler epey yavaş ve

yüksek genliklerdedir. Önceki çalışmalar trenin oluşturduğu titreşimlerin frekanslarını tipik olarak 10Hz'in üzerinde vermektedir. Bu durum, tekerlekler ve ray bozuklukları ve demiryolu toleransları gibi çeşitli faktörlere göre değişmektedir (Al Suhairy, 2000). Bundan dolayı, trenin oluşturduğu titreşimler ve ortam titreşimlerinin etkisini azaltabilmek için deprem hareketini içeren kayıtlara 15 Hz lowpass filtre uygulanmıştır.



ekil 9. 2014 KED sırasında kaydedilen ivme kayıtları (Soldan sağa; EW; NS; ve UD yönleri)

Filtre uygulanmış kayıtlar ekil 10'da verilmektedir. Elde edilen sonuçlar, trenin oluşturduğu titreşimlerin oldukça etkili bir şekilde filtre edildiğini göstermektedir.



ekil 10. “Low pass” filtre uygulanmış ivme kayıtları (Soldan sağa; EW; NS; ve UD yönleri)

7. SONUÇLAR

Bu çalı mada, Marmaray batırma tünelinin sismik izleme sisteminin parçası olarak İstanbul deprem erken uyarı sistemi ve acil müdahale sistemi hakkında özet bilgi verilmiştir. 2014 KED sırasında Marmaray batırma tünelinin davranışı ve aynı zamanda izleme sisteminin performansı gözlemlenmiştir. Batırma tunnelde, ters yönde hareket halinde olan iki farklı trenden oluşan titreşimler kaydedilmiştir. "Lowpass" filtre uygulanarak trenlerden kaynaklanan sinyaller orjinal kayıtlardan kaldırılarak verilmiştir. Bu durum, kayıtlar üzerinde yumuşak zemin tabakasının etkisinin görülmesine olanak vermiştir. Sonuçların tümü değerlendirilmiştir; ne erken uyarı ve acil müdahale sisteminde, ne de yapısal ve geoteknik elemanlarda herhangi bir anormal davranış ve bozukluk gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Erdik, M., Fahjan, Y., Özel, O., Alçık, H., Mert, A., Gül, M. (2003). Istanbul Earthquake Rapid Response and Early Warning System, *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol.1, pp.157-163, Kluwer.
- Öztürk, M. (2011).Marmaray Projesi ve Boğaz Geçişi Kısımında Deprem Etkilerini Analizi ve Tasarım Esasları, Deprem Mühendisli i ve Sismoloji Konferansı, pp.1-14.
- AFAD, T.C. Babakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Ba kanlığı (AFAD) (2015). www.deprem.gov.tr (accessed on February 15, 2015)
- Al Suhairy, S. (2000). Prediction of Ground Vibration from Railways', SP Swedish National Testing and Research Institute, SPReport 2000:25, Borås 2000.
- Erdik, M., Pinar, A., Akkar, S., Zulfikar, C., Kalafat, D., Kekovalı, K., Özel, N.M., Necmioglu, O. (2014). "Earthquake Report: 24 May 2014 Northern Aegean Sea", www.emsc-csem.org/Earthquake/228/M6-9-AEGEAN-SEA-on-May-24th-2014-at-09-25-UTC (Accessed on Jul. 7, 2015)
- IEEW, Istanbul Earthquake Early Warning System (2015). <http://ew-istanbul.com/> (accessed on July 15, 2015).
- Karakitsios, V., Sakaeda, H., Miles, R. (2008)]. Large Scale Geotechnics on the Bosphorus Railway, Istanbul, Ground Engineering, August, 2008, pp.27-30.
- Oztürk, M. (2011). Earthquake effects analysis and design principles of Marmaray Project and Bosphorus crossing, Proceedings of the Earthquake Engineering and Seismology Conference, Turkey, pp.1-14.
- Simsek, O., Mitani, S., Altun, O. (2005). Marmaray Project: Geological and Geotechnical Investigations, {it Proceedings of the Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future, Istanbul, Turkey} pp.1309 - 1314
- UDIM, National Earthquake Monitoring Center (2015). <http://udim.koeri.boun.edu.tr/indexeng.htm> (accessed on February 15, 2015)
- USGS, United States Geological Survey (2015)]. M6.9 Aegean Sea Earthquake of 24 May 2014, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/poster/2014/20140524.pdf> (accessed on February 15, 2015)
- Wells, D. L. and Coppersmith, K.J. (1994). New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 84, No. 4, pp. 974-1002, August.