

24 MAYIS 2014 Mw:6.5 GÖKÇEADA DEPREM NDEK BÜYÜK GENL KL KUVETL YER HAREKET KAYITLARI VE MOHO SÜREKSİZLİĞİN DEN YANSIYAN DALGALAR (SmS) İLE İLGİLİ KESİMLER

Eren Tepeur¹, Fadime Sertçelik², Ulubey Çeken¹, Derya Yalçın¹, Güler Yenilmez¹, Mehmet Kaplan¹, Kenan Yanık¹

¹ Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara

² Doçent, Jeofizik Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli
E-mail: eren.tepeugur@afad.gov.tr

ÖZET:

24 Mayıs 2014 Gökçeada Depremi, Mw:6.5, Marmara Bölgesi ve Kuzeybatı Anadolu'da yaygın bir şekilde hissedildi, Gökçeada'daki bazı binalarda da hafif hasara neden oldu. Deprem, yaklaşık 51-724 km uzaklıklardaki AFAD Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağına ait 185 ivme-ölçer istasyonu tarafından kaydedildi. Ölçülen en büyük ivme değeri D-B yönünde Gökçeada istasyonundadır (176,6 cm/sn²). Ancak, 150-246km arasında kalan Tekirdağ ve Balıkesir'e ait istasyonlarda yüksek genlikler kaydedildi ve mesafeye göre ivme değerlerinin azalması beklenirken belirtilen mesafe aralığında kalan istasyonlarda normalden sapma gözlemlenmedi. Bunun üzerine, AFAD-Deprem Ön Hasar Tahmin Sistemi (AFAD-RED) tarafından üretilen PGA ve İddet Haritaları ile karşılaştırılmaları ancak çeşitli azalım oranlarına göre üretilen bu haritalarda herhangi bir anomaliye rastlanmamıştır. Yerel zemin etkisi için istasyonların zemin parametreleri ve bölgenin Jeolojik yapısı incelenmiş buna göre büyütme yaratabilecek bir etkinin her istasyon için sağlanmadığı görülmüştür. İlgili istasyonların dalga formları incelenmiş ve Moho süreksizliğinden yansıyan gelen SmS dalgalarının izine rastlanmıştır. Konu ile ilgili daha önce yapılmış uluslararası çeşitli araştırmalarda ve başta 1999 Kocaeli Depreminde Avcılar'da görülen yoğun hasarın sebeplerinden biri olarak SmS dalgaları gösterildiği görülmüştür. Buradan hareketle ilgili istasyonların dalga formları üzerinde EA Programında faz okumaları yapılmış, istasyonların (zemin bağımlı ve bağımsız) mesafeye bağlı log-normal eğrileri çizilmiş ve AFAD-RED ile çeşitli yer hareketi tahmin denklemlerine göre PGA ve İddet haritaları üretilmiştir. Ayrıca, AFAD tarafından yapılan odak mekanizması çalışmaları depremin doğrultu atımlı bir fayla bağlı olarak geliştiği, bu fayın da Kuzey Anadolu Fay Sisteminin Ege Denizi içerisindeki devamına ait olduğunu düşünülmektedir. Aletsel dönemde bölgede meydana gelen depremlere de bakıldığında bu fayın M 7.0 deprem üretme potansiyeli yüksektir. Yapılan çalışmalar neticesinde, Kuzey Ege Denizinde meydana gelebilecek yüksek magnitüdü bir depremde Balıkesir, Çanakkale ve Tekirdağ'ın bazı ilçelerinde de hasar gözlemlenebileceği düşünülmektedir. Bu durum, ileride yapılacak çalışmalarda ve tahmin denklemlerinde SmS dalgalarının da hesaba katılması gerekliliğini beraberinde getirmektedir.

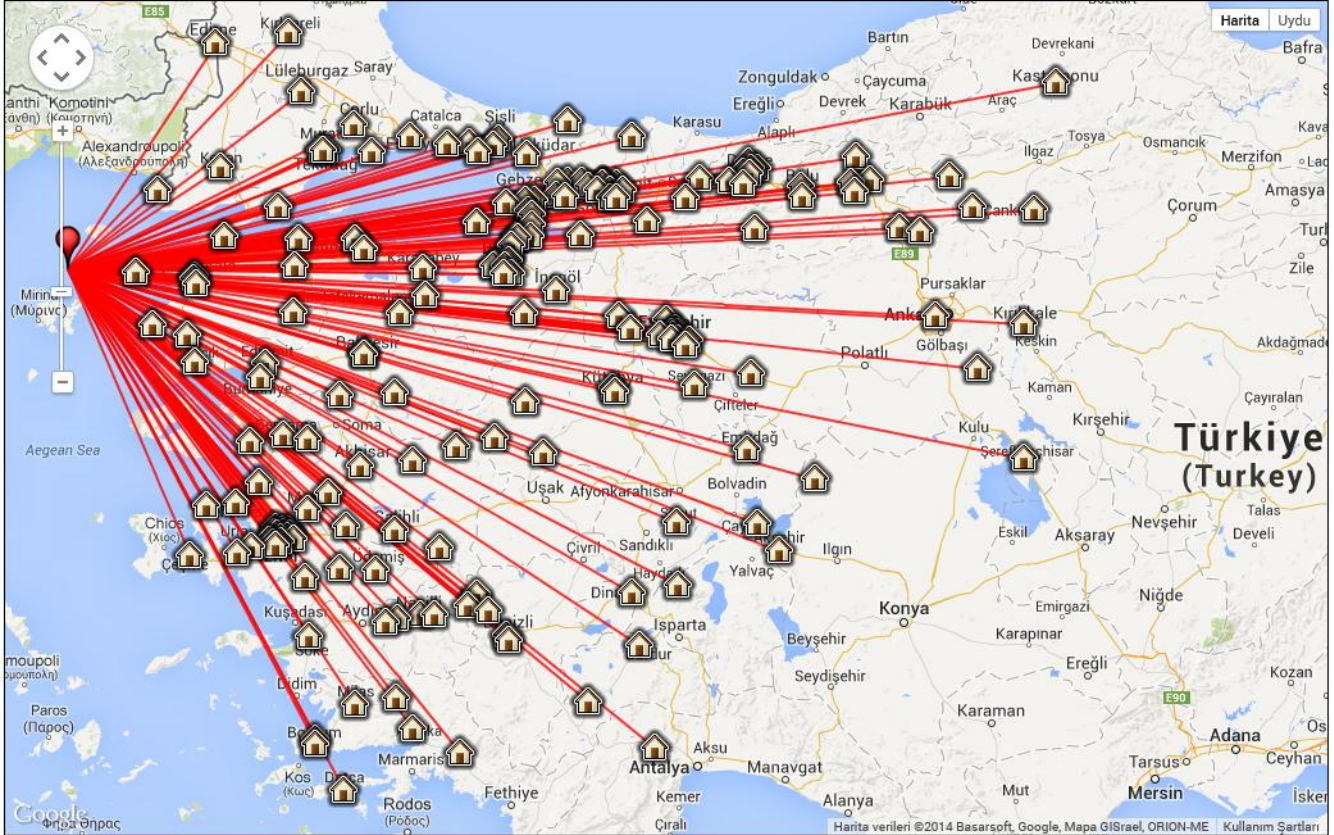
ANAHTAR KELİMLER: Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları, SmS Dalgaları, Moho Süreksizliği, Yer Hareketi Tahmin Denklemleri, AFAD-RED

1. GİRİŞ

24 Mayıs 2014 tarihinde Türkiye Saati ile 12:25'de Gökçeada açıklarında (Kuzey Ege Denizi) bir deprem meydana gelmiştir. AFAD Türkiye Deprem Veri Merkezi'nden (TDVM) alınan verilere göre depremin büyüklüğü 6.5 (M_w) olarak, yaklaşık merkez koordinatları 40.2108 K, 25.3073 D olarak belirlenmiştir.

Deprem başta Çanakkale, Edirne, İstanbul, İzmir olmak üzere Ege ve Marmara Bölgelerinde geniş çaplı hissedilmiş olup, AFAD Başkanlığı'nın deprem sonrası yaptığı çalışmalarda, Gökçeada'da bazı binalarda hafif hasar bilgisi rapor edilmiştir.

AFAD Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağı'ndan elde edilen en yüksek ivme değeri, deprem episantrına 51 km uzaklıktaki Gökçeada istasyonunda Doğu-Batı yönünde 176.59 gal olarak hesaplanmıştır. Söz konusu deprem, mesafeleri 51-724km arasında değer alan en yakın 186 yeni nesil ivme kayıtcısı tarafından kaydedilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Gökçeada Depremi (Mw= 6.5) kaydeden ulusal kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarının dağılımı

Depremden hemen sonra tahmini ve ölçülmüş değerlere göre olmak üzere; sismik ivme, PGA ve PGV dağılım haritaları, AFAD-RED (Ön Hasar Tahmin Sistemi) programı yardımıyla oluşturulmuştur. Oluşturulan haritalarda, çeşitli yer hareketi tahmin denklemlerine göre hesaplanarak üretilen ivme dağılım haritaları ile Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağı (TR-KYH) kayıt istasyonlarından ölçülmüş değerler ile elde edilmiş haritalar arasında, özellikle 100-246km arasındaki istasyonlarda, farklılıklar dikkati çekmiştir. Söz konusu istasyonların kayıtlarına bakıldığında ise, mesafe ile azalması beklenen ivme değerlerinin yerine yüksek genlikli kayıtlar tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, yüksek ivme değerleri olan istasyonlara ait dalga formları yardımıyla ne tür bir sismik dalganın bu duruma yol açtığı zemin özellikleri de hesaba katılarak araştırılmıştır. Daha önce yapılmış bazı çalışmalarda (Somerville and Yoshimura, 1990; McGarr et al. 1991; Catchings and Kohler, 1996; Mori and HelMBERGER, 1996; Boztepe-Güney and Horasan, 2002; Chen, 2003; He and Hong, 2010), episantr mesafesi 100-200km

arasında deprem en mesafelerdeki istasyonlarda görülen yüksek genlikli kayıtların, Moho Süreksizliği'nden yansımalarıyla gelen S dalgası (SmS) ile ilişkili olduğu belirtilmiştir.

2. KUVVETLİ YER HAREKET VERİLERİ VE ANALİZİ

2.1. Veri Seti

Gökçeada depremine ait kayıtlar, AFAD tarafından ülke çapında işletilmekte olan TR-KYH Gözlem Ağı'na ait istasyonlardan elde edilmiştir. Ağustos 2015 tarihi itibarıyla 546 adet tamamı sayısal, üç bileşenli cihazlardan oluşan ve açık alanda konumlanan bu istasyonlardan elde edilen veriler yüksek kalitede olup gerçek zamanlı ve sürekli verilerdir.

Gökçeada Depreminin ait 185 adet ivme kaydından 100-246km arasında kalan istasyonlardan yüksek ivme kaydedenler Tablo 1'de verilmiştir.

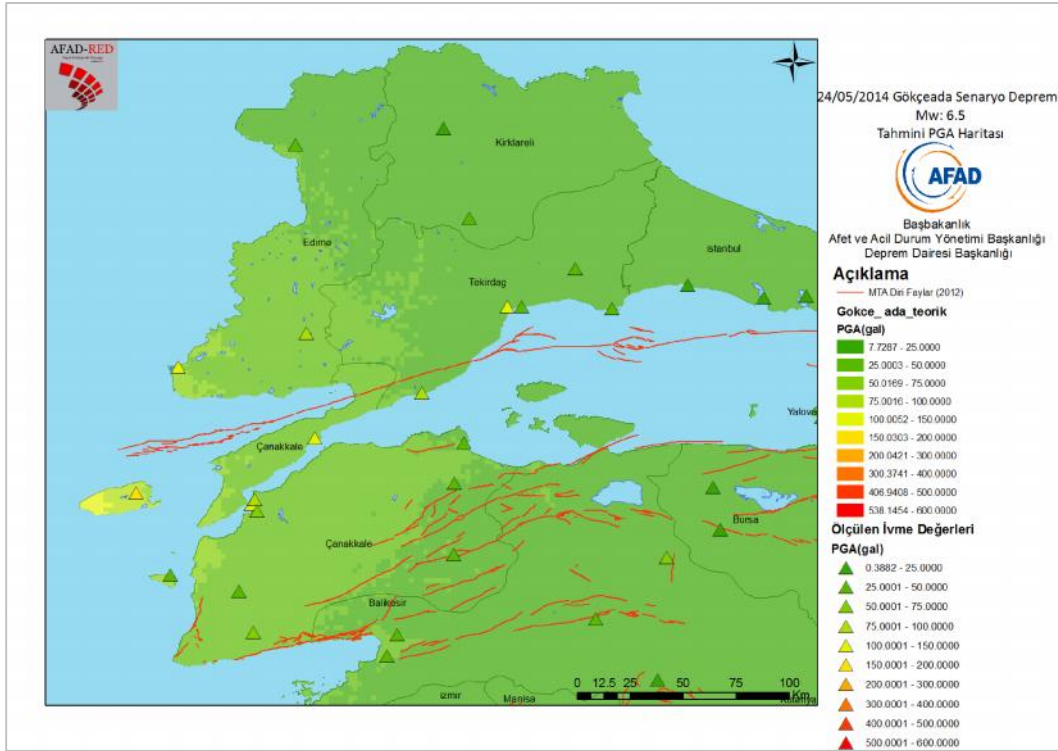
Tablo1. Gökçeada Depremini kaydeden yüksek genlikli kayıt alan istasyonlara ait bilgiler.

| STASYON | | | | Enlem | Boylam | Rakım (m) | C HAZ TÜRÜ | ÖLÇÜLEN VME DEĞERLERİ (gal) | | | Uzaklık Repi (km) | stasyonun Kayma Dalgası Hızı V_{s30} (m/sn) |
|---------|------------|-------------|------|---------|---------|-----------|------------|-----------------------------|--------------|-------|-------------------|---|
| No | L | LİCE / SEMT | Kod | | | | | KG | DB | Düey | | |
| 1 | Tekirda | SARKOY | 5904 | 40.6148 | 27.1225 | 10 | CMG-5TD | 75.29 | 86.32 | 34.7 | 160 | 225 |
| 2 | Çanakkale | YENICE | 1707 | 39.9291 | 27.2590 | 275 | GMSPPlus | 41.49 | 49.37 | 22.06 | 169 | 324 |
| 3 | Çanakkale | KARABIGA | 1712 | 40.4039 | 27.3034 | 6 | GMSPPlus | 40.75 | 47.7 | 15.33 | 170 | 683 |
| 4 | Tekirda | MERKEZ_3 | 5910 | 40.9810 | 27.4860 | 49 | GMSPPlus | 77.88 | 107.3 | 19.13 | 202 | |
| 5 | Tekirda | MERKEZ | 5902 | 40.9792 | 27.5150 | 42 | GSR-16 | 68.79 | 64 | 19.35 | 204 | 409 |
| 6 | Tekirda | MERKEZ_2 | 5908 | 40.9820 | 27.5479 | 64 | GMSPPlus | 45.96 | 39.6 | 15.45 | 207 | |
| 7 | Kırklareli | LULEBURGAZ | 3902 | 41.3570 | 27.3248 | 47 | GMSPPlus | 45.27 | 43.5 | 11.95 | 211 | |
| 8 | Balıkesir | EDINCIK | 1011 | 40.3360 | 27.8610 | 174 | GMSPPlus | 26.97 | 28.49 | 17.31 | 217 | 330 |
| 9 | Balıkesir | MERKEZ | 1003 | 39.6549 | 27.8620 | 158 | CMG-5TD | 24.23 | 29.44 | 9.69 | 227 | 460 |
| 10 | Balıkesir | MERKEZ_2 | 1017 | 39.6496 | 27.8571 | 262 | CMG-5TD | 30.5 | 22.21 | 13.13 | 227 | 662 |
| 11 | Tekirda | M. EREGLISI | 5906 | 40.9733 | 27.9316 | 64 | GMSPPlus | 36.37 | 46.97 | 15.12 | 236 | 325 |
| 12 | Balıkesir | SUSURLUK | 1020 | 39.9171 | 28.1641 | 53 | GMSPPlus | 50.98 | 43.33 | 15.21 | 246 | |

Tablodan da görüldüğü üzere, Tekirda, Çanakkale ve Balıkesir'e ait bazı istasyonlarda, uzak (160-246km) episantr mesafesine (Repi) ve NEHRP sınıflamasına göre $V_{s,30}$ değerleri sıkı zemin veya yumuşak kaya olmasına rağmen yüksek ivme kayıtları elde edilmiştir.

2.2. Verilerin Yer Hareketi Tahmin Denklemleri ile Karşılaştırılması

Gökçeada Depreminin için AFAD RED Ön hasar Tahmin Programından üretilen haritalar Boore, et al, 1997, Sadigh, et al, 1997, Ambraseys, et al, 1996 PGA azalım denklemlerinin ortalaması alınarak tahmin edilmiştir (ekil 2).



ekil 2. Gökçeada Depremi (Mw= 6.5) için üretilmiş Tahmini PGA Haritası (üçgenler kayıt alan istasyonları göstermektedir).

ekil 2'ye göre, tahmin denklemlerinden elde edilen haritada, 100-246km arasında kalan istasyonlarda herhangi bir anomali veya uyumsuzluk gözlenmezken, ölçülen ivme değerleri haritaya eklendiğinde, bahsi geçen mesafeler arasında kalan istasyonlardan dolayı renk farkı yani uyumsuzluk dikkati çekmektedir.

2.2. stasyonların Zemin Parametreleri ve Jeolojisi

istasyonlarda görülen yüksek genlikli, büyütme sebebi olabilecek zemin ve jeoloji ile ilgili olup olmadığı araştırılmıştır. Tablo 1'de görüldüğü üzere 5904, 5902, 1011, 1003, 1017, 5906 kodlu istasyonların zemin bilgisi (MASW yöntemiyle belirlenmiş $V_{s,30}$ değerleri) mevcut ancak diğer 4 istasyonun zemin bilgisi mevcut değildir. Bu belirsiz zemin bilgisi için, istasyonların bulunduğu bölgeye ait jeolojik bilgilerden, zemin verilerinden ve gözlemsel değerlendirmelerden NEHRP, 2003'e göre zemin sınıfı belirlenmiştir. Jeolojik bilgi için Wills and Clahan (2006) daki jeolojik birim, jeolojik yaş, tabaka kalınlığı ve kaya biriminden mesafe kriterleri kullanılırken zeminde elde edilen $V_{s,30}$ değerleri de USGS Sarsıntı Haritası (Allen, 2009) veri tabanından elde edilmiştir.

Tablo2. Gökçeada Depremi kaydeden yüksek genlikli kayıt alan istasyonlara ait zemin ve jeoloji bilgileri.

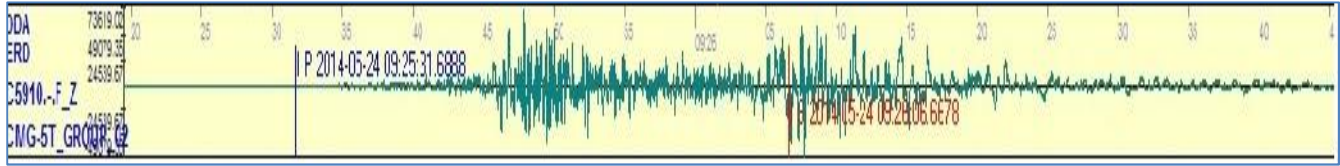
| KOD | İlçe | JEOLOJİ | JEOLOJİK $V_{s,30}$ DEĞERİ | MSEL $V_{s,30}$ | NEHRP |
|------|------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------|-------|
| 5910 | Tekirdağ -Mrkz-3 | Alüvyon- Kumta 1/Çamurta 1 sınırı | 338 | 360-760 | D |
| 5908 | Tekirdağ -Mrkz-2 | Konglomera- Kumta 1-Çamurta 1 | 370 | 360-760 | C |

| | | | | | |
|------|---------------------------|---------|-----|---------|---|
| 3902 | Kırklareli- Lüleburgaz | Alüvyon | 271 | 360-760 | D |
| 1020 | Balıkesir- Susurluk | Alüvyon | 271 | 360-760 | D |

2.4. Sismogram Analizi

Belirli bir kritik episantr uzaklığına, yansıyan dalga enerjisi mantoya giremediğinden Moho Süreksizliğinden yansıyarak gelmekte ve bu dalga SmS dalgası olarak tanımlanmaktadır (Kulhanek,1990). SmS dalgasının istasyonlara varış zamanının S dalgasından yaklaşık 2-4sn sonra olduğu da aynı kaynaktan belirtilmiştir. Konuyla ilgili daha önce yapılmış çalışmalarda (Somerville and Yoshimura, 1990; McGarr et al. 1991; Catchings and Kohler, 1996; Mori and Helmberger, 1996; Boztepe-Güney and Horasan, 2002; Chen, 2003; He and Hong, 2010), istasyonlarda, S dalgasından daha yüksek genlikli kaydedilen SmS dalgasının depremde hasarı arttırdığı belirtilmiştir. Boztepe-Güney and Horasan, 2002 çalışmasında, 1999 Kocaeli Depremi'nde 100km mesafedeki Avcılar yerleşim biriminde görülen beklenmedik boyutlardaki hasarın nedenlerinden birini de SmS dalgalarıyla ilişkilendirmişlerdir. Benzer şekilde, genel SmS dalgalarıyla ilişkilili olarak, Chen, 2003'de, 2002 yılında Taiwan'da meydana gelen $M_w=7.0$ depreminde episantr noktasına yakın bölgelerde hasar olmazken, 110km uzaklıktaki bir başka yerleşim yerinde hasar meydana geldiği belirtilmiştir.

Bu çalışmaların ışığında, 100-246km. arasındaki istasyonlarda SmS dalgasının izi aranması ve bunun için EA (Earthquake Analysis Software) (Yanık, 2009) sinyal analiz programı kullanılmıştır. Programda P, S ve SmS dalgalarına ait pik okumaları yapılmıştır (ekil 3).



ekil 3. Yüksek ivme değeri veren istasyonlara bir örnek olarak, 5910 (Tekirdağ-Merkez-3) istasyonuna ait sismogram analizi (Mavi çizgiler P, kırmızı çizgi SmS fazını göstermektedir).

Aşağıdaki şekilde gösterilmiş olan örnek bir ivme kaydından yapılan P, PmP, S ve SmS okumasından da görüldüğü üzere, SmS dalgası, S dalgasından yaklaşık 2,5sn sonra istasyona ulaşmıştır.

3. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, 24.05.2014 tarihinde meydana gelen Gökçeada Depreminde ($M_w=6.5$) AFAD TR-KYH istasyonlarından elde edilen yüksek ivme değerleri olan kayıtlara ait dalga formları yardımıyla ne tür bir sismik dalganın bu duruma yol açtığı zeminel etkiler de göz önüne alınarak araştırılmıştır. Depremde, TR-KYH ivme kayıtlarında belirli mesafe aralığındaki bazı istasyonlarda yüksek ivme değerleri dikkati çekmiş ve depremden hemen sonra üretilen AFAD-RED Sarsıntı Haritasında da ölçülmüş değerler ile tahmini olarak oluşturulan haritalar arasında bir uyumsuzluk gözlemlenmiştir.

Depreme ait belirli mesafedeki istasyonlardan elde edilen ivme kayıtlarının dalga formlarında sinyal analizi yapılmış ve sinyalin genliğini arttıran SmS dalgasının izi gözlemlenmiştir. Ayrıca, uzak mesafelerde elde edilen bu yüksek PGA değerlerinin istasyonların zemin özellikleri ile ilişkili olup olmadığını incelemek için,

istasyonlara ait zemin özellikleri, istasyonlara ait ilk 30m derinliğine ait kayma hızları ($V_{s,30}$), jeolojik konumu hesaba katılarak çeşitli analizler yapılmıştır. Öte yandan, yüksek ivme değerleri olan istasyonların, gerek yerinde ölçülmüş $V_{s,30}$ hız değerleri ve gerekse litolojik özelliklerine bakıldığında, beklenen değerlerin çok üstünde bir ivme değeri yaratacak zeminde olmadığı, genellikle NEHRP sınıflamasına göre C veya D sınıfında oldukları görülmüştür.

Ayrıca, AFAD tarafından yapılan odak mekanizması çalışmaları depremin doğrultu atımlı bir fayla bağlı geliştiği, bu fayında Kuzey Anadolu Fay Sisteminin Ege Denizi içerisindeki devamına ait olduğu belirtilmiştir. Aletsel dönemde bölgede meydana gelen depremlere de bakıldığında bu fayın M 7.0 deprem üretme potansiyeli yüksek olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmalar neticesinde, Kuzey Ege Denizinde meydana gelebilecek yüksek magnitudü bir depremde Balıkesir, Çanakkale ve Tekirdağ merkez ve bazı ilçelerinde de hasar gözlemlenebileceği düşünülmektedir. Bu durum, ileride yapılacak çalışmalarda ve tahmin denklemlerinde SmS dalgalarının da hesaba katılması gerekliliğini beraberinde getirmektedir.

KAYNAKLAR

- Allen, T. I. and D. J. Wald (2009). On the Use of High-Resolution Topographic Data as a Proxy for Seismic Site Conditions (V_{s30}), Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 99, No. 2A, pp. 935-943.
- Ambraseys, N. N., Simpson, K. A., and Bommer, J. J. (1996). Prediction of horizontal response spectra in Europe. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25(4):371–400.
- Boztepe, A., Horasan, H. (2002). Enhanced Ground Motion Due To Large-Amplitude Critical Moho Reflections (SmS) in the Sea of Marmara. Geophys. Res. Lett. 29, no. 2, 1022.
- Building Seismic Safety Council (2003). NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures and Accompanying Commentary and Maps, FEMA 450, Chapter 3, pp. 17–49.
- Catchings, R. D., W. M. Kohler. (1996). Reflected seismic waves and their effect on strong shaking during the 1989 Loma Prieta, California, Earthquake, Bull. Seismol. Soc. Am. 86, 1401–1416.
- Chen, K. C. (2003). Strong ground motion and damage in the Taipei basin from the Moho reflected seismic waves during the March 31, 2002, Hualien, Taiwan earthquake. Geophys. Res. Lett. 30, no. 11, 1551.
- David M. Boore, William B. Joyner, and Thomas E. Fumal. (1997). Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North American Earthquakes: A Summary of recent Work, Seismological Research Letters, Vol. 68, No. 1, 128-153.
- He, X. and Hong, T. (2010). Evidence for Strong Ground Motion by Waves Refracted from the Conrad Discontinuity. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 100, No. 3, pp. 1370–1374.
- Kulhanek, O. (1990). Anatomy of Seismograms, Elsevier.
- McGarr, A., M. Celebi, E. Sembera, T. Noce, and C. Muller. (1991). Ground motion at the San Francisco International Airport from the Loma Prieta earthquake sequence, 1989, Bull. Seismol. Soc. Am. 81, 1923–1944.
- Mori, J., D. Helmberger. (1996). Large-amplitude Moho reflection (SmS) from Landers aftershocks, southern California, Bull. Seismol. Soc. Am. 86, 1845–1852.

Sadigh, K., Chang, S. Y., Egan, J. A., Makdisi, F. and Youngs, R. R., (1997). Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data. *Seismological Research Letters*, V: 68, No: 1, p: 180-189.

Somerville, P. G., J. Yoshimura. (1990). The influence of critical Moho reflections on strong ground motions recorded in San Francisco and Oakland and during the 1989 Loma Prieta earthquake, *Geophys. Res. Lett.* 17, 1203–1206.

Wills, CJ, and Clahan KB. (2006). Developing a map of geologically defined site-condition categories for California, *Bull. Seismo. Soc. Am.*, 96(4A):1483–1501.

USGS internet sayfası <http://earthquake.usgs.gov/hazards/apps/vs30>

Yanık, K. and Tezel, T. (2009). Earthquake Analysis (EA) Software for The Earthquake Observatories European Geosciences Union General Assembly 2009. Vienna, Austria, 19-24 April 2009.