

Sismo-türbiditler: Tarihsel Depremlerin Kayıtları

Demet BİLTEKİN

Ordu Üniversitesi, Fatsa Deniz Bilimleri Fakültesi, Ordu, Türkiye

Özet

Sismo-türbiditler tarih öncesi dönemlerde meydana gelmiş küçük ve büyük ölçekli depremlerin tespitinde önemli bir role sahiptir. Depremlerin yıkıcı etkileri düşünüldüğünde gelecekte meydana gelebilecek olası depremleri tahmin etme konusundaki çalışmaların giderek yaygınlaşması şaşırtıcı değildir. Kuzey Anadolu Fayı'nın aktif olması ve bir uzantısının da Marmara Denizi içinden geçmesi sebebiyle, deniz tabanına yerleştirilen gözlem istasyonları ile ölçümler yapılmakta ve fay hattı boyunca meydana gelen gaz ve metan çıkışları gözlenmektedir. Bu nedenle bu derleme çalışması sadece bu konudaki literatürü sunmasının yanı sıra gelecek deprem modellerinde kullanılan sismo-türbiditlerin doğasını tanıma ve sedimanter özelliklerin belirlenmesi için ne gibi çalışmalar yapıldığı konusunda araştırmacıları aydınlatmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: sismo-türbidit; tarihsel depremler; tektonik; sismik aktivite

Seismo-turbidites: The Records Of Historical Earthquakes

Abstract

Seismo-turbidites have an important role in identification of the small and big scale earthquakes occurred in the prehistorical times. Regarding to the destructive potentials of the earthquakes, the studies about the prediction of the possible future earthquakes have become very common. The observation stations have been fixed on the sea floor for the purpose of monitoring gas and methane seepages along the active North Anatolian Fault zone which has a segment beneath of the Marmara Sea. Therefore, this review aims to give an insight to the researchers not only about the current literature but also gives an understanding about the nature of seismo-turbidites together with the ability of identifying sedimentary features used in the earthquake prediction models.

Keywords: seismo-turbidite; historical earthquakes; tectonic; seismic activity

demetbiltekin@odu.edu.tr

1. GİRİŞ

Sismo-türbiditler (ST), deniz veya fay zonlarında bulunan göllerde sismik aktivite nedeniyle çökeller ve geçmişte meydana gelmiş depremler hakkında bilgi verirler. Bu nedenle sismo-türbiditler tarihsel depremlerin tayininde kullanılan önemli bir göstergedir. Tarihsel depremlerin araştırılması, nitelik ve niceliklerinin belirlenmesi, gelecekteki depremlerin tayini ve modellemeleri açısından ciddi bir önem taşımaktadır. Paleosismoloji ve deniz jeolojisi araştırmaları içerisinde yer alan sismo-türbidit çalışmaları son yıllarda deprem zonlarında bulunan deniz ve göllerdeki eski depremleri tespit etmek konusundaki araştırmalara paralel olarak giderek artmaktadır (Nakajima & Kanai 2000; Çağatay vd 2012; Sarı & Çağatay 2006; Drab vd 2012; Polonia vd 2002; Polonia vd 2016). Tarihsel depremlerin tespit edilmesi ve yaşlandırılması, özellikle gelecek deprem olasılıklarının ve riskinin belirlenmesi açısından önemlidir. Sismo-türbidit terimi ilk olarak 1984 yılında Mutti vd tarafından kullanılmıştır. Daha sonraları 1960'lı yıllarda kuzey-batı Pasifik kıyılarında yapılan sondaj çalışması ile alınan karotlarda ritmik şekilde görülen sediman dizilimleri Adams (1990) tarafından incelenmiş ve bu çökellerin Cascadia havzası boyunca meydana gelen büyük ölçekli depremlerin sonucunda oluşan sismo-türbiditlere ait olduğu belirtilmiştir. Sismo-türbiditler genel yapısı itibarıyla tipik bir Bouma istifidir. Sismojenik türbiditleri diğer mekanizmalardan (kasırğa-su sediman çökeli vb.) ayıran en önemli gösterge ritmik bir şekilde sediman sıralanması ve homojen bir çamurdur (Rajendran vd 2013).

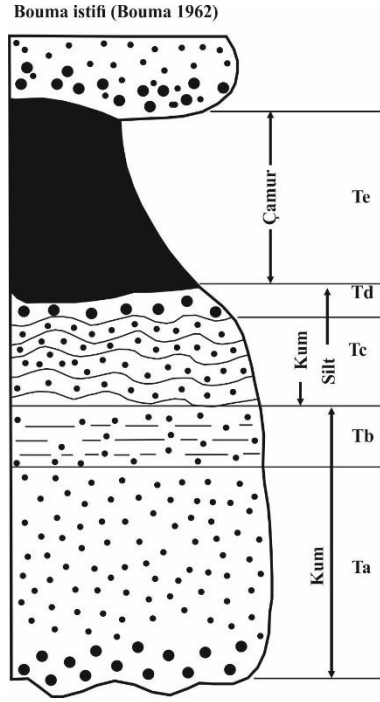
Ülkemizin deprem kuşağında yer alması deprem çalışmalarını daha da önemli hale getirmektedir. Marmara Denizi, Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) iki segmenti (kolu) üzerinde bulunmaktadır. KAF'ın kuzey kolu İzmit Körfezi'nden Marmara Denizi'ne ulaşır ve batıya doğru Tekirdağ'da denize varır. Diğer kol ise Marmara Bölgesinin güneyinde yer alan İznik Gölü'nün güneyinden geçerek Gemlik Körfezi'ne ulaşır. Marmara Denizi'nden geçen KAF bölgeyi deprem riski açısından önemli bir konuma getirmiştir (Çağatay vd 2012). Bununla birlikte, Marmara Bölgesinin ülkemizde sanayileşmenin ve nüfus yoğunluğunun en fazla olduğu bölge olması ve yakın geçmişte yaşanmış olan 17 Ağustos 1999 depreminin yıkıcı etkilerinin hafızalardaki taze izleri bu bölgedeki deprem çalışmalarını kaçınılmaz kılmaktadır. Marmara Denizi yaklaşık 1250 m derinliğe sahip batıdan doğuya sıralanan doğrultu-atımlı üç havzaya (Tekirdağ

Havzası, Orta Çukurluk ve Çınarcık Çukurluğu) sahiptir. Deprem çalışmaları son 2000 yıl boyunca Marmara Denizi'nde yükseklikleri yaklaşık 6 m'yi bulan birçok tsunami olayının meydana geldiğini göstermektedir (Yalçiner vd 2002). 7.4 büyüklüğünde meydana gelen 1999 depremi sonrasında yapılan çalışmalar İzmit Körfezi'nde aralıklı gaz çıkışlarının varlığını göstermektedir (Embriaco vd 2013). Fay hattı boyunca meydana gelen gaz çıkışları deprem aktivitesi nedeniyle gerçekleşmektedir. İzmit Körfezi'nde yapılan sismo-türbidit çalışmaları, son 2400 yılda 8 adet depremin meydana geldiğini göstermektedir (Çağatay vd 2012). İzmit Körfezi'nde belirlenen tarihsel depremler 1999 İzmit depremi, M.S. 1509 ($M_s=7.2$), M.S. 1296, M.S. 865, M.S. 740, M.S. 358, M.S. 268 ve M.Ö. 427 depremleridir (Çağatay vd 2012). Marmara Denizi Tekirdağ Havzası ve Orta Çukurlukta ise son 2500 yılda deprem aktivitesi nedeniyle sırasıyla 8 ve 7 adet türbidit çökelimlerinin varlığı saptanmıştır (Drab vd 2012). Bilim insanları Marmara Denizi'nde aktif olan Kuzey Anadolu Fayı nedeni ile sismik bir boşluk olduğunu ve gelecekte bir veya daha fazla sayıda yıkıcı depremin meydana geleceğini öngörmektedirler (Embriaco vd 2013, Parsons vd 2000, Hubert-Ferrari vd 2000). Bu nedenle bu derleme çalışması, tarihsel depremlerin belirlenmesinde önemli parametrelerden biri olan sismo-türbiditlerin tanımlanması ve hangi tarihsel depreme karşılık geldiğinin tespiti konusunda bilgi vermeyi amaçlamaktadır.

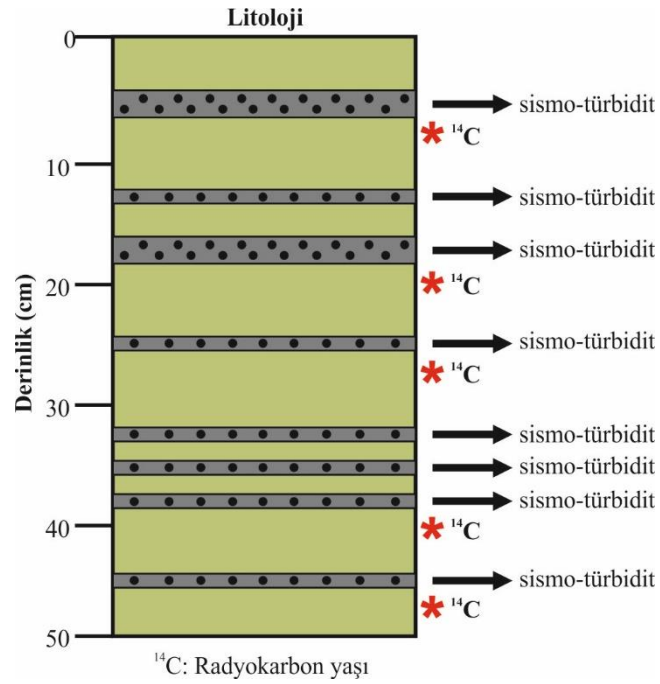
2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

2.1. Karotların Sedimantolojik İncelenmesi

Deniz ve göllerden sondaj çalışmaları ile alınan çökel karotları, iki parçaya ayrılır; ilk parça üzerinde sedimantolojik tanımlama işlemi gerçekleştirilirken diğer yarım arşiv olarak +4°C soğuk odada muhafaza edilir. Litolojik tanımlama ile çökellerin özellikleri, sedimanter yapı ve dokular belirlenmektedir. Sismo-türbiditleri tanımlarken öncelikle çökelin Bouma serisinin (Bouma sequence) yapısının iyi anlaşılması gerekmektedir. Ta (Masif dereceli), Tb (Düzlemsel paralel laminalar), Tc (Ripıllar, dalgalı/konvolüt laminalar), Td (Üst paralel laminalar) ve Te (Türbidit arası: tabakalaşma göstermeyen killi-kum) şeklinde dizilim gösteren istif altta iri tanelerden oluşmakta, üste doğru ise incelen tane boyu dizilimi göstermektedir (Bouma 1962) (Şekil 1). Genellikle sismo-türbidit çökelleri karotlarda homojen bir çamur ve killi-kum gibi kaba malzemenin ardışık sıralanması şeklinde gözlenmektedir (Şekil 2).



Şekil 1. Bouma istifli (Shanmugam 1997'den değiştirilerek alınmıştır)



Şekil 2. Sismo-türbiditlerin sondaj karotlarındaki şematik görünüşü

2.2. Sediman Karotlarında XRF Karot Tarayıcısı Analizi (XRF Core Scanner)

XRF karot tarayıcısı analizi ile karot boyunca her 200 µm'de bir, oldukça yüksek çözünürlükte yaklaşık 15 elementin kimyasal analizi yapılmaktadır. Analiz sonucunda elde edilen değerler ile çökeltme ortamı ve drenaj koşullarının kayıtları belirlenmektedir. Mn gibi redoksa duyarlı elementler özellikle sismo-türbidit çökellerinin tanımlanmasında önemli bir göstergedir. XRF karot tarayıcısı ile element ölçümlerinin yanı sıra elde edilen diğer bulgular şunlardır:

X-ışınları radyografisi: Karot boyunca 20 µm'de bir gerçekleştirilen radyografi taraması ile tabakalanma, laminasyon gibi sedimanter yapılar daha iyi tanımlanmaktadır.

Sayısal renk görüntüsü: XRF karot tarayıcısında bulunan üç ana renk dalga bandında sayısal renk görüntüleri ile aynı zamanda karot boyunca zaman içerisinde çökelmiş tabakalanma ve laminasyon ve bunların oluşumlarına neden olan ortamsal ve litolojik değişimler saptanmaktadır.

2.3. Sediman Karotlarında Çok Sensörlü Karot Loglayıcısı Analizi (MSCL: Multi-Sensor Core Logger)

Çok Sensörlü Karot Loglayıcısı (Multi-Sensor Core Logger: MSCL) analizi ile çökel karotlarının jeofizik ölçümleri hassas ve otomatik olarak gerçekleştirilmektedir.

MSCL ile yapılan ölçümler aşağıda sıralanmaktadır:

Karot Kalınlığı: Karot kalınlığı, P dalgası sensörü üzerinde bulunan ve mekanik olarak yaya tutturulmuş bir çift yer değiştirme sensörü vasıtasıyla 0.01 mm hassasiyetinde ölçülerek gerçekleştirilmektedir.

Manyetik Geçirgenlik (Magnetic Susceptibility): Manyetik geçirgenlik ölçümleri iki tip sensör kullanılarak yapılır. Bunlardan birincisi halka sensör olup ikiye kesilmemiş bütün olan karotlar için kullanılmaktadır. İkinci tip sensör, nokta sensördür ve ikiye

kesilmiş yarım karotlarda kullanılmaktadır. Manyetik geçirgenlik ölçümleri 5 mm'den daha yüksek çözünürlükte ölçüm yapılabilen Bartington MS2E nokta sensörü ile gerçekleştirilir.

Sıcaklık: Karot boyunca sıcaklık değerleri PRT probu ile laboratuvar sıcaklığı veya her bir karotun sonunda karot içerisine sokularak ölçülmektedir. Sıcaklık ölçümleri için hassasiyet 0.01°C'dir.

P-Dalgası Hızı: P-Dalgası ölçümleri ARC (Acoustic Rolling Contact) transduser olarak isimlendirilen döner akustik sistem ile yapılmaktadır. Sistemin baskın frekansı 230 kHz'dir. Akustik sinyal ölçümleri 50 ns hassasiyetindedir ve bu değer karot kalınlığına ve sedimanların özelliklerine göre yaklaşık % 0,5 hata miktarına denk gelmektedir.

Gama Yoğunluk (Gamma Density): Gama yoğunluk, karot içerisinden geçen gama ışınlarının soğurulmasının ölçülmesiyle tayin edilmektedir. Cs-137 gama kaynağı kurşun muhafaza içerisinde yer almaktadır ve Cs-137 gama kaynağı 5 mm çapındaki kolimatör ile oluşturulan ince gama ışını, karotun içerisinden geçerek diğer taraftaki gama algılayıcısına ulaşır. Algılayıcı, karottaki sedimanların gama yoğunluk özelliklerine bağlı olarak değişen ışın şiddetini belirler. Yoğunluk karotun durumuna bağlı olarak % 1 hassasiyetle ölçülebilmektedir.

Elektrik Özdirenç (Electrical Resistance): Elektrik özdirenç ölçümleri, temassız endüktif bobin sargı ile yapılmaktadır. Bu sayede plastik pimaş boru içerisinde bulunan karotta özdirenç ölçümü gerçekleştirilebilmektedir. Özdirenç ölçümleri boşluk suyundaki tuzluluğa karşı oldukça hassas olduğundan, gama yoğunluk ölçümleri sayesinde tespit edilen tane boyu bilgisi ile karottaki çökellerin litolojisi hakkında bilgi sağlanabilir. Kalibrasyon, özdirenci bilinen değişik konsantrasyonlarda tuz ihtiva eden tuzlu su standartları kullanılarak yapılır. Analiz çözünürlüğü 2-3 cm'dir.

2.4. Tane Boyu Analizi

Tane boyu analizleri, Lazer Tane Boyu Analizörü (Fritsch Laser Particle Size Analyser) ile yapılmaktadır. Bu yöntemde ilk olarak karot boyunca farklı derinliklerden yaklaşık 0.3 gr sediman örneği alınır. Örnekler beherlere konular ve örneklere topaklanmayı engellemesi için 20 ml'lik % 1'lik kalgon çözeltisi eklenir. Örnekler seyreltik kalgon

çözültüsü içerisinde 12 saat bekletilir. Daha sonra örnekler Fritsch Laser Particle Size Analizöründe bulunan karıştırıcı haznesine eklenir. Ekleme işlemi pipet yardımıyla karışım homojen hale getirilerek ve sürekli çalkalanarak yapılır. Tane boyu analizi ile 0.3-300 µm aralığında hassasiyetle ölçüm yapılmaktadır. Cihaz yeterli örnek kapasitesine ulaştığında, içerisinde bulunan lens ve lazer ışın kaynağı vasıtasıyla, örnekteki tane boyu dağılımı ölçülür ve Analysette 22 programı ile aritmetik ortalama, geometrik ortalama, median, asimetriklik (skewness) ve sivrilik (curtosis) parametreleri hesaplanır.

2.5. Sismo-türbidit Çökellerinin Yaşlandırılması

²¹⁰Pb ve ¹³⁷Cs analizleri: ²¹⁰Pb ve ²³⁷Cs radyonükleid analizleri gama spektrometresi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. ²¹⁰Pb ve ²³⁷Cs radyonükleidlerinin yarı ömürleri sırasıyla 22.26 ve 30.17 yıldır. Günümüzde ²¹⁰Pb metodu, oşinografide sedimanların yaşlandırılması amacı ile yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. ²¹⁰Pb, ²³⁸U'in radyoaktif bozunma serisi içinde doğal olarak meydana gelen bir radyonükleiddir. 22.26 yıllık yarı ömre sahip olması ²¹⁰Pb'ü çökellerin tarihlendirmesi açısından uygun hale getirmektedir. Bu yaşlandırma yöntemi ile son 100-150 yıllık bir yaş aralığı belirlenebilir (Appleby & Oldfield, 1992). CRS (Constant Rate of unsupported ²¹⁰Pb Supply) modelinde herhangi bir yerdeki ²¹⁰Pb'un coğrafik ve meteorolojik etkenler nedeni ile atmosferde depolandığı düşünülmektedir. Modelde, başlangıçta (t=0) desteksiz ²¹⁰Pb aktivitesi x derinliğiyle veya kütle derinliği ters orantılı olarak azalmaktadır. x derinliğindeki çökelin yaşı CRS modelinde aşağıda gösterilen denklem kullanılarak belirlenir:

$$A_{Pb-210ex} = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (\text{Appleby \& Oldfield, 1978})$$

²³⁷Cs yapay bir radyonükleiddir. Doğaya 1945'den sonraki atom bombası denemeleri, reaktör kazaları gibi nükleer fizyon reaksiyonları nedeni ile karışmıştır. ²³⁷Cs radyonükleidi 30.17 yıllık yarı ömrü ile sedimanlarda karotun üst kısmından alt kısmına doğru konsantrasyon azalması şeklinde kendini gösterir. Bu radyonükleidin en fazla olduğu değer 1986 Çernobil kazasına denk gelmektedir. Bu radyonükleid özellikle genç çökellerin yaşlandırılmasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

¹⁴C yaş tayini: ¹⁴C radyokarbon yaş tayinleri AMS (accelerator mass spectrometry) adı verilen cihaz ile yapılmaktadır. Genellikle, karotlardan örneklenen çökellerin makro ya da mikrofauna içerikleri (bivalv, mollusk, foraminifer, ostrakod vb.) ayıklanarak bu cihazda yapılan analiz yaş tayini yapılır. Elde edilen yaşların ¹³C düzeltilmesi yapılarak, günümüzden önce (G.Ö.) ¹⁴C yılı olarak hesaplanır ve hata payları $\pm 1\sigma$ olarak tespit edilir. Takvim yılına göre kalibre edilmiş yaşlar rezervuar düzeltilmesi yapılarak (Siani vd, 2000), Reimer vd. (2004)'e göre hesaplanır.

2.6. Deprem Kataloglarının Taranması

Çökel karotlarında tanımlanan ve yaşlandırılan sismo-türbidit seviyelerinin hangi tarihsel depreme karşılık geldiğini bulmak için kataloglardan yararlanılmaktadır. Tarihsel dönemlerde meydana gelmiş olan bu eski depremlerin kayıtları çeşitli kaynaklarda mevcuttur. Bu kaynaklar çoğunlukla çeşitli kataloglar ve antik metinlerden oluşmaktadır. Kataloglar içerisinde en önemli olanları Ambraseys ve Finkel (1991), Soysal vd. (1981), Guidoboni ve Comastri (2005), Guidoboni vd. (1994)'ye ait olanlarıdır. Antik belgeler içerisinde ise en önemlileri İlyada (Homeros) ve Ksenophon'un hikayeleri, Strabon ve Herodot tarihi kaynaklarıdır. Tarihsel depremleri tespit etmek için kullanabileceğimiz diğer önemli kaynaklar ise kitap, gazete ve dergilerdir. Ülkemizde, dergiler içerisinde en çok kullanılan ve önemli olanları Türk Arkeoloji Dergisi, Vakıflar Genel Müdürlüğü dergisi, Tarih Enstitüsü Dergileri ve Tarih Dergisidir. Bunlara ek olarak, bazı deprem veri tabanları da deprem arşivlerini incelemek isteyen araştırmacılar için yerel ve küresel ölçekte meydana gelen depremler için önemli bilgiler sağlamaktadır.

3. SONUÇLAR

Deprem riskinin sağlıklı değerlendirilmesi açısından sismo-türbidit çalışmaları büyük öneme sahiptir. Ülkemizin tektonik olarak aktif olan bir levha üzerinde yer alması sismolojik ve jeolojik araştırmaları daha da önemli hale getirmektedir. Özellikle Marmara Bölgesi'nin Türkiye'nin en fazla nüfus yoğunluğuna sahip bir yer olması ve

aynı zamanda sanayileşmenin ve endüstrinin kalbinin bu bölgede bulunması riskli bir bölge olan Marmara Bölgesini deprem araştırmaları için kaçınılmaz kılmaktadır. Bu derleme çalışması ile deniz ya da göl tabanından alınan sondaj karotlarında sismotürbidit seviyelerinin tanımlanması, karakterinin ve sedimentolojik özelliklerinin belirlenmesi açısından hangi yöntemlerin uygulandığı konusunda araştırmacılara bilgi sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Ambraseys N, Finkel C (1991). Long-term seismicity of İstanbul and of the Marmara Sea region. *Terra* 3:527-539.
- Appleby PG & Oldfield F (1978). The calculation of ^{210}Pb dates assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediment. *Catena* 5:1-8.
- Appleby PG & Oldfield F (1992). Application of ^{210}Pb to sedimentation studies. In: M. Ivanovich & R.S. Harmon (eds.), Uranium-series Disequilibrium: Applications to Earth, Marine & Environmental Sciences, Oxford University Press, 731-778.
- Bouma AH (1962). Sedimentology of some Flysch Deposits: A Graphic Approach to Facies Interpretation. Elsevier, Amsterdam, 168 pp.
- Çağatay MN, Erel L, Belucci L, Polonia A, Gasperini L, Eriş KK, Sancar Ü, Biltekin D, Uçarkuş G, Ulgen UB, Damcı E (2012). Sedimentary Earthquake Records in the İzmit Gulf, Sea of Marmara, Turkey. *Sedimentary Geology* 282, 347-359.
- Drab L, Hubert Ferrari A, Schmidt S & Martinez P (2012). The earthquake sedimentary record in the western part of the Sea of Marmara, Turkey. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 12, 1235–1254.
- Embriaco D, Marinaro G, Frugoni F, Monna S, Etiope G, Gasperini L, Polonia A, Del Bianco F, Çağatay MN, Ulgen UB & Favali P (2013). Monitoring of gas and seismic energy release by multiparametric benthic observatory along the North Anatolian Fault in the Sea of Marmara (NW Turkey). *Geophysical Journal International*. 1-17.
- Guidoboni E, Comastri A & Traina G (1994). Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean area up to 10th century, ING-SGA, Bologna, 504pp.
- Guidoboni E & Comastri A (2005). Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean area from 11th to the 15th century, INGV-SGA, Bologna, 1057pp.
- Nakajima T & Kanai Y (2000). Sedimentary features of seismoturbidites triggered by 1983 and older historical earthquakes in the eastern margin of the Japan Sea. *Sedimentary Geology* 135, 1-19.
- Polonia A, Cormier MH, Çağatay N, Bortoluzzi G, Bonatti E, Gasperini L, Seeber L, Görür N, Capotondi L, McHugh C, Ryan WBF, Emre Ö, Okay N, Ligi M, Tok B, Blasi A, Buseti M, Eris K, Fabretti P, Fielding EJ, Imren C, Kurt H, Magagnoli A, Marozzi G, Ozer N, Penitenti D, Serpi G & Sarikavak K (2002). Exploring Submarine Earthquake Geology in the Marmara Sea. *EOS*. Pages, 229,235-236.

- Polonia A, Nelson CH, Romano S, Vaiani SC, Colizza E, Gasparotto G, Gasperini L (2016). A depositional model for seismo-turbidites in confined basins based on Ionian Sea deposits. *Marine Geology*, pages: 1-22.
- Rajendran CP, Andrade V, Sanwal J, Kurian J & Jena B. (2013). Constraining large earthquakes along the Andaman trench using deepwater turbidites: prospects and challenges. *Current Science* 104, No. 10, 25 May 2013.
- Sarı E & Çağatay MN (2006). Turbidites and their association with past earthquakes in the deep Çınarcık Basin of the Marmara Sea. *Geo-Marine Letters*, 1-8.
- Shanmugam G (1997). The Bouma Sequence and the turbidite mind set. *Earth-Science Reviews* 42, 201-229.
- Siani G, Paterne M, Arnold M, Bard E, Metivier B, Tisnerat N, Bassinot F (2000) Radiocarbon reservoir ages in the Mediterranean Sea and Black Sea. *Radiocarbon* 42:271-280.
- Soysal H, Sipahioğlu S, Kolçak D, Altınok Y (1981). A catalogue of earthquakes for Turkey and surrounding area (BC 2100-AD 1900). Final report, project number Tbag 341, The Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBİTAK), Ankara.
- Yalçın AC, Alpar B, Altınok Y, Özbay I, & Imamura F (2002). Tsunamis in the Sea of Marmara: Historical documents for the past, models for future. *Marine Geology* 190, 445–463.