
**Doğu Akdeniz Bölgesinin Aktif Tektoniği:
Yıkıcı Depremler ve Potansiyel Kaynak Alanları ve
Tarihsel Tsunamiler**
*Active Tectonics of the Eastern Mediterranean Region:
Destructive Earthquakes and Potential Source Regions
and Tsunami Generation*

Oturum Yürütücüleri / Conveners: Tuncay Taymaz &
Ahmet Cevdet Yalçiner

Bölgesel Tsunami Tehlikesi Bağlamında Ege Denizinde Oluşan Son Tsunamiler

Emile A. Okal¹, Carl W. Ebeling¹, Costas Synolakis^{2,3} ve Nikos Kalligeris³

¹ *Department of Earth & Planetary Sciences, Northwestern University, Evanston, IL 60201, USA (E-posta: emile@earth.northwestern.edu)*

² *Department of Civil Engineering, University of Southern California, Los Angeles, CA 90089, USA*

³ *Department of Environmental Engineering, Technical University of Crete, GR-73100 Chania, Greece*

Bu çalışmada Ege denizinde son 65 yılda oluşan ve tsunami üreten bir çok deprem kapsamlı şekilde araştırılmıştır. Bunların arasında en önemlisi 20. yüzyılda Yunanistan'ı etkileyen en güçlü ve sığ odaklı olan 1956 Amorgos depremidir. 32 adet artçı depremin yerlerinin yeniden belirlenmesiyle 75 x 40 km boyutunda fay zonu tanımlanmıştır. Depremin moment tensörü çok sayıda tarihi sismogram kayıtlarından ters çözüme gidilerek 3.9×10^{27} dyne-cm olarak bulunmuştur ve bu değer Akdeniz havzasında son 100 yıl içinde hesaplanmış olan en büyük değerdir. Odak mekanizması çözümleri, Ege denizindeki bölgesel açılmayı açıklayan bir şekilde GD eğimli düzlemde sığ normal faylanma mekanizması göstermektedir. 68 adet tsunami tırmanma yüksekliğinden oluşan veri seti, tsunamiye daha önceden tanık olmuş kişilerle yapılan birkaç alan çalışması sonucu elde edilmiştir. Bu alan çalışması, Amorgos'un güney sahilinde 20m, Astypalea'da 10m ve Folegandros'un güney sahilinde 14 m olan gözlemsel değerleri doğrulamaktadır. Ancak, bu değerler moment tensör ters çözümünden elde edilen yerdeğiştirme miktarı kullanılarak yapılan matematiksel hidrodinamik simülasyonlar sırasında doğrulanamamıştır. Ana deprem yada artçı sarsıntılarıyla tetiklenmiş olması muhtemel yerel toprak kaymalarının, yerel ölçekte gözlenen tsunami tırmanma yüksekliklerini açıklamakta gerekli olduğu sonucuna vardık. Benzer sismolojik çalışmalar 06 Ekim 1947 Messini, 09 Şubat 1948 Karpathos ve 24–25 Nisan 1957'de Rodos yakınlarında olan depremlerde de uygulanmıştır. Adı geçen ilk olay klasik bir ters faylanma, 1948 depremi daha çok ters faylanma ve 1957 depremleri yırtılma (kırılma) paylaşımı olarak bulunmuştur. İlk ve en küçük deprem doğrultu atımlı mekanizma, ikinci deprem ise daha çok ters faylanma mekanizması ile oluşmuştur. 1948 Karpathos tsunamisinin tanıkları adada meydana gelen dalgaları gözlemlemiş ve ayrıntılı tanımlamış oldukları için bizde bu depreme ait ters çözüme dayalı matematiksel tsunami simülasyonlarımızı burada karşılaştırarak sunacağız.

Anahtar Sözcükler: Yunanistan, Ege Denizi, tsunami, moment tensör ters çözümü, hidrodinamik simülasyon

Recent Tsunamis in the Aegean Sea in the Context of Regional Tsunami Hazard

Emile A. Okal¹, Carl W. Ebeling¹, Costas Synolakis^{2,3} & Nikos Kalligeris³

¹ *Department of Earth & Planetary Sciences, Northwestern University, Evanston, IL 60201, USA (E-mail: emile@earth.northwestern.edu)*

² *Department of Civil Engineering, University of Southern California, Los Angeles, CA 90089, USA*

³ *Department of Environmental Engineering, Technical University of Crete, GR-73100 Chania, Greece*

We present a comprehensive study of several tsunamigenic earthquakes which occurred in the last 65 years in the Aegean Sea. Foremost among them is the 1956 Amorgos earthquake, which was the strongest shallow event to affect Greece in the 20th century. Relocation of 32 aftershocks defines a fault zone of 75×40 km. The moment tensor of the earthquake is inverted from a number of historical seismograms, and found to be 3.9×10^{27} dyn*cm, the largest measured in the past 100 years in the Mediterranean Basin. The focal mechanism features normal faulting along a shallow-SE-dipping plane, expressing regional extension across the Aegean Sea. A dataset of 68 values of tsunami run-up was obtained over several field seasons from interviews of elderly witnesses of the tsunami. It confirms values of 20 m on the Southern coast of Amorgos, 10 m on Astypalea and 14 m on the Southern coast of Folegandros. These values could not be matched during numerical hydrodynamic simulations using the dislocation inferred from the inverted moment tensor. We conclude that local landslides, probably triggered by the event or its aftershocks, are required to explain the localized high values of run-up. Similar seismological studies were conducted for the earthquakes of 06 October 1947 in Messini, 09 February 1948 in Karpathos, and 24 and 25 April 1957 near Rhodos. The former one is found to be a classical thrust, the 1948 event features mostly thrust, and the 1957 shocks express slip partitioning, the first and smaller earthquake being strike-slip, and the second one mostly thrust faulting. Since witnesses of the 1948 tsunami were identified and interviewed on Karpathos, we will present a numerical simulation of the tsunami based on our inverted solution.

Key Words: Greece, Aegean Sea, tsunami, moment tensor inversion, hydrodynamic simulation

Doğu Akdeniz Bölgesindeki Depremler ve Potansiyel Tsunami Kaynakları

Tuncay Taymaz¹, Seda Yolsal¹ ve Ahmet Cevdet Yalçın²

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü,
34390 Maslak, İstanbul (E-posta: taymaz@itu.edu.tr)

² Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Okyanus Mühendisliği Merkezi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06531 Ankara

Bu çalışma, Doğu Akdeniz Bölgesinde tarihsel dönem boyunca meydana geldiği çeşitli kataloglar tarafından rapor edilen yıkıcı, büyük depremlerin tsunami dalga simülasyonları ve bölgenin potansiyel tsunami kaynakları ile ilgilidir. Doğu Akdeniz Bölgesinin dalma batma zonları, yaklaşma ve çarpışma hareketleri, jeolojik ve morfolojik özellikleri, deprem ve tsunami ilişkileri gibi farklı tektonik süreçleri içerisinde barındırdığı oldukça iyi bilinmektedir. Bölge, Afrika, Arabistan ve Avrasya levhalarının tektonik hareketleri nedeniyle karmaşık aktif tektonik yapıya ve şiddetli deprem aktivitesine sahiptir. Tarihsel dönem içerisinde bölgede bir çok sayıda yıkıcı deprem meydana geldiği ve bu depremlerle ilişkili tsunami dalgaları olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca, kuvvetli tsunami dalgalarının Doğu Akdeniz kıyılarında oldukça fazla etkili olduğu rapor edilmektedir. Birçok araştırmacı, jeomorfolojik, sedimantolojik, jeolojik, jeokimyasal ve jeofizik çalışmalar ile Doğu Akdeniz Bölgesindeki tsunami riskini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada, tarihsel 11 Mayıs 1222 Paphos - Kıbrıs (M~7.0–7.5), 8 Ağustos 1303 (M~8.0), Temmuz 1494 (M~7.0–7.5) Girit depremleri ve Rodos–Karpathos bölgesi depremleri (M~7.0–7.5) incelenerek neden oldukları tsunami dalgalarının çeşitli kıyılarıdaki yükseklikleri matematiksel simülasyon teknikleri ile belirlenmiştir. Bu amaçla, doğrusal olmayan sığ su dalgası yaklaşımına dayalı olarak geliştirilen TUNAMI-N2, AVI-NAMI ve NAMI-DANCE programları kullanılarak tsunami dalgalarının oluşumları, deniz içerisindeki ilerlemeleri ve kıyı ve deniz batimetrisi nedeniyle oluşan etkiler saptanmıştır. Simülasyonlarda GEBCO-BODC (1997) ye ait ~ 2000 m örneklemeli batimetri verisi kullanılmıştır. Zamanda olan örnekleme miktarı, CFL (Courant-Friedrichs-Lewy) stabilite koşulunu sağlayacak şekilde $\Delta x/\Delta t = (2gh_{max})^{1/2}$ bağıntısı ile belirlenmiştir. Bağıntıdaki h_{max} bölgedeki durgun suyun maksimum derinliğini, g ise gravitasyonel yerçekim ivmesini göstermektedir. Tarihsel depremlere ait kaynak parametreleri bölgedeki aktif levha sınırları, arazi çalışmaları sonuçları ve güncel depremlerin odak mekanizması çözümleri kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yapılan ters çözüm işlemlerinde, uzun periyotlu ve geniş bantlı telesismik P- ve SH- dalga şekilleri kullanılmıştır. Deprem kaynaklı tsunamiler için, doğru kaynak parametrelerinin tahmini ve batimetri verisinin çözünürlüğü, matematiksel simülasyonun başlangıç ve sınır koşullarının belirlenmesinde oldukça büyük öneme sahiptir. Simülasyon sonuçları, kıyı ve taban topoğrafyasının ve deniz tabanındaki süresizlik yapılarının (deniz dağları ve volkanlar gibi) tsunami dalgalarının ilerleme, yayılma, kırılma, yansıma vb. özelliklerini etkiledikleri için oldukça önemli parametreler olduklarını göstermiştir. Ayrıca, Hellenik yayının doğusunda oluşan birçok sayıda yıkıcı depremin (örn, 365, 1303, 1481, 1494) Girit, Kıbrıs, Oniki Adalar, İskenderiye – Nil Deltası ve Levant kıyılarına kadar tüm Doğu Akdeniz bölgesinde etkili oldukları belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: batimetri, Doğu Akdeniz, depremler, kaynak, simülasyon, tsunami

Earthquakes and Potential Tsunami Sources in the Eastern Mediterranean

Tuncay Taymaz¹, Seda Yolsal¹ & Ahmet Cevdet Yalçiner²

¹ *Istanbul Technical University, Department of Geophysics, Maslak,
TR–34390 İstanbul, Turkey (E-mail: taymaz@itu.edu.tr)*

² *Middle East Technical University, Ocean Engineering Center,
Department of Civil Engineering, TR–06531 Ankara, Turkey*

This study is concerned with potential tsunami sources in the Eastern Mediterranean region and numerical tsunami simulations of historical earthquakes occurred in the past. It is well known that Eastern Mediterranean region is one of the best examples to illustrate and study the dynamic process and evolution of subduction system through time, relation between the geologic and morphologic features, earthquake and tsunami generations. It has a complex tectonic regime and intense seismic activity due to tectonic motions of African, Arabian and Eurasian plates. Throughout its history, there have been many strong and destructive earthquakes that caused tsunami waves affecting many coastal plains. Several scientists revealed repeated tsunami impacts on the Eastern Mediterranean coastal plains based on geomorphological, sedimentological, geochemical, geological and geophysical analyses.

In this study, we have calculated tsunami wave heights as well as their distribution function for the Paphos-Cyprus earthquake of May 11, 1222 (M~7.0–7.5), for Crete earthquakes of August 8, 1303 (M~8.0) and July 1494 (M~7.0–7.5) and for Rhodes–Karpathos earthquakes (M~7.0–7.5) as demonstrative examples depicting the characteristics of tsunami propagation, and effects of coastal topography and near-shore amplification. We have used numerical codes of TUNAMI-N2, AVI-NAMI and NAMI-DANCE based on the non-linear shallow water theory to simulate the tsunami generation and propagation, and of coastal amplification of non-linear long waves in a given arbitrary shaped bathymetry. For simulations, we have used global bathymetric data provided by GEBCO-BODC (1997) with 2000 m grid size and a time step of $\Delta x/\Delta t = (2gh_{max})^{1/2}$, where h_{max} and g are the maximum still water depth and gravitational acceleration, respectively, providing stable and meaningful simulation results and satisfying the CFL (Courant-Friedrichs-Lewy) stability criterion. Related parameters of historical earthquakes were adapted by an analogy of current plate boundaries, reported field observations and recent earthquake source mechanisms obtained by the teleseismic long-period and broad-band P- and SH- body waveform inversion methods. Considering the earthquake origin tsunamis, estimation of accurate source parameters and the resolution of the bathymetry are crucial to determine the initial and boundary conditions, respectively. Simulations indicate that the coastal topography, sea bottom irregularities (sea mounts, volcanoes etc.) and near-shore bathymetry are crucial components in order to affect the wave propagation, reflection, refraction, diffraction effects and coastal amplifications. It is also determined that the most destructive earthquakes occurred in eastern Hellenic arc (e.g., 365, 1303, 1481, 1494) which threatened the coastal plains of Crete, Cyprus and Rhodes islands, Levantine and Alexandria–Nile Delta coasts in Eastern Mediterranean.

Key Words: bathymetry, Eastern Mediterranean, earthquakes, source, simulation, tsunami

Oniki Adalar Bölgesi Deprem Kaynak Mekanizması ve Tarihsel Tsunami Simülasyonları

Seda Yolsal¹, Tuncay Taymaz¹ ve Ahmet Cevdet Yalçiner²

¹ *İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü,
34390 Maslak, İstanbul (E-posta: taymaz@itu.edu.tr)*

² *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Okyanus Mühendisliği Merkezi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06531 Ankara*

Aktif kabuk deformasyonu ve yıkıcı güncel depremler, Doğu Akdeniz Bölgesinde deprem riskinin belirlenebilmesi ve deprem etkilerinin azaltılmasına yönelik önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu çalışma Oniki adalar bölgesinde son yıllarda meydana gelmiş olan ($M > 5.0$) depremlerin kaynak mekanizmaları ve tarihsel dönemde tsunamiye neden olmuş depremlerin matematiksel simülasyonları ile ilişkilidir. Tarihsel kataloglarda rapor edilen 1481 Rodos ve 1948 Karpathos adası ($M > 7.5-8.0$) depremlerinin Doğu Akdeniz kıyılarında tsunami dalgalarına neden olduğu göz önüne alınarak kıyılarda gözlenen tsunami dalgalarının yükseklikleri ve kıyılara varış zamanları teorik olarak hesaplanmıştır. Böylece tsunami dalgaların deniz içerisinde ilerleme özellikleri, kıyı topoğrafyasının ve batimetrinin dalga şekillerine ve genliklerine etkileri ile sığ alanlarda gözlenen dalgaların yükseklik değişimleri belirlenmiştir. Tsunami dalga simülasyonları, doğrusal olmayan sığ su dalgası yaklaşımlarına dayalı olarak geliştirilen TUNAMI-N2, AVI-NAMI ve NAMI-DANCE programları ile yapılmıştır. Başlangıç koşulları için gereken deprem parametreleri, bölgede etkili güncel levha hareketleri ve depremlerin telesismik P- ve SH- dalga şekilleri modellenerek saptanan odak mekanizması çözümlerinden elde edilmiştir.

Bu çalışmada öncelikle Hellenik Yayını boyunca ve Oniki Adalar Bölgesi içerisinde oluşan 10 adet güncel depremin ($M_w > 5.0$) kaynak mekanizması çözümü ve fay düzlemi üzerindeki kayma dağılımları bulunmuştur. Geniş - bantlı telesismik dalga şekillerinin ters çözümü ile belirlenen kayma dağılımı modellerinden ise fay düzlemine ait dinamik ve kinematik parametreler (kaynak boyutları, düşey yerdeğiştirme, gerilme düşümü vb.) saptanmıştır. Kaynak mekanizması çözümleri, Rodos adasının batısında ve Ptolemeus, Pliny ve Strabo derin deniz çöküntülerinde, sığ odaklı ve sol yanal atımlı faylanma bileşenine sahip açılma mekanizmasının varlığını göstermektedirler. Ancak, Rodos adasının doğusuna doğru gidildikçe odak derinlikleri artmakta ve doğrultu atımlı faylanma mekanizmaları baskın hale gelmektedir. Ayrıca, Ege ve Doğu Akdeniz litosferleri arasında Hellenik Yayını boyunca gerçekleşen yaklaşma hareketinden dolayı yayın dış kesiminde ters faylanma mekanizmaları oluşmaktadır. Matematiksel tsunami simülasyonlarına göre Hellenik yayının doğusunda olduğu rapor edilen tarihsel depremlerin Girit, Rodos, Türkiye, Kıbrıs, Levant havzası ve Nil Deltası kıyılarında oldukça etkili tsunami dalgalarına neden olduğu hesaplanmıştır. Bu nedenle bölgede gelecekte olabilecek yıkıcı depremler ve ilişkili tsunami dalgalarının detaylı olarak incelenmesi ve risk analizlerinin yapılması önerilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Doğu Akdeniz, deprem, Rodos, kaynak parametreleri, kayma dağılımı, tsunami

Earthquake Source Mechanisms and Historical Tsunami Simulations in Dodecanese Islands Region, Eastern Mediterranean

Seda Yolsal¹, Tuncay Taymaz¹ & Ahmet Cevdet Yalçiner²

¹ *Istanbul Technical University, Department of Geophysics, Maslak, TR–34390 İstanbul, Turkey (E-mail: taymaz@itu.edu.tr)*

² *Middle East Technical University, Ocean Engineering Center, Department of Civil Engineering, TR–06531 Ankara, Turkey*

Active crustal deformation and recent strong earthquakes provide an improved physical basis for mitigation of the effects of future earthquakes in the Eastern Mediterranean region. This study is related to the source mechanism parameters of recent Dodecanese earthquakes ($M > 5.0$) and tsunamigenic earthquakes reported in historical catalogues and documents. We have examined and simulated historical 1481 Rhodes and 1948 Karpathos ($M > 7.5–8.0$) earthquakes created tsunami waves along Eastern Mediterranean coastal plains. We have obtained tsunami wave heights and their arrival times as well as their distribution function as illustrative examples depicting the characteristics of tsunami propagation, and effects of coastal topography and of near-shore amplification. For this purpose, TUNAMI-N2, AVI-NAMI and NAMI-DANCE mathematical models based on the non-linear shallow water theory are used. However, the related source parameters were adapted by an analogy of current plate boundaries and earthquake source mechanisms obtained by inversions of teleseismic P- and SH- waveforms.

We have studied source mechanisms and rupture histories of 10 earthquakes ($M_w > 5.0$) occurred along the Hellenic arc and the Dodecanese islands. We also obtained their rupture histories and slip distributions on fault planes to determine dynamic and kinematic fault parameters such as source dimensions, vertical displacements and stress drop etc. using broad-band teleseismic P- waveforms. Source mechanism solutions indicated shallow seismic activity ($h < 20$ km) and left-lateral transtensional regime consisting of the Ptolemeus, Pliny and Strabo deep-sea depressions at the western part of Rhodes Island. However, towards the east of Rhodes, it is determined that dominant mechanisms are strike slip faulting with deeper focal depths. Also, thrust faults dominate in the outer part of Hellenic trench due to the convergence between the Aegean and Eastern Mediterranean lithospheres. Furthermore, according to numerical tsunami simulations, the damaging historical tsunamis in the eastern Hellenic arc are able to threaten the coastal plains of Crete and Rhodes islands, Turkey, Cyprus-Levantine, and Nile Delta regions, and thus special care should be considered in the evaluation of the tsunami risk assessment of the region.

Key Words: Eastern Mediterranean, earthquake, Rhodes, source parameters, slip distribution, tsunami

Denizaltı Heyelan Malzemesi Yoğunluğunun Tsunami Oluşumuna Etkisinin Sayısal Model ile Araştırılması

Ahmet Cevdet Yalçiner¹, Işıl İnel¹ ve Fumihiko Imamura²

¹ Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi, 06531 Ankara (E-posta: yalciner@metu.edu.tr)

² Afet Kontrol Araştırma Merkezi, Mühendislik Yüksek Okulu, Tohoku Üniversitesi,
Aoba 6-6-06-1105, Sendai 980-8579, Japonya

Depreşim dalgaları (tsunamiler), deniz ve okyanuslarda, depremler, denizaltı fay kırılmaları, denizaltı heyelanları, volkanik patlamalar veya meteor düşmesi sonucu enerji transferi sonucu meydana gelirler. Oluşan tsunaminin büyüklüğü ve şiddeti, su kütlelerini harekete geçiren kaynak mekanizmanın büyüklüğü ve derecesine bağlıdır. Depremlerle meydana gelen tsunamilerde, su kütlelerinin harekete geçmesi deniz tabanının yükselmesi veya alçalması ile ilgilidir. Denizaltı heyelanları ile su yüzeyinde oluşan dalgalar ise heyelan geometrisi ve kinematiklerini tanımlayan farklı parametrelere bağlıdır.

Depremler doğrudan tsunami oluşturabilirler. Bazı durumlarda, deprem sarsıntısı, denizaltında veya yeryüzünde toprak kaymasını tetikleyerek dolaylı olarak tsunami oluşabilir. Deniz kenarı veya denizaltı volkanlarının yamaçlarında birikmiş malzemenin kayması da diğer örnekler arasındadır. Kayan heyelan malzemesinin toplam hacmi, heyelan sonucu meydana gelen tsunaminin büyüklüğünü etkileyen başlıca parametreler arasındadır. Ayrıca başka parametrelerin de bu problem üzerinde önemli etkileri vardır. Bunlardan bazıları; kaymanın olduğu derinlik, kayan zeminin eğimi, toplam kayma mesafesi, kayma süresi, kayan maddenin yoğunluğu, tane boyutu ve diğer parametreler ve kayma hareketinin karakteristik hızı olarak belirtilebilir.

Bu çalışmada, kayan maddenin yoğunluğunun tsunami kaynağının üzerindeki etkileri, sayısal tsunami modeli TWO LAYER kullanılarak araştırılmıştır. Doğrusal olmayan sığ su denklemlerini iki tabaka (tabanda kayan çamur tabaka ve yüzeydeki su) olarak eş zamanlı çözen TWO LAYER modeli, Japonya Tohoku Üniversitesi'nden Prof. Imamura tarafından geliştirilmiştir. Uygulama çalışması olarak, bu model Marmara Denizi'nde Yalova açıkları heyelanına uygulanmıştır.

Sayısal model uygulanırken, dalga oluşumunu ve ilerleyişini izlemek amacı ile, heyelanın olduğu bölgeye güney-kuzey doğrultusunda bir kaç sentetik kontrol noktası yerleştirilmiştir. Heyelan malzemesi yoğunluğu değiştirilerek çeşitli benzetimler yapılmıştır ve seçilen kontrol noktalarında oluşan dalgalar izlenmiştir. Benzetimlerde, kayan çamur malzemenin yoğunluğu 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 and 2.0 ton/m³ olarak alınmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Bu makalede heyelan hareketi ve tsunami kaynaklarının özellikleri arasındaki ilişki araştırılmış, tartışılmış ve farklı çamur yoğunluk koşullarında sunulmuştur. Kayan malzemenin yoğunluğunun tsunami oluşumu ve ilerlemesine etkileri tartışılmıştır.

Anahtar Sözcükler: tsunami, heyelan, sayısal modelleme, Marmara Denizi, yoğunluk, simülasyon

Numerical Study on Density Effect of Slid Material on the Tsunami Source

Ahmet Cevdet Yalçiner¹, Işıl İnsel¹ & Fumihiko Imamura²

¹ Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi, 06531 Ankara, Türkiye (E-mail: yalciner@metu.edu.tr)

² Afet Kontrol Araştırma Merkezi, Mühendislik Yüksek Okulu, Tohoku Üniversitesi,
Aoba 6-6-06-1105, Sendai 980-8579, Japonya

The tsunamis are generated by energy transfer to the ocean by earthquakes; submarine fault breaks (ruptures), submarine or subaerial landslides, volcano eruption, caldera collapse, or impacts of objects from outer space. The size and intensity of the generated tsunami wave depends on the size and the level of the source mechanism which displaces the water column. In the case of earthquake-generated tsunamis, the water column is disturbed by the uplift or subsidence of the sea floor. In the case of surface waves generated by the underwater landslides, are governed by different parameters that describe the landslide geometry and kinematics.

Earthquakes can directly generate tsunamis. In some cases, earthquake shaking may trigger submarine and/or subaerial landslides and indirectly generate tsunamis. The sliding of the accumulated material on the slopes of near shore or submarine volcanoes are other examples. The total volume of the landslide material is one of the major parameters which affect the amplitude of the landslide generated tsunamis even though several other parameters also play important roles on this problem. Some of these factors are; depth at which the slide occurs, slope of the sliding surface, total distance moved by the slide, duration of the slide, density of the slide material, grain size and other geotechnical parameters of the sliding material, and characteristic speed of the slide movement.

In this study the effects of density of the landslide material on the source characteristics of the tsunami wave are investigated by using the tsunami generation numerical model *TWO LAYER*. *TWO LAYER* is a model developed by Prof. Imamura in Tohoku University Japan which solves nonlinear shallow water equations in two layer (sliding mud layer at the bottom and water as upper) simultaneously. As a case study, the model is applied to landslide at offshore Yalova in the Sea of Marmara.

In the landslide along the South-North direction several synthetic gauge points are located in order to follow the evolution and propagation of the wave. The simulations are performed by inputting different densities of the landslide material and the evolution of the wave is monitored at these gauge locations. The density of the sliding muddy material is taken as 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 and 2.0 ton / m³ in the simulations and compared between each other.

In this paper the motion of landslide and the characteristics of tsunami source are investigated, discussed and presented under different mud density conditions. The affect of the density of the landslide material on the evolution and propagation of the wave is discussed.

Key Words: tsunami, landslide, numerical modeling, Sea of Marmara, density, propagation, simulation

Doğu Marmara'nın Derin Kabuk Yapısının Gravite ve Manyetik Anomaliler Yardımıyla İncelenmesi

Abdullah Ateş¹, Çiğdem Şendur², Gonca Komanovalı¹ ve Atilla Aydemir²

¹Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Bölümü, 06100 Tandoğan, Ankara
(E-posta: Abdullah.Ates@eng.ankara.edu.tr)

²Türkiye Petrolleri A.O., Mustafa Kemal Mahallesi, 2. Cadde No: 86, 06100 Söğütözü, Ankara

Bu çalışmada, Marmara Denizi'nin doğusundan Bolu'ya kadar uzanan bölgede Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF'ın) davranışı ve yer altı yapısı gravite ve manyetik anomaliler kullanılarak araştırılmıştır. Bu alanda, MTA'nın 1/500.000 ölçekli, Zonguldak paftasının gravite anomali haritası sayısal hale getirilmiştir. Bu sayısal harita değişik bölgelere ayrılarak önce üç-boyutlu (3D) modellenmiştir. Model çalışması, derinliği 0.5–3 km arasında değişen dar ve uzun çökel havzaların varlığını ortaya koymuştur. Önceden bölgede gerçekleştirilen derin sismik kırılma verilerindeki hız bilgileri yoğunluğa dönüştürülerek modellerde parametre olarak kullanılmıştır. Daha sonra oluşturulan iki boyutlu modellerde pozitif yoğunluk farkına neden olan, oval (eliptik) şekle sahip kütleler ilave edilmiştir. KAF bu pozitif yoğunluk farkı oluşturan kütleleri kesmeyip etrafından dolaşarak kollara ayrılmaktadır. Bunun en güzel örneği Almacık Yongası'dır. Benzer kütlelere Marmara Denizi içinde de rastlanmaktadır. Modellerde görülen dar ve uzun havzaların KAF'ın kolları olan faylarla kontrol edildiği düşünülmektedir. Bölgeye ait havadan manyetik anomalilerin Analitik Sinyal dönüşümü ile KAF takip edilebilmektedir. MTA'dan temin edilen manyetik anomali haritalarının yeterli duyarlılıkta olmaması nedeniyle tarafımızdan kuzey-güney doğrultulu, 1 sn kayıt aralıklarıyla manyetik profil ölçümleri alınmıştır. Bu profillerden en önemlisi, toplam uzunluğu 15 km olan, İzmit Körfezi'nden Yuvacık Barajı'nın güneyine kadar uzanan 9E profilidir. Ölçümlerdeki yüksek frekanslı, yüzey etkilerinden kaynaklanan gürültüler, frekans ortamında alçak geçişli süzgeç uygulanarak bastırılmıştır. Süzgeçlenerek yüzey gürültülerinin bastırıldığı bu profil incelendiğinde dalga boyu 0.5–2 km arasında değişen 6–8 tane anomali gözlenmiş olup bunlar Geomodel programı kullanılarak modellenmiştir. Bölgede daha önceden Camidüzü bölgesinde alınmış olan suseptibilite ölçümleri, modellerin oluşturulması esnasında parametre olarak kullanılmıştır. 9E profili, havadan manyetik anomali haritasında gözlenen İzmit Körfezi'nin güneyindeki şiddetli manyetik anomaliyi ortalamaktadır. Havadan manyetik anomali haritasında gözlenen tek kütle anomalisi yüzeyde parçalı olarak gözlenmektedir. Buradan derin kökenli magmatik kayaçların, fayların aralarını doldurduğu ve KAF'ın tek bir fay olmadığı, birbirine yakın ve paralel kollarının olduğu ileri sürülebilir. Bu da ayrı ayrı fay segmentleri yerine 'Ana Fay Zonu' teriminin doğruluğunu ortaya koymaktadır. Bu fayın davranışının iyi anlaşılabilmesi için tüm jeofizik ve jeolojik verilerin birlikte değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Anahtar Sözcükler: Doğu Marmara, Kuzey Anadolu Fayı (KAF), modelleme, analitik sinyal

Investigation of Deep Crustal Structure in the Eastern Marmara Region, using Gravity and Magnetic Anomalies

Abdullah Ateş¹, Çiğdem Şendur², Gonca Komanovalı¹ & Atilla Aydemir²

¹ *Ankara University, Engineering Faculty, Department of Geophysical Engineering, Tandoğan,
TR–06531 Ankara, Turkey (E-mail: Abdullah.Ates@eng.ankara.edu.tr)*

² *Turkish Petroleum Corporation, Mustafa Kemal Mahallesi, 2. Cadde, No: 86, Söğütözü,
TR–06531 Ankara, Turkey*

In this study, behaviour and the deep structure of the Northern Anatolian Fault (NAF) from the east of the Marmara Sea to Bolu was investigated using gravity and magnetic anomalies. In this region, 1/500.000 gravity anomaly map of the Zonguldak section from the General Directory of Mineral Research and Exploration (MTA) was initially digitized and then divided into different regions to be modelled three-dimensionally (3D). According to the modelling results, narrow and long sedimentary basins having various depths about 0.5-3 km were exposed. Densities converted from the velocities of the previous deep seismological refraction investigation were utilized as key parameters for the modelling studies. Subsequently, two-dimensional (2D) models were constructed introducing oval (elliptical) masses with positive density contrasts. NAF bifurcates and bypasses these masses, because it cannot cut them. The best example is the Almacik Flake. Similar masses between the NAF segments are also observed in the Marmara Sea. The long and narrow sedimentary basins revealed by the model studies are thought to control by the fault segments. NAF can easily be traced in the Analytical Signal map transformed from the aeromagnetic anomalies. Because the low sensitivity of the magnetic anomaly maps, new magnetic measurements on the N-S trending profiles were performed with 1 sec. sampling intervals by the authors. Most important profile is the 15-km-long 9E Profile extending from Izmit Bay to the south of the Yuvacik Dam. High frequency noises on this profile are filtered for suppressing the surface effects in the frequency domain with a low pass filter. The filtered profile indicates 6–8 anomalies having 0.52 km wavelength and they were modelled by using Geomodel program. Previous susceptibility measurements obtained from the Camiduzu area are used as parameters in the modelling. 9E Profile crosses the center of evident magnetic anomaly to the south of the Izmit Bay. Although, the anomaly has a unique mass image, it is observed as if composed of different pieces on the surface. It is concluded from these observations that the NAF is not a single fault, but composed of a set of close and paralel fault segments that cracks and fissures are filled by the mantle origin intrusive magmatics. In other words, the “main fault zone” term is confirmed with this study instead of separate fault segments. Finally, all available geophysical and geological data should be integrated to understand the behaviour and characteristics of the fault in detail.

Key Words: Eastern Marmara, North Anatolian Fault (NAF), modelling, analitical signal

CBS Tabanlı Tsunami Baskın Haritalarının Geliştirilmesi; Fethiye Örneği

Derya İtir Dilmen¹, Ahmet Cevdet Yalçiner¹, Andrey Zaytsev², Anton Chernov²,
Ceren Özer¹, Işıl İnel¹, Efim Pelinovsky³, Andrey Kurkin², Hülya Karakuş¹,
Utku Kanoğlu⁴ ve Fumihiko Imamura⁵

¹ Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi,
06531 Ankara (E-posta: yalciner@metu.edu.tr)

² Uygulamalı Matematik Bölümü, Nizhny, Novgorod Teknik Üniversitesi, Rusya

³ Linear Olmayan Jeofiziksel İşlemler, Uygulamalı Fizik Enstitüsü, 46 Uljanov Caddesi,
603950 Nizhny Novgorod, Rusya,

⁴ Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, 06531 Ankara

⁵ Tohoku Üniversitesi Afet Kontrol Araştırma Merkezi, Sendai, Japonya

Türkiye denizlerinde (Akdeniz, Marmara, Ege ve Karadeniz) meydana gelen depremler ve deprem kaynaklı sualtı toprak kaymaları tsunami yaratabilecek olan temel nedenlerdir. Tarihsel kayıtlar gösteriyorki özellikle Doğu Akdeniz (Helen Yayı boyunca)'de, birçok büyük deprem meydana gelmiştir. Bu nedenle Rusya ve Türkiye'den bilim adamlarının işbirliğiyle tsunamiyi ve tsunaminin yayılımını anlayabilmek için olan TUNAMI N3 ve NAMI DANCE benzetim/canlandırma programlarını geliştirmişlerdir. Bu programlar yardımı ile çeşitli depremlere bağlı fay kırılmaları ile ortaya çıkan tsunamilerin hareketleri ve kıyılardaki yükselmeleri ve karada ilerlemeleri hesaplanabilmektedir.

Depreşim Dalgaları (tsunamiler)'in oluşumu ve hareketini araştırmak için bilgisayar yardımı ile yapılan benzetim ve canlandırmaların sonuçları baskın haritaları oluşturulmasında CBS tabanlı uygulamalara girdi olarak kullanılabilir. Baskın haritalarının oluşturulmasında CBS tabanlı uygulamaların kullanılması, sonuçların kullanıcılar tarafından daha kolay anlaşılıp yorumlanabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle, araştırma sonuçları, CBS tabanlı uygulamalarla entegre edilerek görsel ve işlenebilir biçimde sunulmaya çalışılmıştır.

Ülkemizin güney batısında yer alan Fethiye ilçesi, tarihte çeşitli depremler ve tsunamilere maruz kalmıştır. Bu bölge, Helenik yay boyunca meydana gelebilecek depremler ile tetiklenebilen tsunamiler tarafından doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenebilir. Fethiye'ye olası tsunami etkisinin mertebesinin araştırılması ve bu konuda gerekirse önlem stratejilerinin geliştirilmesi için detaylı modelleme teknikleri kullanılmıştır. Bölgedeki olası depremlerin neden olacağı fay parametreleri tahmin edilerek tsunami kaynakları saptanabilir ve benzetim yapılarak, oluşacak dalganın ilerlemesi ve Fethiye'ye ulaşması ve körfez içinde ve sığ sularda yaratacağı su hareketleri hesaplanabilir.

Sunulan çalışmada ilk aşamada Fethiye için çeşitli kaynaklardan veriler toplanarak bir veritabanı oluşturulmuştur. İkinci aşamada ise hem deniz taban topoğrafyası hem de kıyı alanı kara topoğrafyasına ait sayısal veriler kullanılarak benzetim için ayrıntılı sayısal veri tabanı oluşturulmuştur. Üçüncü aşamada ise olası deprem senaryolarından örnek bir kaynak seçilerek benzetim ve canlandırma modelleri yapılmış ve tsunaminin Fethiye koyuna girmesi ve koy içindeki hareketleri modellenmiştir. Benzetim sonuçları olarak körfez içindeki (i) en yüksek su düzeyi değerleri (ii) en düşük su düzeyi değerleri (iii) akıntı hızları (iv) kıyılara ulaşma zamanları (v) dalga kuvvetleri hesaplanmış, körfez içinde su hareketleri saptanmıştır. Sonuçlar CBS tabanlı uygulamalara (ARCVIEW) aktarılarak örnek tsunami baskın haritaları hazırlanmıştır

Yürütülen yöntem ve sonuçlar anlatılarak tartışılmış, tsunami konusunda afet etkilerinin azaltılması için önlem ve stratejiler geliştirilmesine yardımcı olunmuştur. Bu çalışma CEC, contract n. 037058, FP6-2005-Global-4 tarafından desteklenen Avrupa Birliği Projesi TRANSFER (Tsunami Risk and Strategies for the European Region) tarafından kısmen desteklenmiştir.

Anahtar Sözcükler: tsunami, depreşim dalgası, Fethiye, baskın haritası, CBS, Helenik yay, sayısal modelleme, afet yönetimi

Development of GIS Based Inundation Maps for Fethiye Town, Turkey

Derya İtir Dilmen¹, Ahmet Cevdet Yalçiner¹, Andrey Zaytsev², Anton Chernov²,
Ceren Özer¹, Işıl İnsel¹, Efim Pelinovsky³, Andrey Kurkin², Hülya Karakuş¹,
Utku Kanoğlu⁴ & Fumihiko Imamura⁵

¹ Middle East Technical University, Civil Engineering Department,
Ocean Engineering Research Center, TR–06531 Ankara, Turkey (E-mail: yalciner@metu.edu.tr,)

² Department of Applied Mathematics, Nizhny, Novgorod State Technical University, Russia

³ Department of Nonlinear Geophysical Processes, Institute of Applied Physics,
46 Uljanov Street, 603950 Nizhny Novgorod, Russia

⁴ Middle East Technical University, Department of Engineering Sciences, TR–06531 Ankara, Turkey

⁵ Tohoku University Disaster Control Research Center, Sendai, Japan

Earthquakes or earthquake triggered submarine ground failures are main reasons of tsunamis and those are existent in the Mediterranean, Aegean, Marmara and Black sea in Turkey. The historical records show that Eastern Mediterranean encountered numerous large earthquakes especially in Hellenic Arc known as a source region for important tsunamis. For this reason, scientists from Russia and Turkey worked together to develop simulation/visualization programs called TUNAMI N3 and NAMI DANCE and these programs are used to understand the tsunami propagation in the Eastern Mediterranean. In order to evaluate the coastal amplifications of tsunamis in the region, the normalized maximum amplitudes of the water surface near the Southwestern coastline of Turkey are computed.

The results of simulation/ visualization programs can be returned to the GIS-based applications for display and spatial analysis. The Tsunami GIS Application allows users to create inundation scenarios for pre-calculated near shore and off shore sources for a tsunami event in a selected region. The final product is a map of inundated areas and estimates of the population affected from disaster in the inundation zone.

Fethiye town is a selected region which is located at south western coast of Turkey. It will be directly affected from tsunamis that can be triggered by the rupture of earthquakes in Hellenic Arc. Therefore in this work, detailed modeling study for Fethiye town and bay was applied using several ruptures of possible tsunami sources which can generate tsunamis. As a first step of the work, the general data of Fethiye was collected from different sources and a database was formed. Secondly, for each earthquake scenario, the tsunami propagation and coastal amplifications were computed. As the final step, a study of inundation areas of a probable tsunami in Fethiye Region was determined.

In this work, the reliable data was collected and processed; numerical tools and models were applied to a sample tsunami in order to understand its effects on town. These collected data were integrated to Tsunami GIS applications to organize, analyze and display them for the creation of inundation maps. The available results were used to understand the effects of tsunamis and develop mitigation strategies. Method and results are presented and discussed.

This study is partly supported by European Union Projects TRANSFER (Tsunami Risk and Strategies for the European Region) supported by the CEC, contract n. 037058, FP6-2005-Global-4.

Key Words: tsunami, Fethiye, inundation, GIS, numerical modeling, Hellenic arc

2005–2008 Bala (Ankara) Bölgesi Depremleri Zaman Ortamı Moment Tensör Analizi

Yeşim Çubuk ve Tuncay Taymaz

*İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 34390 Maslak, İstanbul
(E-posta: cubuky@itu.edu.tr)*

Bölgesel Moment Tensör ters çözüm yöntemi, yüksek kalitede geniş bantlı istasyon sayısının artması ile orta büyüklükte ($4.0 \leq M \leq 6.0$) ve bölgesel uzaklıklarda ($1^\circ \leq \Delta \leq 10^\circ$) olan depremlerin kaynak parametrelerinin belirlenmesi için kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmanın amacı, 2005–2008 Sırapınar-Bala (Ankara) depremlerinin kaynak parametreleri ve sismotektonik özelliklerinin incelenmesi ve depremler ile fay yapılarının özelliklerinin deprem verilerinden yararlanılarak bölgenin sismotektonik birimlerinin aydınlatılmasıdır. Bu amaçla Bala ve çevresinde 30.07.2005 ile 18.12.2008 tarihleri arasında meydana gelen ve büyüklükleri 4.0–5.7 arasında değişen 25 adet depremin verisi incelenmiştir. Bunlardan episantr uzaklığı yaklaşık olarak 50–300 km uzaklıkta değişen istasyonlarda kaydedilmiş olan gürültüsüz, üç bileşenli, geniş-band dalga şekilleri ile bölgesel moment tensör analizi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan yöntem küresel olarak kullanım alanı bulmakta olup, Dreger Zaman Ortamı Ters Çözüm Kodu olarak bilinmektedir (tdmt_invc). Bu yöntemde çalışma alanlarına uygun kabuk modeli kurulduktan sonra sentetik sismogramlar geliştirilerek ters çözüm yapılır ve sismik moment tensörün sadece deviatorik bileşeni çözülür. Sentetik ve gözlemsel genlikler arasındaki farkı minimuma indirgeyen, yüksek değerde ikili kuvvet çifti oranı ve VR değeri (Varyans azalım değeri) veren model en iyi çözüm olarak alınır. Böylece depremlerin odak mekanizması parametrelerine ulaşılır. Bu parametreler bölgeye ait sismotektonik ve yapısal jeoloji verileri de göz önüne alınarak bölgenin güncel aktif tektonik yapısı araştırılır. Yapılan çalışma sonucunda sinyal/gürültü oranı iyi olan 16 adet depremin ($M \geq 4.0$) odak mekanizması elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bu depremlerden sekiz tanesi KB–GD doğrultulu normal faylanma bileşeni de içerebilen sağ yanal atımlı faylanma mekanizması göstermektedir. Diğer depremler ise KD–GB ve D–B doğrultulu sağ yanal atımlı faylanma mekanizması ile meydana gelmektedir. Odak mekanizması çözümlerinin çoğunluğunun KB–GD doğrultulu olması, 2005–2008 deprem etkinliğinin genel karakteristiğinin KB–GD doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı faylanma ile temsil edildiğini göstermektedir. Depremlerin meydana geldiği yer, MTA Diri Fay Haritasına göre Ankara ili yakınındaki Tuz Gölü fayının sona erdiği bölgedir ve bu bölge KB–GD ve KD–GB doğrultulu, uzunluğu 10 km yi geçmeyen çapraz fay sistemleri içermektedir. Odak mekanizması çözümlerinin bölgenin aktif tektoniği ve yerel jeolojik özellikleriyle uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir.

Anahtar Sözcükler: aktif tektonik, Bala (Ankara), bölgesel moment tensör, deprem, odak mekanizması, ters çözüm

Time Domain Moment Tensor Analysis of 2005–2008 Bala (Ankara) Earthquakes

Yeşim Çubuk & Tuncay Taymaz

*Istanbul Technical University, Department of Geophysics, Maslak,
TR–34390 İstanbul, Turkey (E-mail: cubuky@itu.edu.tr)*

Regional Moment Tensor (RMT) method is commonly used to determine source parameters of moderate size earthquakes ($4.0 \leq M \leq 6.0$) recorded at regional distances ($1^\circ \leq \Delta \leq 10^\circ$), and it is widely accepted due to increasing number of high quality broad-band stations. The goal of this study is to analyse seismotectonic characteristics and source parameters of Sırapınar-Bala (Ankara) earthquakes occurred during 2005–2008, and to explain the geometry of active fault structures in the region by using seismological data. For this purpose, we have analysed 25 earthquakes ($4.0 \leq M \leq 5.7$) occurred between 30.07.2005 and 18.12.2008 in the region. We used three-component broad-band waveforms for which signal amplitudes were large enough, and recorded at epicentral distances between 50–300 km to obtain moment tensor solutions. Methodology used in this study is known as Time Domain Moment Tensor Inverse Code (tdmt_inv). In the inversion, we have adapted suitable crustal structure of the region. And then synthetic seismograms are calculated in order to compare the observed seismograms in terms of shape and amplitudes. This method solves only the deviatoric component of the seismic moment tensor. Thus the best solution was taken as the one that has minimum misfit between observed and synthetic seismograms, and highest double-couple percentage and variance reduction. Hence, these parameters are used to investigate active tectonics of the region in the light of seismotectonics and structural geology of the region. In this study we have consequently obtained focal mechanism solutions of 16 earthquakes ($M \geq 4.0$) which have good signal/noise ratios. According to focal mechanism solutions eight of them showed NW-SE direction with right lateral strike slip faulting, and some of them with normal faulting component. However, other earthquakes have NE–SW-, E–W-directed right lateral strike slip mechanisms. Generally, most of the solutions indicating NW–SE directions pointed out that the characteristics of 2005–2008 earthquake activity represents the NW–SE right-lateral strike-slip mechanism. Epicenters of these earthquakes are located at the end of Tuz Lake fault near Ankara. However, this region also includes NW–SE or NE–SW strike-slip faults and cross-cutting faults whose length does not exceed 10 km as published by MTA. Furthermore the focal mechanism solutions are consistent with the reported active tectonics of the local geological features of region

Key Words: active tectonics, Bala (Ankara), earthquake, regional moment tensor, focal mechanism, inversion

21 Temmuz 365 Girit Depremi ve İlişkili Tsunami Benzetimi

Seda Yolsal¹, Tuncay Taymaz¹ ve Ahmet Cevdet Yalçiner²

¹ *İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü,
34390 Maslak, İstanbul (E-posta: yolsalse@itu.edu.tr)*

² *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Okyanus Mühendisliği Merkezi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06531 Ankara*

Tarihsel kataloglar, Doğu Akdeniz Bölgesinde meydana gelen ve yıkıcı tsunami dalgalarına neden olan tarihsel depremlerin tekrarlanma aralıklarının yaklaşık 100-150 yıl olduğunu göstermektedir. Bu açıdan bakıldığında güvenilir tsunami kaynaklarının sınıflandırılması, bir bölgenin tsunami risk analizlerinin yapılabilmesi, erken uyarı sistemlerinin geliştirilebilmesi ve matematiksel yaklaşımlarla dalga simülasyonlarının elde edilebilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, tarihsel dönem içerisinde Hellenik yayının GB kenarında meydana gelmiş ve hemen hemen bütün Doğu Akdeniz kıyılarını Nil Deltası (İskenderiye-Mısır) ve Levant kıyılarına kadar etkilemiş olan 21 Temmuz 365 Girit depreminin matematiksel tsunami dalga simülasyonu sonuçları gösterilmiştir. Arkeoloji ve jeoloji çalışmaları, Girit adasının batısında yer alan antik liman içerisinde tsunami birikimlerinin varlığını işaret etmektedir.

Bu çalışma ile yapılan tsunami simülasyonları, doğrusal olmayan sığ su dalgası yaklaşımlarına dayalı olarak geliştirilen TUNAMI-N2, AVI-NAMI ve NAMI-DANCE programları ile gerçekleştirilmiştir. Tarihsel 21 Temmuz 365 Girit depremi ile meydana gelen tsunami dalgalarının oluşumu ve deniz içerisinde ilerlemeleri önerilen başlangıç ve sınır koşullarını içeren kaynak parametreleri ve GEBCO BODC (1997) batimetri verisi (2000 m grid) kullanılarak yapılan simülasyonlar ile saptanmıştır. Depreme ait kaynak parametreleri, sismolojik, jeodetik ve jeolojik gözlemlerden elde edilen GPS, arazi çalışmaları, aktif güncel levha sınırları ve güncel depremlerin odak mekanizması çözümlerini içeren deprem aktivitesi gibi bilgiler kullanılarak elde edilmiştir. Güncel depremlere ait odak mekanizması çözümleri, uzun periyotlu telesismik P ve SH dalga şekillerinin ters çözümü sonucunda belirlenmiştir. Tarihsel 365 Girit depreminin ~20 km odak derinliğinde meydana geldiği tahmin edilmektedir. Ayrıca, faylanan alanın yaklaşık 200 km uzunluk × 50 km genişliğe sahip olduğu, sismolojik açıdan kabul gören ampirik bağıntılar ile belirlenmiştir. Bu parametreler kullanılarak kaynakta meydana gelen başlangıç tsunami dalgasının yüksekliğinin yaklaşık 7.528 m olduğu hesaplanmıştır. Doğu Akdeniz bölgesinde yer alan çeşitli kıyılar için hesaplanan matematiksel yapay mareogramlar, deprem episantrına yakın olan Girit ve Oniki adalarda boyu > 10 m ye ulaşan tsunami dalgalarının meydana geldiğini göstermektedir. Ayrıca, tarihsel kataloglar ve diğer çalışmalar ile uyumlu olarak Afrika, Anadolu ve Levant kıyılarına ~ 30–80 dakika içerisinde ulaşan oldukça etkili tsunami dalgalarının gözlemlendiği (> 2–5 m) hesaplanarak belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Girit, Doğu Akdeniz, Hellenik Yay, simülasyon, telesismik ters çözüm, tsunami

The 21 July 365 AD Crete Earthquake and Simulation of its Associated Tsunami

Seda Yolsal¹, Tuncay Taymaz¹ & Ahmet Cevdet Yalçiner²

¹ *İstanbul Technical University, Department of Geophysics, Maslak,
TR–34390 İstanbul, Turkey (E-mail: yolsalse@itu.edu.tr)*

² *Middle East Technical University, Ocean Engineering Center, Department of Civil Engineering,
TR–06531 Ankara, Turkey.*

Identified strong tsunami events in the Eastern Mediterranean region reflect an apparent recurrence interval to be about 150-200 years. The compilation of reliable tsunami databases is of great importance for evaluating the tsunami risk assessments, early warning operations and numerical simulations for the studied region. In this presentation, we have shown numerical tsunami simulations of the historical 21 July 365 AD Crete earthquake (M~8.5) that struck the south western part of the Hellenic Arc and generated a tsunami affecting almost the entire eastern Mediterranean Region up to Nile Delta (Alexandria, Egypt) and Levant coasts. Many archaeological and geological studies presented evidences of tsunami deposits and uplifts in an ancient harbour in western Crete Island.

In this study, tsunami simulations were implemented by using the numerical codes of TUNAMI-N2, AVI-NAMI and NAMI-DANCE based on the non-linear shallow water long-waves approach. We have simulated and animated tsunami generation and propagation of the July 21, 365 Crete earthquake and we identified the coastal amplifications by using the GEBCO-BODC (1997) bathymetry data (2000 m grid). We have also obtained arrival times of tsunami waves to the selected the Eastern Mediterranean Sea coastal plains. The constraint of earthquake source parameters was achieved by using information from seismological, geological and geodetical observations such as GPS, reported field observations, current plate boundaries and seismic activity including focal mechanism solutions of recent strong earthquakes obtained by inversion of teleseismic P- and SH- waveforms. In this study, we have assumed representing thrust faulting mechanism solution with 20 km focal depth for this earthquake. Also it is assumed that the fault area is ~200 km (length) × 50 km (width), displacement is ~15 m by using the seismological empirical equations. We have calculated initial wave height at source as about 7.528 m using source parameters described above. Numerical synthetic mareograms for selected Eastern Mediterranean coastal plains showed great tsunami wave heights (> 10 m) especially near the epicentre at Crete and the Dodecanese islands. In addition, we have found that African, Anatolian and Levant coasts also affected from strong tsunami waves (> 2–5 m) which arrived to coasts ~ 30–80 min in consistent with historical documents and other previous studies.

Key Words: Crete, Eastern Mediterranean, Hellenic arc, simulation, teleseismic inversion, tsunami

Doğu Akdeniz Bölgesindeki Tsunami Dalgaları ve Deprem Kırılma Özellikleri Arasındaki İlişkiler İçin Duyarlılık Analizleri

Seda Yolsal¹, Tuncay Taymaz¹ ve Ahmet Cevdet Yalçiner²

¹ *İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 34390 Maslak, İstanbul
(E-posta: yolsalse@itu.edu.tr)*

² *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Okyanus Mühendisliği Merkezi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06531 Ankara*

Son yıllarda, tsunami dalgalarının yayılımları ve kıyılardaki etkileri yüksek çözünürlüklü batimetri verilerinin ve uygun matematiksel modellerin kullanılması ile oldukça doğru bir şekilde elde edilmektedir. Bu çalışmada, kıyılarda etkili olan su seviyesi genlikleri seçilen gözlem noktaları için belirlenerek kaynak parametrelerinin ve batimetrik yapının tsunami dalgasının deniz içerisinde ilerlemesine olan etkileri, sıg su dalgası teorisine dayalı matematiksel modellere dayalı simülasyonlar ile incelenmiştir. Yapılan duyarlılık analizleri ve çeşitli sayıda tarihsel depreme ait tsunami dalga simülasyonları ile her bir parametrenin tsunami dalga özellikleri üzerine olan etkisi belirlenmiş ve gelecekte olabilecek depremler ve ilişkili tsunamiler açısından potansiyel riske sahip kıyılar saptanmıştır.

Kırılma olduğu anda meydana gelen başlangıç tsunami dalgası yüksekliğine ve kıyılarda hesaplanan dalga genliklerine en fazla etki eden deprem kaynak parametreleri: [1] kaynaktan boşalan enerjinin miktarı olan sismik momenti ve dolayısıyla depremin büyüklüğü olduğu görülmüştür. Tsunami dalgalarının genlik ve şekilleri bu parametrelere bağlı olarak belirgin şekilde değişim göstermektedir. [2] Bir diğer önemli parametre deprem lokasyonunun doğru olarak belirlenebilmesidir. Deprem konumuna bağlı olarak, episantr ve çeşitli kıyılar arasındaki uzaklıklar değişeceği için tsunami dalgalarının kıyılara ulaşma süreleri ve genlikleri de değişim gösterecektir. Buradaki önemli etkenlerden birisi dalgaların deniz içerisindeki yayılımları nedeniyle kaynaktan uzaklaştıkça dalga enerjilerini bir miktar kaybetmesidir. Ancak başlangıç tsunami dalgasının genliğinin deprem lokasyonu ile değişmediği görülmüştür. [3] Odak mekanizması çözümünün değişmesi tsunami dalgalarının yayılma doğrultularını değiştirmekte ve dolayısıyla dalgaların kıyılara ulaşma süreleri değişerek farklı mekanizmalar için farklı şekil ve genliklerde yapay tsunami dalgaları elde edilmektedir. [4] Düşey kosismik yerdeğiştirme ve başlangıç tsunami dalgası arasındaki doğrusal ilişkiden dolayı, farklı yerdeğiştirme değerleri için farklı tsunami dalga genlikleri hesaplanmıştır. [5] Ayrıca, deprem kaynağı ile kıyılar arasında yer alan adalar ve deniz dağları gibi süreksizlik yapılarının varlığı, kıyı batimetrisi (örn; deniz içerisine yayılmış sedimanter kıta alanı) ve kıyı şeklinin de tsunami dalga genliklerini etkiledikleri dalga simülasyonlarında açıkça görülmektedir.

Anahtar Sözcükler: batimetri, deprem, Doğu Akdeniz, duyarlılık, kaynak, tsunami

Sensitivity Analysis on Relations Between Earthquake Source Rupture Parameters and Tsunami Waves in the Eastern Mediterranean

Seda Yolsal¹, Tuncay Taymaz¹ & Ahmet Cevdet Yalçiner²

¹ *Istanbul Technical University, Department of Geophysics, Maslak,
TR–34390 İstanbul, Turkey (E-mail: yolsalse@itu.edu.tr)*

² *Middle East Technical University, Ocean Engineering Center, Department of Civil Engineering,
TR–06531 Ankara, Turkey*

Tsunami propagation can be accurately evaluated by using high resolution bathymetry data and stochastic mathematical models. In this study, water surface fluctuations at selected tide gauges are calculated and then the effects of source parameters and bathymetry on tsunami wave heights and arrival times of initial tsunami waves are determined by using numerical simulation methods based on the shallow water theory. Sensitivity tests that take into account variability in earthquake rupture processes and source parameters are likely to exhibit effects of earthquake source characteristics on tsunami wave amplitudes and to help better assessments of tsunami hazard. Also several numerical simulation results of historical tsunamigenic earthquakes are obtained to constrain the Eastern Mediterranean coastal plains which are under potential tsunami risks.

The most important source parameters that effect tsunami wave characteristics are: [1] Magnitude and seismic moment of earthquake that is a measure of the energy release radiated at the focal depth. We have observed that wave amplitudes and shapes change considerably in the case of variation of magnitude and seismic moment, since tsunami waves develop with direct proportional relation to them. [2] Another parameter is the accurate estimation of tsunamigenic earthquake epicenter. According to sensitivity test results, variation of the earthquake location did not affect the initial tsunami wave heights, but final tsunami wave characteristics and their arrival times have been reasonably changed due to the variation of distance between the epicenter and coastal plains. Especially, wave spreading causes tsunami waves to decrease in amplitude as they move far away from the earthquake source. [3] Variation in focal mechanism solutions change the tsunami wave propagation directions, wave amplitudes, shapes and arrival times of initial tsunami waves to the coastal plains. [4] In addition, due to the linearity between the amount of vertical co-seismic displacement and initial tsunami wave, tsunami amplitudes are obtained as considerably different at each synthetic tide gauge stations in case of the variation in displacement. [5] Furthermore, it is clearly seen that the details of local bathymetry (e.g., extended sedimentary shelf area) and the sea bottom irregularities (e.g., sea mounts, volcanoes etc.) have crucial effects on tsunami wave amplitudes, shapes and travel times.

Key Words: bathymetry, earthquake, Eastern Mediterranean, sensitivity, source, tsunami