

BATI ANADOLU'NUN 3-BOYUTLU KABUK YAPISININ TAM DALGA BİÇİMİ TOMOGRAFİSİ YÖNTEMİYLE ANALİZİ

Yeşim Çubuk-Sabuncu^a, Tuncay Taymaz^a, Andreas Fichtner^b

^a*Istanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü
Maslak, 34469 Sarıyer, İstanbul, Türkiye*

^b*ETH-Zürich, Jeofizik Enstitüsü, Sonneggstrasse 5, CH-8092 Zürich, İsviçre
(cubuky@itu.edu.tr)*

ÖZ

Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) ve Ege bölgesi açılma sisteminin karşılaştığı Marmara denizi ve Batı Türkiye'de yoğun deprem aktivitesi gerçekleşmekte ve kabukta deformasyona sebep olmaktadır. Dolayısıyla, Batı-Kuzeybatı Türkiye'nin detaylı kabuk ve üst manto yapısının sismik görüntüleme yöntemleri kullanılarak elde edilmesi, bölgenin sismotektoniği ve jeodinamiğinin daha iyi anlaşılması için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, batı Anadolu'nun 3-Boyutlu (3-B) sismik hız yapısı doğrusal olmayan tam dalga biçimi tomografisi ve eklenik yöntem yardımıyla incelenmiştir. Sismik tomografi, yerin iç yapısını incelemek amacıyla farklı veri grupları ve yaklaşımlar kullanarak uygulama alanı bulan geleneksel bir yöntemdir. Günümüzde ise hesaplamalı sismoloji alanında olan gelişmeler ve yüksek başarımlı bilgisayar olanaklarının artmasıyla elastik dalga yayılımı simülasyonları 3-B küresel yer modelleri için yüksek mertebeli sayısal yöntemler kullanılarak hesaplanabilmektedir. Bu araştırmada, Batı Anadolu'da 2007-2015 yılları arasında meydana gelmiş ($M_w \geq 3.7$), nitelikli olarak kaydedilen 62 adet bölgesel (dış merkez $< 10^\circ$) depremin üç bileşen tam dalga biçimleri için tomografik simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Geniş band deprem verisi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Merkezi (KRDAE), Yunan Birleştirilmiş Sismik Ağı (HUSN, Yunanistan) ve Afet ve Acil Durum Yönetimi-Deprem Dairesi Başkanlığı Sismik Ağı (AFAD-DAD) veri tabanlarından derlenerek kullanılmıştır. 3-B dalga yayılımı simülasyonları yapmak amacıyla, dalga denkleminin sayısal çözümünü spektral elemanlar yöntemi ile gerçekleştiren SES3D algoritması kullanılmıştır. Sismik tam dalga biçimi ters çözümü aşamalarında, büyük ölçekli sismik ters çözüm iş akışı (LASIF) programı kullanılmıştır. Gözlemsel ve yapay sismogramlar arasındaki farklar, genlik ve faz bilgisini ayırmayı sağlayan zaman-frekans ortamı uyumsuzluklar yöntemi ile belirlenmiştir. Uyumsuzlukların iteratif olarak azaltılması esnasında eşlenik gradyan optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Ters çözüm sırasında kullanılmamış depremlere uygulanan model doğrulama testleri, sonuç olarak elde edilen 3-B yer modelinin 8-100s periyod aralığındaki dalga biçimlerini açıklamakta başarılı olduğu görülmüştür. Sayısal çözünürlük analizleri ise, B-KB Türkiye'de çözünürlüğün iyi olduğu bölgelerde sığ ve derin kabuk yapısı için 15-35 km arasında yatay çözünürlük uzunluğu elde edildiğini göstermiştir. Tam dalga biçimi tomografisi sonuçları, yaklaşık 35 km derinliğe kadar yatay ve düşey yönlere güçlü ($2.55 \leq V_s \leq 4.0$ km/s) sismik hız değişimlerinin olduğunu ortaya çıkartmıştır. Elde edilen sismik hız dağılımı ana fay zonları çevresinde (örn, KAFZ ve kolları) önemli ölçüde deformasyona uğramış ve dağılmış yapıların, eski ve yeni volkanizmaların (örn, Kula volkanik alanı) ve metamorfik çekirdek karmaşıklarının (örn, Menderes ve Kazdağ masifleri) karakteristik özelliklerini sergilemiştir. Kabukta elde edilen yüksek radyal anizotropi (%20) ise yine kabuktaki güçlü deformasyon ve heterojenitenin varlığını işaret etmektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada elde edilen 3-B yer modeli batı Türkiye'nin bilinen aktif tektoniği ile uyumlu sonuçlar göstermiştir ve deprem kaynak modellemesinde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Hesaplamalı sismoloji, anizotropi, tam dalga biçimi tomografisi, Türkiye

3-D CRUSTAL VELOCITY STRUCTURE OF WESTERN TURKEY: CONSTRAINTS FROM FULL-WAVEFORM TOMOGRAPHY

Yeşim Çubuk-Sabuncu^a, Tuncay Taymaz^a, Andreas Fichtner^b

^aIstanbul Technical University, the Faculty of Mines, Department of Geophysical Engineering, Maslak, 34469 Sarıyer, Istanbul, Turkey

^bETH-Zurich, Institute of Geophysics, Sonneggstrasse 5, CH-8092 Zurich, Switzerland
(cubuky@itu.edu.tr; taymaz@itu.edu.tr; andreas.fichtner@erdw.ethz.ch)

ABSTRACT

The Sea of Marmara and western Turkey are characterized by intense seismicity and crustal deformation due to transition tectonics between the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) and the extensional Aegean region. Seismic imaging of the crust and uppermost mantle in W-NW Turkey is crucial to obtain a better understanding of its seismotectonics and geodynamics layout. Here, we investigate the 3-D seismic velocity structure in this rapidly deforming region using non-linear full-waveform tomography based on the adjoint method. Seismic tomography has been the traditional approach of imaging Earth's interior using different data types and approximations. Today, advancements in computational seismology and supercomputing facilities enable us to accurately perform seismic wave propagation simulations using higher order numerical methods in 3-D spherical Earth models. We have selected and simulated three component complete waveforms of 62 regional earthquakes with epicentral distance, $\Delta < 10^\circ$, and with magnitudes $M_w \geq 3.7$, which occurred between 2007 and 2015. Earthquake data is obtained from broadband seismic stations of Kandilli Observatory and Earthquake Research Center (KOERI, Turkey), Hellenic Unified Seismic Network (HUSN, Greece) and Earthquake Research Center of Turkey (AFAD-DAD). The spectral-element solver of the wave equation, SES3D algorithm, is used to simulate seismic wave propagation in 3-D spherical coordinates. The Large Scale Seismic Inversion Framework (LASIF) workflow tool is also used to perform full seismic waveform inversion. Discrepancies between the observed and simulated synthetic waveforms are determined using the time-frequency misfits, which allows a separation between phase and amplitude information. The conjugate gradient optimization method is used to iteratively update the initial Earth model when minimizing the misfit. Validation tests show that our final 3-D Earth model is able to explain seismic waveforms from earthquakes not used in the inversion at periods from 8-100 s to within the data uncertainties. Furthermore, quantitative resolution analyses yield 15 to 35 km horizontal resolution lengths in the shallow and deep crust beneath well-covered areas of W-NW Turkey. Our full-waveform tomography results indicate the presence of strong lateral and vertical velocity variations ($2.55 \leq V_s \leq 4.0$ km/s) down to depths of ~ 35 km. The seismic velocity distribution is characteristic of highly deformed and distributed crustal features along major fault zones (e.g. NAFZ and its branches), historic and recent regional volcanism (e.g. Kula volcanic province), and metamorphic core complex developments (e.g. Menderes and Kazdağ massifs). Radial anisotropy is very strong (around 20%) throughout the crust, further indicating to strong deformation and heterogeneity. In summary, our 3-D model is overall consistent with the active tectonics of western Turkey, and it can be adequately used in earthquake source determinations.

Keywords: Computational seismology, seismic anisotropy, full-waveform tomography, Turkey