

## KUZEY ANADOLU FAYININ BATI KESİMİNDEKİ ÜST KABUK HIZ YAPISININ YEREL TOMOGRAFİ YÖNTEMİLE İNCELENMESİ

M. Uğur Teoman<sup>1</sup>, S. Altuncu Poyraz<sup>2</sup>, M. Didem Cambaz<sup>2</sup>, M. Kahraman<sup>1</sup>, N. Türkelli<sup>1</sup>, S. Rost<sup>3</sup>,  
G. Houseman<sup>3</sup>, D.A. Thompson<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Doktor ve Profesör, Jeofizik Müh. Bölümü, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul*

<sup>2</sup> *Doktor, Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDT M), Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul*

<sup>3</sup> *Profesör, Leeds Üniversitesi, England*

<sup>4</sup> *Doktor, Aberdeen Üniversitesi, England*  
*Email: ugurt@boun.edu.tr*

### ÖZET:

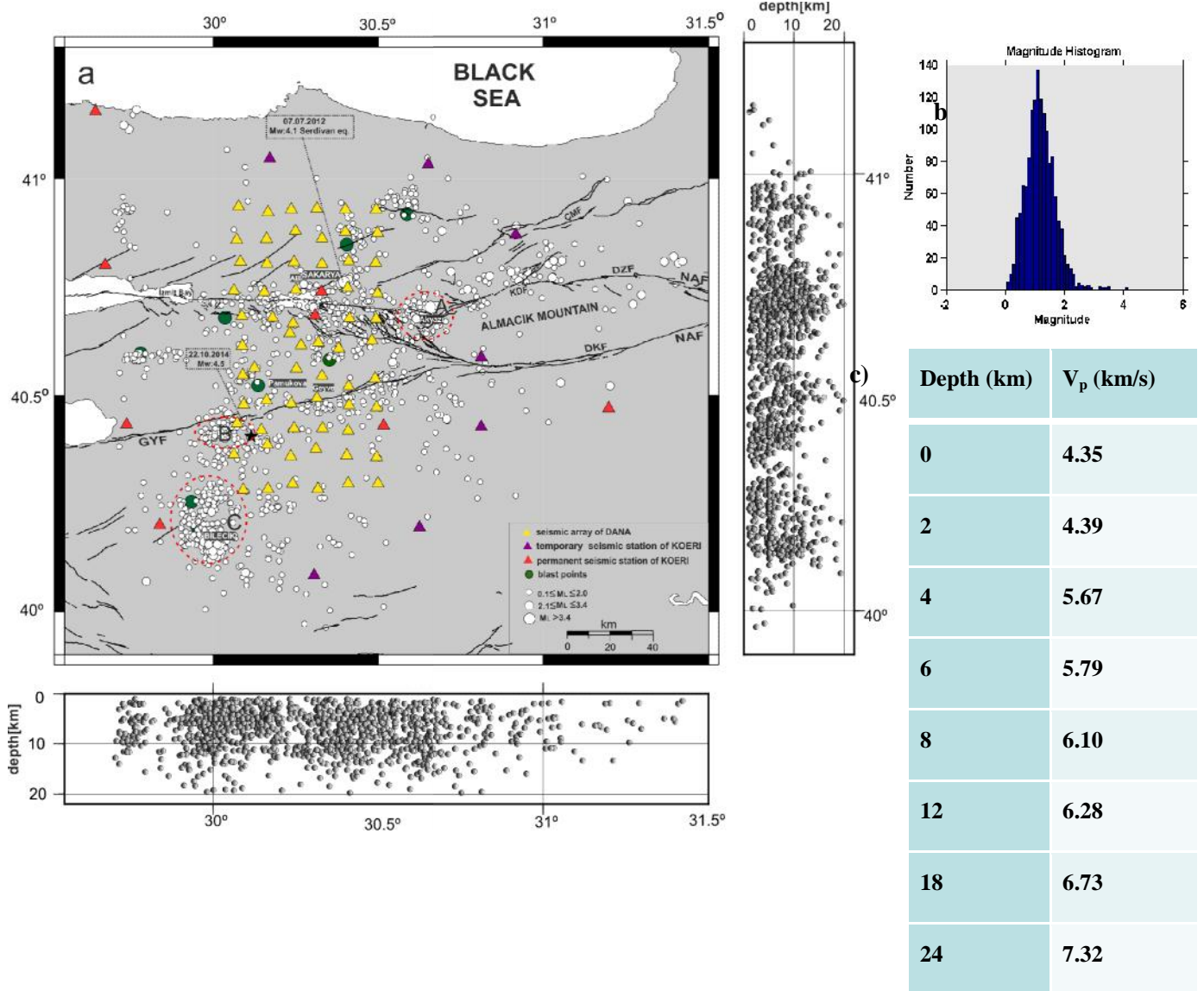
Bilindiği üzere, Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) Bolu'nun batısında iki kola ayrıldığı ve 1999 zmit ve Düzce deprem kırıklarının da içine alan kısmı sismik olarak oldukça aktif olup süregelen bir deprem riski içermektedir. Bölgeye, İngiltere'den Leeds Üniversitesi ile ortak yürütülen Faultlab projesi kapsamında 70 adet üç boyutlu sismometreden oluşan geçici bir sismik ağ kurulmuştur. Mayıs 2012 ve Ekim 2013 arasındaki dönemde toplanan sismik verilerden yararlanılarak bölgenin kabuk ve üst manto yapısı ile birlikte depremselliği hakkında da ayrıntılı ve güvenilir bulgular elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada, Faultlab Projesi'nden elde edilen yerel deprem verileri kullanılarak (811 adet yerel deprem), Sakarya bölgesi ve yakın çevresine ait üst kabuk sismik P dalgası hız yapısı üç-boyutlu yerel deprem tomografisi (LET) yöntemi ile saptanmaya çalışılmıştır. Bir ve üç boyutlu ters çözümler sonucu elde edilen sonuçlar bölgenin tektonik ve sismolojik unsurları ile birlikte yorumlanmaya çalışılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER :** Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), sismisite, sismik tomografi

### 1. GİRİŞ

Lokal Deprem Tomografisi (LET), sismik olarak aktif bir bölgede ağ içinde kaydedilen yerel depremlere ait seyahat zamanları kullanılarak bölgenin iki veya üç-boyutlu (3-D) hız yapısının görüntülenmesi işlemidir. Uygulamada, sismik tomografi medikal tomografiye kıyasla çok daha karmaşıktır çünkü sismik dalgalar görüntülenmek istenen yapı ile kuvvetli etkileşimlere girerler ve bu izleme teknikleri problemin önemli bir parçasını oluşturur. Güvenilir sonuçlar elde etmek için kaliteli bir veri setine, güvenilir başlangıç odak koordinatlarına ve bölgenin yapısını en iyi temsil edecek bir boyutlu P dalgası hız modeline gereksinim duyulmaktadır. Yerel yöntemlerin telesismik yöntemlere göre belirgin bazı avantajları vardır. Bunlardan en önemlisi yerel depremlerin yüksek frekans içeriğinden dolayı çok daha yüksek çözünürlük sağlamalarıdır. Diğer taraftan, elde edilen modelin çözünürlüğü depremlerin derinlik derinlikleri ile sınırlı olmakla birlikte, ilk deprem lokasyonları ve hız modeli arasındaki etkileşim birtakım kararsızlıklara sebep olmaktadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) batı kesimindeki sırt ve derin yapıyı araştırmak amacıyla İngiltere Doğu Çevre Araştırma Konseyi (The Natural Environment Research Council, NERC), Boğaziçi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP-6193-9406) ve Sakarya Üniversitesi lojistik destekleri ile Sakarya ili ve çevresine 2012 Mayıs ayında geçici olarak 71 adet geniş bant sismometre kurulmuştur. Bu sismik dizinin (DANA Array- Dense Array North Anatolia) 1999 zmit ve Düzce ana okları arasında kalan bölgede altı paralel hat üzerinde, KAF'nın kuzey ve güney kollarını 7 km aralıklarla kesecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 1.a)

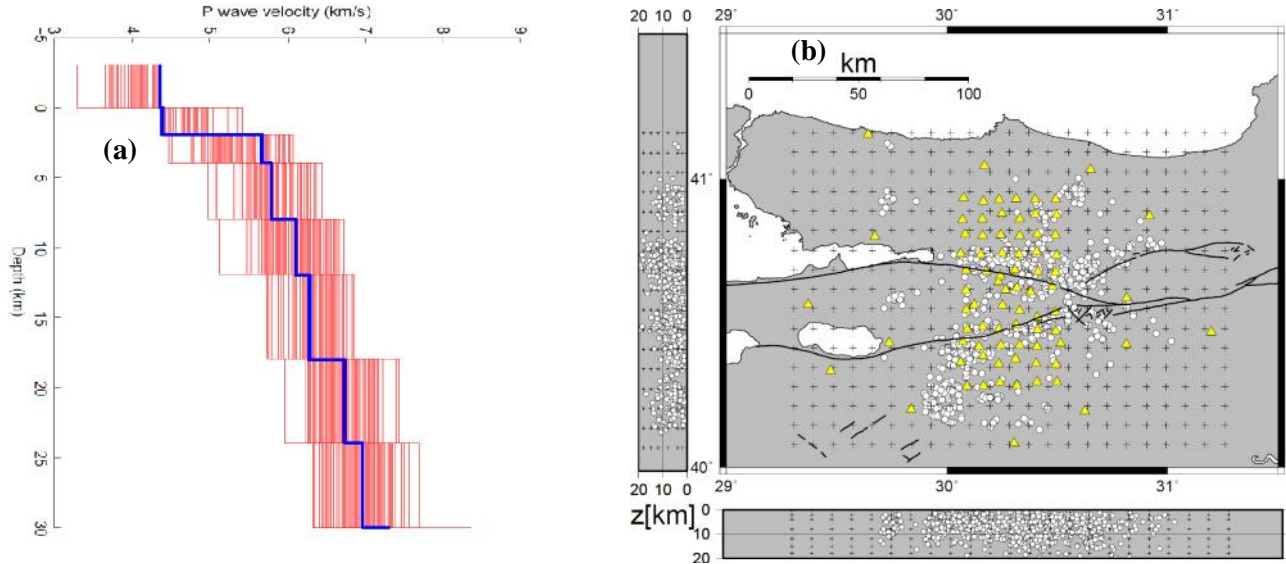
syasyon da ılımını daha da iyile tirmek için üç bile enli geni bant sismometrelere ek olarak Kandilli Rasathanesi ve Deprem Ara tırma Enstitüsü'nün i letti i üç adet istasyon kullanılmı tır. İk veri setinde (toplam 1341 adet deprem içim) ortalama residüel de erleri  $-0.4$  ile  $+0.4$  saniye arasındadır ve derinlik de erleri ço unlukla 0-15 km aralı nda de i mektedir ( ekil 1.a). Minimum ölçülen lokal deprem büyüklü ü 0.1 olup ( ekil 1b); yatay lokasyon hataları 0.5km, dü ey lokasyon hataları ise 2 km yi geçmemektedir. Bu çalı mada kullanılanba langıç hız modeli ise ekil 1c de gösterilmektedir.



ekil 1: a) Yerel depremlerin dağılımı (Mayıs 2012-Eylül 2013) b) Depremlerin lokal büyüklük dağılımı. c) Lokasyon a masında kullanılan bir boyutlu baylangıç hız modeli (Karabulut vd., 2011) Kısaltmalar; AB: Adapazarı Baseni, ÇMF: Çilimli Fayı, DB: Düzce Baseni, DKF:Dokurcun Fayı, DZF:Düzce Fayı, GYF:Geyve Fayı, KDF: Karadere Fayı (Altuncu Poyraz vd., 2015).

## 2. YÖNTEM VE BULGULAR

Yer bulma işleminden sonra bölgenin bir boyutlu hız yapısını belirlemek amacıyla ilk veri setinden kaliteli olarak nitelendirilen depremler seçilmiştir. Kıstas olarak azimutal boğlulukları (GAP)  $\leq 180^\circ$  ve P dalgası gözlem sayıları (P)  $\geq 10$  olan depremler seçilmiştir (Toplam 19812 adet P fazı okuması). Bir boyutlu P dalgası hız modeline zamanlı ve yinelenmeli ters çözüm yapan VELEST (Kissling vd., 1994) yazılımı ile hesaplanmıştır. Bu yazılım ile bir boyutlu hız modelinin yanı sıra yeni odaksal parametreler ve istasyon düzeltmeleri de hesaplanmıştır. Modelin hesaplanmasında giriş olarak üç farklı hız modeli kullanılmış ve bu üç modelden 10 yinelenme ve 4 işlem adımı sonrasında elde edilen sonuçlar esas alınarak başlangıç hız modeli oluşturulmuştur. Tüm modeller bölgenin kabuk yapısına uygun olarak 0-20 km arasında hazırlanmıştır.



**ekil 2. (a)** Sakarya bölgesi için saptanan P dalgası bir boyutlu başlangıç hız modeli (kalın mavi çizgi). Kırmızı çizgiler ise bu süreçte kullanılan başlangıç modellerini göstermektedir (100 adet) **(b)** Tomografik ters çözümde kullanılan depremler ve derinlik kesitleri. Beyaz daireler depremleri, sarı üçgenler istasyonları, siyah artı işaretleri çözüme katılan düğüm noktalarını göstermektedir.

Son olarak saptanan bir boyutlu P dalgası hız modelinin (ekil 2.a) çözüm gücü çeşitli modellerde test edilmiştir. Bu testlerin sonucunda modelin bölgenin yapısını temsil ettiğine karar verilmiştir. Daha sonra bu optimum hız modeli ve istasyon düzeltmeleri kullanılarak depremlerin yeniden yer bulma işlemi VELEST ile yapılmıştır. VELEST programından elde edilen sonuçlara bakıldığında ortalama residual değerleri 0,27 saniyeye ve ortalama veri varyansı ise 0,23'e düşmüştür.

En uygun hız modelinin saptanmasını takiben, son veri seti üzerine üç boyutlu tomografik ters çözüm yöntemleri uygulanmıştır. Tomografik ters çözüm, düğüm noktalarını ve sönümlü en küçük kareler yöntemini kullanan SIMULPS14 (Thurber, 1993) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. İstasyon ve depremlerin dağılımı gözönünde bulundurularak yatay yönde düğüm noktaları aralığı 7,5 km olarak belirlenmiştir (ekil 2.b), dikey yönde ise bir boyutlu başlangıç hız modelinden alınan derinlik değerleri kullanılmıştır. Modelleme başlangıç hız modelinde olduğu gibi 20 km derinliğe kadar yapılmıştır. Uygun kontrol parametreleri ve ters çözüm için kritik olan indirgeme parametresi belirlendikten sonra (Eberhart-Philips, 1986), üç boyutlu tomografik ters çözümlere başlanmıştır.

Yukarıda belrtilen i lemlerin sonucunda bölgeye ait üç boyutlu P hızı dalga modeli ve en son odak koordinatları saptanmıştır. Tomografik sonuçlar yatay ve dü ey kesitler üzerinde irdelenmiş ve yoruma gidilmiştir. Bu amaçla amalar esnasında varyans ve residuel değerlerinde sırası ile %50 ve %40'a varan kayda değer azalmalar gözlenmiştir. Daha sonra elde edilen üç boyutlu P dalgası hız modelinin çözünürlük gücü ve sınırlarını saptamak amacıyla sentetik veri kullanılarak çe itli testler uygulanmış ve yaklaşık 17 km ye kadar güvenilir çözünürlük elde edilmiştir. Çözünürlü ü etkileyen kritik parametreler hesaplanmış ve haritalanmıştır. Ters çözüm sonucunda fayın her iki kolunda kesen dü ey ve yatay kesitler boyunca üç boyutlu hız yapısı haritalanmaya çalışılmıştır. Tüm tomografik uygulamalardan sonra sonuçların bölgenin tektonik ve sismolojik yapısı ile uyumlulu u irdelenmiş ve önceki çalışmaları ile karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen son deprem koordinatları ile ilk veri seti arasındaki farklar vurgulanmıştır. Derin depremlerin daha sınırlı derinliklere kaydırılması gözlenmiştir.

### KAYNAKLAR

Altuncu Poyraz, S., Teoman, M.U., Türkelli, N., Kahraman, M., Cambaz, D., Mutlu, A., Rost, S., Houseman, G.A., Thompson, D.A., Cornwell, D., Utkucu, M., Gülen, L., (2015). New constraints on micro-seismicity and stress state in the western part of the North Anatolian Fault Zone: Observations from a dense seismic array, *Tectonophysics* **656**, 190-201.

Karabulut, H., Schmittbuhl, J., Özalaybey, S., Lengliné, O., Kömeç Mutlu, A., Durand, V., Bouchon, M., Daniel, G., Bouin, M.P., 2011. Evolution of the seismicity in the eastern Marmara Sea a decade before and after the 17 August 1999 Izmit earthquake, *Tectonophysics* **510**, 17–27.

EBERHART-PHILIPS, D., 1986. Three-dimensional velocity structure in northern California Coast Ranges for inversion of local earthquakes arrival times, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **76**, 1025-1052.

KISSLING, E., ELLSWOTH, W.L., EBERHART-PHILIPS, D., KRADOLFER, U., 1994. Initial reference models in seismic tomography. *J. Geophys. Res.* **99**, 19635-19646.

THURBER, C.H., 1993. Local earthquake Tomography: velocities and Vp/Vs theory. *In: Iyer, H.M., Hirahara, K. (Eds.), Seismic Tomography: Theory and Practice*. Chapman and Hall, London, pp. 563-583.

---