

Evolution of the Eastern Black Sea from wide-angle seismic data and subsidence analysis

Donna J. SHILLINGTON¹, Timothy A. MINSHULL², Rosemary A. EDWARDS², Nicky WHITE³, Caroline L. SCOTT² and Peter J. BROWN²

*Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University, 61 Route 9W, Palisades, NY10964, USA
National Oceanography Centre, Southampton, European Way, Southampton, SO14 3ZH, U ,
Bullard Laboratories, University of Cambridge, Madingley Road, Cambridge, CB3 0EZ, UK*

The western and eastern basins of the Black Sea are thought to have formed in a back-arc extensional environment because of their close spatial association with the subduction of both the Paleo- and Neo-Tethys Oceans [Zonenshain and Le Pichon, 1986; Okay et al., 1994]. Although general agreement exists on many aspects of the formation of the western Black Sea, several core questions linger about the evolution of the eastern Black Sea (EBS): When did it begin opening and how long did opening last? Did extension culminate in continental rupture and the onset of seafloor spreading? How did extension vary along-strike and with depth through the lithosphere? Results from modeling of wide-angle seismic reflection/refraction data and subsidence analysis provide important new constraints on the formation of the EBS.

In 2005, we acquired wide-angle seismic data along four profiles in the EBS that constrain crustal thinning on the southern margin of the basin, the affinity of crust in the basin center, the structure of the Mid Black Sea High and the characteristics of basin infill. Two profiles on the southern margin reveal abrupt thinning of the crust at the edge of the basin and indicate stretching factors (initial/final crustal thickness) of ~ 5 . These lines also reveal along-strike changes in the style of thinning and the affinity of crust in the basin center. To the east, the basin is underlain by a wide zone of thin continental crust (7-9 km thick). To the west, thick (11-13 km) magmatic crust underlies the basin, possibly emplaced by early, magmatically robust seafloor spreading. A strike line indicates that the transition between these crustal types is abrupt, occurring over only 20-30 km, and coincides with a transform fault. We attribute these observations to the development of 3D melt migration due to along-strike variations in extension and thus the thickness of the lithosphere at the time of rifting [Shillington et al., 2009]. Wide-angle seismic data also reveal a wide-spread low-velocity zone in the sediments that corresponds to the Maikop formation, the primary source rock in the Black Sea, which we interpret to represent overpressures that are likely related to mud volcanism around the edges of the Black Sea [Scott et al., in press].

The sedimentary infill of the EBS constitutes one of the primary constraints on the timing of basin formation and on lithospheric stretching during basin formation. We have undertaken subsidence analysis using two kinematic algorithms that do not make any assumptions regarding the timing, duration, location, or magnitude of extension [Shillington et al., 2008]. One algorithm assumes pure-shear extension [White and Bellingham, 2002], while the other allows depth-dependent extension without assuming its existence or form [Edwards, 2006]. Both approaches suggest that extension did not vary substantially with depth in the EBS. The amount of extension inferred by subsidence analysis agrees with estimates from wide-angle data, providing further support for predominantly pure shear stretching. This work also indicates that extension continued into the early Cenozoic, in agreement with onshore timing constraints [Banks et al., 1997].

Keywords: rifting, Black Sea, subsidence, overpressure, seismic tomography

Banks, C. J., A. G. Robinson, and M. P. Williams (1997), Structure and regional tectonics of the Achara-Trialet fold

belt and the adjacent Rioni and Kartli foreland basins, AAPG, Tulsa, OK.

Edwards, G. R. H. (2006), Inverse Modelling of Extensional Sedimentary Basins, Doctoral thesis, 226 pp, University of Cambridge, Cambridge. Okay, A. I., A. M. C. Sengor, and N. Görür (1994), Kinematic history of the opening of the Black Sea and its effect

on the surrounding regions, *Geology*, 22, 267-270. Scott, C. L., D. J. Shillington, T. A. Minshull, R. A. Edwards, P. J. Brown, and N. J. White (in press), Wide-angle seismic data reveal extensive overpressures in Eastern Black Sea, *Geophys. J. Int.*, doi: 10.1111/j.1365-

1246X.2009.04215.x. Shillington, D. J., C. L. Scott, T. A. Minshull, R. A. Edwards, P. J. Brown,

and N. White (2009), Abrupt transition

from magma-starved to magma-rich rifting in the eastern Black Sea, *Geology*, 37, 7-10,

doi: 10.1130/G25302A.25301. Shillington, D. J., N. White, T. A. Minshull, G. R. H. Edwards, S. Jones, R. A. Edwards, and C. L. Scott (2008),

Cenozoic evolution of the eastern Black Sea: a test of depth-dependent stretching models, *Earth Planet. Sci. Lett.*,

265, 360-378. White, N., and P. Bellingham (2002), A two-dimensional inverse model for extensional sedimentary basins: 1.

Theory, *J. Geophys. Res.*, 107, doi: 10.1029/2001JB000173. Zonenshain, L. P., and X. Le Pichon (1986), Deep Basins of the Black Sea and Caspian Sea as Remnants of

Mesozoic Back-Arc Basins, *Tectonophysics*, 123, 181-277.

Geniş-açı sismik verilerinden Doğu Karadeniz'in evrimi ve çökme analizi

Karadeniz batı ve doğu havzalarının, hem Paleo hem de Neo-Tetis Okyanuslarının dalma-batması ile yakın mekansal birlikteliği nedeniyle, bir yay-ardı açılma/genişleme ortamında oluşmuş olduğu düşünülür (Zonenshain ve Le Pichon, 1986; Okay ve diğ., 1994). Batı Karadeniz'in oluşumunun çoğu yönleri üzerinde genel bir uzlaşma olsa da, Doğu Karadeniz'in evrimi konusunda bazı çekirdek sorular henüz yanıtlanmamıştır: Ne zaman açılmaya başladı ve açılması ne kadar sürdü? Açılma, kıtasal kırılmada ve deniz tabanı yayılmasının başlaması ile mi doruğa ulaştı? Açılma, kabuk içinde doğrultu boyunca ve derinliğe bağlı olarak nasıl farklılaştı? Geniş-açılı sismik yansıma/kırılma verilerinin modellenmesi ve çökme analizinden varılan sonuçlar, Doğu Karadeniz'in oluşumu konusunda yeni ve önemli sınırlamalar getirir.

2005 yılında, Doğu Karadeniz'de dört profil boyunca, havzanın güney kenarındaki kabuk incelmelerini, havza ortasındaki kabuk eğilimini, Orta Karadeniz Yükseltisinin yapısını ve havza dolgusunun karakteristiklerini bağlayan, geniş-açılı sismik veriler edindik. Güney kenarındaki iki profil, havza kenarında kabuğun aniden incelmediğini açığa çıkarır ve gerilim (ilk/son kabuk kalınlığı) faktörlerini ~ 5 olarak gösterir. Bu hatlar, yine, incelme stilinde doğrultu boyunca olan değişimleri ve kabuğun havza merkezindeki eğilimini de ortaya koyar. Daha doğuya doğru, havza, geniş bir ince (7-9 km kalınlıklı) kıtasal kabuk zonu ile altlanır. Batıya doğru, kaim (11-13 km) ve muhtemelen erken ve mağmatik açıdan güçlü deniz tabanı yayılmasının yerleştirdiği mağmatik kabuk havzayı altlar. Bir doğrultu hattı, bu kabuk tipleri arasındaki geçişin ani olduğunu, yaklaşık 20-30 km içinde geliştiğini ve bir transform fayla çakıştığını gösterir. Bu gözlemleri, açılmadaki doğrultu-boyunca farklılaşmalara bağlı olan eriyik göçünün 3-boyutlu gelişimine ve bu nedenle de riftleşme dönemindeki kabuk kalınlığına bağlamaktayız (Shillington ve diğ., 2009). Geniş-açılı sismik veriler, Karadeniz'de en önemli kaynak kayaç olan ve Karadeniz kıyıları çevresindeki çamur volkanizması ile ilintili olması muhtemel aşırı basınçları örneklediğini düşündüğümüz Maykop Formasyonuna eş-gelen sedimanlardaki geniş yayılımlı bir düşük-hız zonunu da açığa çıkarır (Scott ve diğ., baskıda)..

Doğu Karadeniz'in sedimanter dolgusu, havza oluşumunun tarihlenmesi ve havza oluşumu sırasındaki kabuksal enseme konularındaki ana sınırlamalardan birini oluşturur. Açılmanın tarihlenmesi, süresi, yeri ya da büyüklüğü konularında hiçbir varsayım öne sürmeyen iki kinematik algoritma kullanarak, çökme analizine de giriştik (Shillington ve diğ., 2008). Algoritmalarından biri, pür-makasla açılmasını öngörürken (White ve Bellingham, 2002), diğeri, varlığını ya da biçimini öngörmeksizin, derinliğe-bağlı açılmayı düşünür (Edwards, 2006). Her iki yaklaşım da, Karadeniz'de açılmanın derinlikle önemli ölçüde değişmediğini düşündürür. Çökme analizi ile çıkarsanan açılma miktarı, geniş-açılı sismik verilerle ulaşılan tahminlerle uyusur ve genelde pür-makasla gerilimine daha çok destek olur. Bu çalışma, kıyı kuşağı tarihlenme sınırlamaları (Banks ve diğ., 1997) ile uyumlu olarak, açılmanın Erken Senozoik içlerine dek sürdüğünü de gösterir.

Anahtar Kelimeler: Riftleşme, Karadeniz, çökme, aşırı basınç, sismik tomografi