



Kuvaterner Yaşlı Güneydoğu Karadeniz Fayı'nın Arazi Verileri ve Bunun Tektonik Önemi, Doğu Pontidler, Türkiye

Field Evidence for Southeast Black Sea Fault of Quaternary Age and Its Tectonic Implications, Eastern Pontides, Turkey

**Mustafa Softa^{*1}, Tahir Emre¹, Hasan Sözbilir¹,
Joel Q.G. Spencer², Mehmet Turan³**

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Kampüsü, 35390 Buca-İzmir, Türkiye

² Kansas State University, Department of Geology, Manhattan, 66502, Kansas, USA

³ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kanuni Kampüsü, 61080 Trabzon, Türkiye

Geliş/Received : 12.11.2018 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 22.12.2018 • Kabul/Accepted : 24.12.2018 • Baskı/Printed : 01.01.2019
Araştırma Makalesi/Research Article *Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

Öz: Doğu Pontidler, Arabistan-Avrasya levhalarının yakınlaşmasından dolayı sıkışmalı fay geçişi (transpressional) içerisinde, 0,5 mm'den fazla bir hızla “push-up” geometrisiyle yükselen aktif bir dağ kuşağıdır. Söz konusu yükselim, Karadeniz'e cephe dağ önlerinde ilk kez bu çalışmada haritalanan ara aşmalı (en échelon) geometrili eğim/verev atımlı normal fay segmentleri tarafından karşılanmaktadır. Yaklaşık 65 km uzunluğunda ve 1 km genişliğinde 9 farklı parçadan oluşan Güneydoğu Karadeniz Fay zonu boyunca yapılan kinematik çalışmalarda eğim açıları 60°-90° ve kayma açıları (rake) 32°-90° arasında değişen ve sahil kesimindeki dağ önlerini denetleyen çok sayıda fay düzlemi ölçülmüştür.

Bu çalışmada varılan sonuçlar, (i) Doğu Pontidler'in kıyı şeridinde gözlenen bu faylanma, başlangıçta σ_1 'in yatay konumlu olduğu sıkışmalı bir ortamda oluşan bindirme fayı ve ters bileşenli doğrultu atımlı faylar nedeniyle kabuk kalınlığını artırdığını ve bunun sonucunda yatayda olan σ_1 düşey konuma geçerek eski zayıflık zonlarının normal faylar şeklinde yeniden çalıştığını, (ii) Güneydoğu Karadeniz Fayı olarak tanımlanan bu zayıflık zonunun Kuvaterner'de yüzey faylanmasıyla sonuçlanmış depremler ürettiğini ve bu nedenle Türkiye Diri Fay Haritası'nda “Kuvaterner Fayı” sınıfında değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Doğu Pontidler, Güneydoğu Karadeniz Fayı, kinematik analiz, tektonik jeomorfoloji

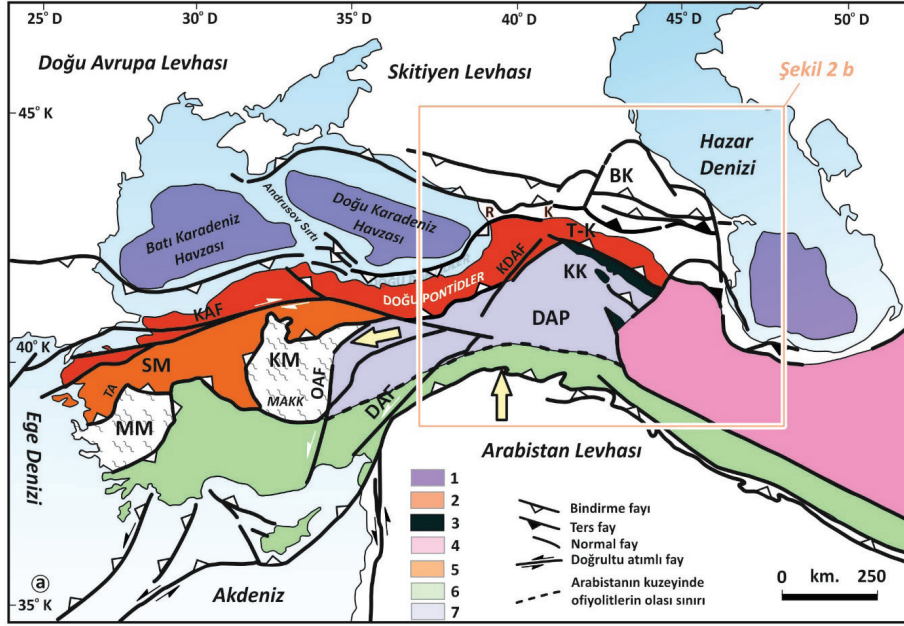
Abstract: The Eastern Pontides, which is the under transpressional deformation zone, is an active mountain belt in northern Turkey that has been uplifting at a rate of more than 0.5 mm/year, along with push-up geometry. This uplift is accommodated by the dip/oblique slip normal fault segments of an en-echelon geometry mountain front mapped here for the first time. According to our geological mapping studies, the Southeast Black Sea Fault zone is about 65 km total long and more than 1 km wide and comprises nine fault segments. In the kinematic analysis conducted along the fault zone, fault planes have dip angles between 60°-90° to the north. The measured fault planes have rake angles range from 32° to 90°. Our findings indicate that (i) the faulting observed in the mountain front of the Eastern Pontides, the crustal thickness has increased due to thrust component strike-slip faults formed in a compressive regime where σ_1 was horizontal at the initially, as a result of this, σ_1 which is the horizontal position went into a vertical position, and lastly the former weakness zones were re-activated as normal faults, (ii) this weakness is defined as an Southeast Black Sea Fault that produces earthquakes have resulted in surface rupture in the Quaternary and therefore this fault should be considered in the class of “Quaternary Fault” in Turkey's active fault maps.

Keywords: Eastern Pontides, kinematic analysis, Southeast Black Sea Fault, tectonic geomorphology

GİRİŞ

Güneyden Güneydoğu Karadeniz Fayı ile sınırlanan Karadeniz havzası; Alp-Himalaya Dağ Kuşağı içerisinde, Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) kuzeyinde, Kuzey Doğu Anadolu Fayı'nın (KDAF), (Ketin, 1969) kuzeybatısında yer alır (Şekil 1). Birbirlerinden farklı jeolojik, tektonik özellikler sunmasından dolayı Karadeniz Havzası'nın güneyi Pontidler olarak bilinen ve batı, orta ve doğu Pontidler olmak üzere üç ana bölüme ayrılan Karadeniz dağ kuşağı ile temsil edilir (Yılmaz vd., 1997). Batı ve Orta Pontidler'de

KAF'na verev olarak gelişen birçok diri ve diri olabilecek fay setleri tanımlanmıştır (Emre vd., 2013), (Şekil 2a). Yapılan tektonik modellemelerde bindirme-ters bileşenli olan bu fayların KAF'a bağlandığı ve bölgenin kuzey yönlü sürüklendiği önerilmektedir (Yıldırım vd., 2011, 2013). Buna karşın Doğu Pontidler, güneybatıdan KAF, güney-güneydoğudan KDAF ve Borjomi-Kazbegi Fayı (Philip vd., 1989) ve kuzeyinden Karadeniz Fayı (Eyüboğlu vd., 2016) ile sınırlı olmasına rağmen, Doğu Pontidler'de diri bir fay varlığından söz edilmemektedir (Şekil 2a, b, c).



Şekil 1. Anadolu'nun ve Kafkasların genel hatlarıyla jeoloji haritası (Sosson vd., 2016; Hässig vd., 2016; Rolland vd., 2016'dan değiştirilerek). KAF: Kuzey Anadolu Fayı, OAF: Orta Anadolu Fayı, DAF: Doğu Anadolu Fayı, BK: Büyük Kafkaslar, KK: Küçük Kafkaslar, T-K: Trans Kafkaslar, KM: Kırşehir Masifi, MM: Menderes Masifi, SM: Sakarya Kıtası, MAKK: Orta Anadolu Kristalin Kayalar, DAP: Doğu Anadolu Platosu, R-K: Rioni Kura Havzası, 1: Olası Okyanus Kabuğu, 2: Pontidler, Somkheto-Karabakh, 3: Ofiyolitler, 4: İran Yığılma Karmaşığı (Eo-Kimmeriyen), 5: Sakarya Yığılma Karmaşığı, 6: Likya Napları, Ofiyolitler, Arabistan birimleri, 7: Torid, Anatolide, Doğu Anadolu Yığılma Karmaşığı.

Figure 1. General geological map of the Anatolia-Caucasus region, after Sosson et al. (2016), Hässig et al. (2016) and Rolland et al. (2016) with modifications. NAF: North Anatolian Fault, OAF: Central Anatolian Fault, EAF: East Anatolian Fault, GC: Greater Caucasus, LC: Lesser Caucasus, T-C: Trans Caucasus, KM: Kirsehir Massif, MM: Menderes Massif, SM: Sakarya Massif, MAKK: Central Anatolian Crystalline Complex, DAP: East Anatolian Block, R-K: Rioni Kura Basin 1: Suspected Oceanic Crust, 2: Pontides, 3: Ophiolites, 4: Iran Accreted Terrane (Eo-Cimmerian), 5: Sakarya Accreted Terrane, 6: Lycian Nappes, Ophiolites, Peri Arabic Units, 7: Taurides, Anatolides, East Anatolian Accreted Terrane.

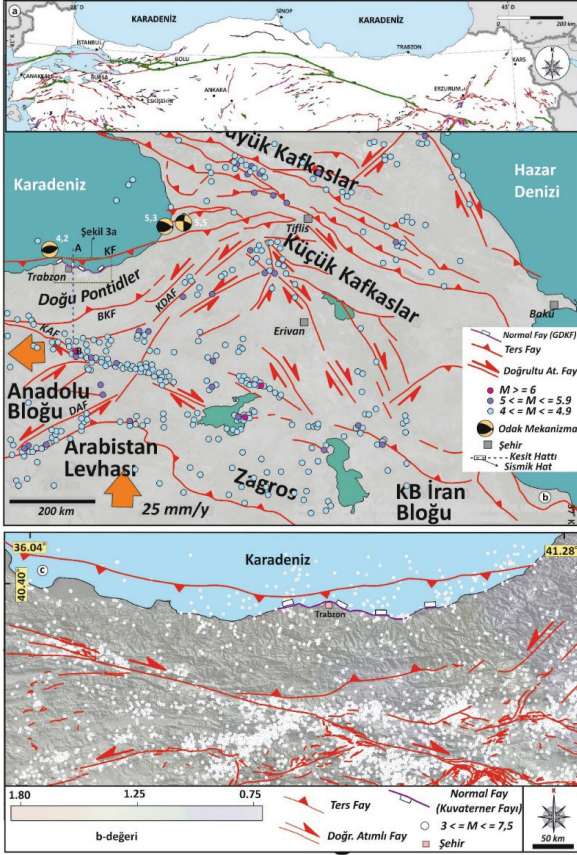
Doğu Pontidler'in aktif tektoniğinin yanında, tektonik özellikleri hakkında deniz içerisindeki sismik veri de kısıtlıdır. Şimdiye kadar yapılan sismik profil verilerinde, Doğu Pontidler'in kuzey kesiminde, deniz içerisinde güneye eğimli bir ters fay saptanmış, bu fayı kesen sağ yönlü doğrultu atımlı fay, Trabzon Fayı olarak adlandırılmıştır (TPAO, 2010; Nikishin vd., 2015). Karadeniz içerisinde, bu fay zonunda oluşan ve odak mekanizma çözümleri verev atımlı ters faya karşılık gelen güncel depremler (M_w : 5,5, M_w : 5,3 ve M_w : 4,2) söz konusu ters fayın günümüzde aktif olduğu düşüncesini ön plana çıkarmaktadır (Softa vd., 2018), (Şekil 2b).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda Yılmaz (2017); Softa vd., (2018) Doğu Pontid ve yakın çevresinin kıyı kesiminin normal faylar tarafından denetlendiği vurgulanmıştır. Softa vd., (2018) Trabzon-Rize arasında haritalanan parçalarda morfometrik analiz çalışmaları yaparak her bir parçanın görelî olarak yüksek derecede aktif olduğu ve bölgenin yılda 0,5 mm'den daha fazla bir hızda yükseldiğini belirtmiştir. Ancak Doğu Pontidler'de gözlenen bu fayların, tektonik anlamı, deformasyon deseni, kinematik özellikleri, KAF ve KDAF ile etkileşimi, deniz seviyesi değişimi ve bölgesel yükselime etkisi; jeomorfolojik verilerin dışında yapısal, kinematik, paleontolojik ve radyometrik veri eksikliği nedeniyle henüz çalışılmamıştır. Bu çalışma kapsamında; Doğu Pontidler'in Kuvaterner döneminde maruz kaldığı aktif tektonik deformasyonun yapısal,

kinematik ve radyometrik verilerle saptanması hedeflemiştir. Bu doğrultuda, (i) sıkışmalı fay geçişi (transpressional region) içinde yer alan Doğu Pontidler'in kıyı bölümünde gözlenen normal fayların deformasyon mekanizması, (ii) Güneydoğu Karadeniz Fayı (GDKF) olarak adlandırılan bu fay zonunun kimliği ilk kez aydınlatılmıştır.

YÖNTEM

2012-2018 yılları arasında Trabzon-Rize çevresinde gerçekleştirilen çalışmalarda bölgenin 1/25000 ölçekli jeoloji haritası yapılarak bölgede Kuvaterner yaşlı çökelleri kesen, GDKF ve bölgedeki diğer faylar haritalanmıştır. Elde edilen verileri değerlendirmek üzere büro çalışmalarında, 30 metre çözünürlüklü SRTM verileri (<http://earthdata.nasa.gov>) ArcGIS programında işlenerek Trabzon ve yakın çevresinin detaylı 3 boyutlu sayısal yükselik modeli oluşturulmuştur. Bu model üzerine arazide faylar üzerinde toplanan kinematik veriler FaultKin Win (<http://www.geo.cornell.edu>) programında işlenerek fayların stereografik görüntüleri elde edilmiştir. Arazi çalışmaları esnasında 1/23000 ölçekli hava fotoğrafları, elde edilen tüm verilerin görselleştirilmesinde CorelDraw X5 programı kullanılmıştır. Koordinatlandırma işlemlerinde Evrensel Enlem Merkatörü (UTM) 37. bölge ve ED 50 koordinat sistemi esas alınmıştır.



Şekil 2. a) Kuzey Türkiye'nin diri fay haritası (Emre vd., 2013). b) Doğu Pontidler'in ve yakın çevresinin neotektonik haritası (Tsereteli vd., 2016; Avagyan vd., 2010 ve TPAO, 2010'dan birleştirilerek ve değiştirilerek). c) Güneydoğu Karadeniz Fayı'nın diri fay haritasındaki konumu ve çalışma alanı ve yakın çevresinin 1940-2018 yılları arasındaki deprem aktivitesine göre üretilen b-değerlerinin bölgesel dağılımı (Maden ve Öztürk, 2015'den değiştirilerek). Faylar Avagyan vd., (2010); Emre vd., (2013); Tsereteli vd., (2016)'dan derlenmiştir. Haritalar üzerindeki depremler Uluslararası Sismoloji Merkezinden derlenmiştir. KAF: Kuzey Anadolu Fayı, DAF: Doğu Anadolu Fayı, KDAF: Kuzeydoğu Anadolu Fayı, BKF: Borjomi-Kazbegi Fayı, KF: Karadeniz Fayı.

Figure 2. a) Active Fault maps of N. Turkey (Emre et al., 2013). b) Simplified neotectonic map of Eastern Pontides and nearest region (modified from Tsereteli et al., 2016; Avagyan et al., 2010 and TPAO, 2010). c) The location of the Southeast Blacksea Fault in the active fault map of Turkey and seismicity of studied region and its vicinity between 1940-2018. Regional distribution of b-value for studied and nearest region

(after the Maden and Öztürk, 2015). The faults are compiled from and Avagyan et al. (2010); Emre et al. (2013); Tsereteli et al. (2016), respectively. Earthquake distributions are compiled from the ISC catalogue. KAF: North Anatolian Fault, DAF: East Anatolian Fault, KDAF: Northeast Anatolian Fault, BKF: Borjomi-Kazbegi Fault, KF: Blacksea Fault.

TEKTONİK VE JEOLJİK ÖZELLİKLER

Doğu Pontidler'in Aktif Tektoniği

Güneyden KAF ve Borjomi-Kazbegi Fayı (BKF), güneydoğudan KDAF ile sınırlanan Doğu Pontidler'de yapılan çalışmalarda, günümüzde halen Arabistan Levhası ile Avrasya Levhasının birbirlerine doğru ilerlemesinden dolayı Doğu Pontidler'in sıkışma zonu içinde kaldığı ve kabuk kalınlığının 42-46 km'ye kadar yükseldiğini göstermektedir (Şengör, 1981; Gök, vd., 2016; Yılmaz, 2017). Doğu Pontidler'in bu yükselmesine eşlik eden faylardan Karadeniz ile KAF arasında kalan bölgede aktif faylardan KDAF ve bu faya ait ters fay bileşenli segmentler bulunmaktadır (Şekil 2b ve 2c). Bu faylardan KDAF, KAF hattının antitetiği olarak tanımlanmıştır (Bektaş vd., 2001). Yaklaşık KD uzanımlı ve sol yönlü doğrultu atımlı olan KDAF, Bayburt ve yakın çevresinde iç bükey geometriye sahip kuzey yönlü bindirme karakterindedir (Koçyiğit vd., 2001). Pontidler'in yükselmesine eşlik eden faylardan biri olan yaklaşık 250 km uzunluğundaki Borjomi-Kazbegi Fayı (BKF), KDAF'a bağlı aktif bir olarak kabul edilmektedir (Westaway, 1994). KDAF ile BKF arasındaki birleşime yaklaşık 400 km uzunluğundaki güneye eğimli ters fay olan ve sismik kesitlerde rampa-düzlük yapısı gösteren Karadeniz Fayı (KF) eşlik etmektedir (Şekil 2b). Doğu Pontidler'de yükselmeyi karşılayan ters fayların yanında, Pontidler'in kıyı kesimlerinde kuzeye doğru eğimlenen birçoğu listrik geometride normal fay da tanımlanmıştır (Yılmaz, 2017). Bu fayların, K-G yönlü sıkışmayla yükselen Pontidler'in morfolojisinin dengelenmesine bağlı olarak oluştuğu düşünülmektedir. Kıyı

morfolojisini ve dağ önlerini denetleyen normal faylar aynı zamanda sismik kesitlerde de kendini göstermektedir. Bunun yanında, sismik kesitlerde Rize dolaylarında Miyosen'den genç kayaları etkilemiş olan ters bir fay da saptanmıştır (Robinson vd., 1995). Bölgede deniz içerisindeki faylarda gelişen 5,5; 5,3 ve 4,2 büyüklüğündeki depremler ters faya bağlı odak mekanizma çözümü vermektedir (Şekil 2b ve 2c).

Doğu Pontidler'in Jeolojisi

İlk kez Hamilton (1842) tarafından adlandırılan ve Alp Himalaya Dağ Kuşağı'nın orta bölümünü oluşturan Doğu Pontidler, Tetis okyanusunun parçası olarak Doğu Karadeniz Dağ Kuşağı içinde yaklaşık 500 km uzunluk ve 200 km genişlikte, D-B yönünde uzanır.

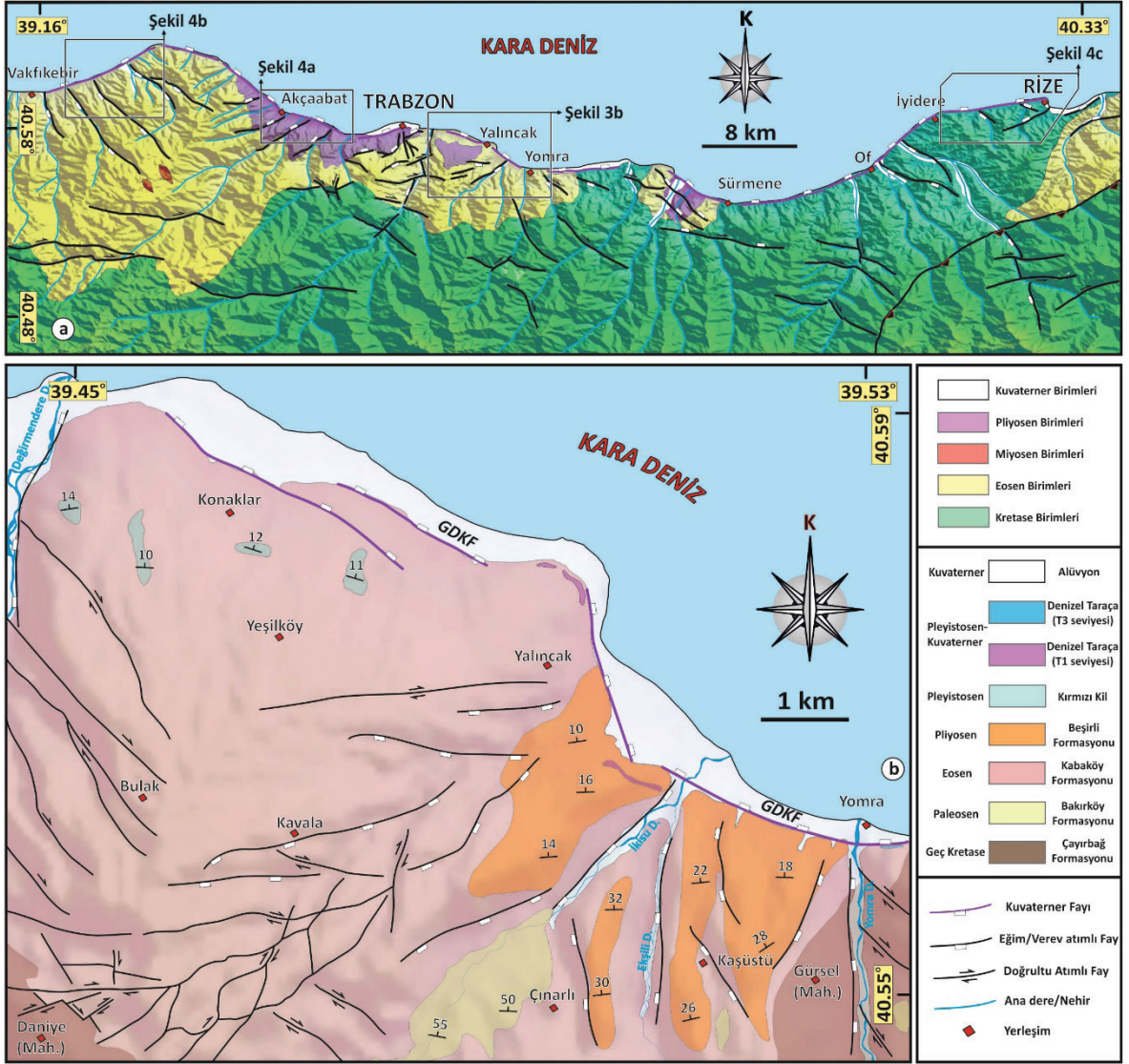
Doğu Pontidler'in bölgesel jeodinamik modeli konusunda farklı görüşler ortaya konmuştur. Adamia vd., (1977), Ustaömer ve Robertson (1996), Doğu Pontidler'in Paleozoik'ten Eosen sonuna kadar, kuzey yönde dalan bir levhadan oluştuğunu savunur. Buna karşın Doğu Pontidler'in kuzeyinde Paleotetis okyanusunun varlığından söz eden Şengör ve Yılmaz (1981), Paleozoik'ten Eosen'in sonuna kadar önce güney sonra kuzey olmak üzere iki farklı yitim yönü belirtir. Diğer modelde; Karadeniz'in, Tetis okyanusunun kalıntısı olduğunu ifade eden Dewey vd., (1973), Chorowics vd., (1998), Bektaş vd., (1999), Eyüboğlu vd., (2006, 2007, 2011), Paleozoik'ten Eosen sonuna kadar kesintisiz olarak güney yönlü bir yitim olduğunu belirtirler.

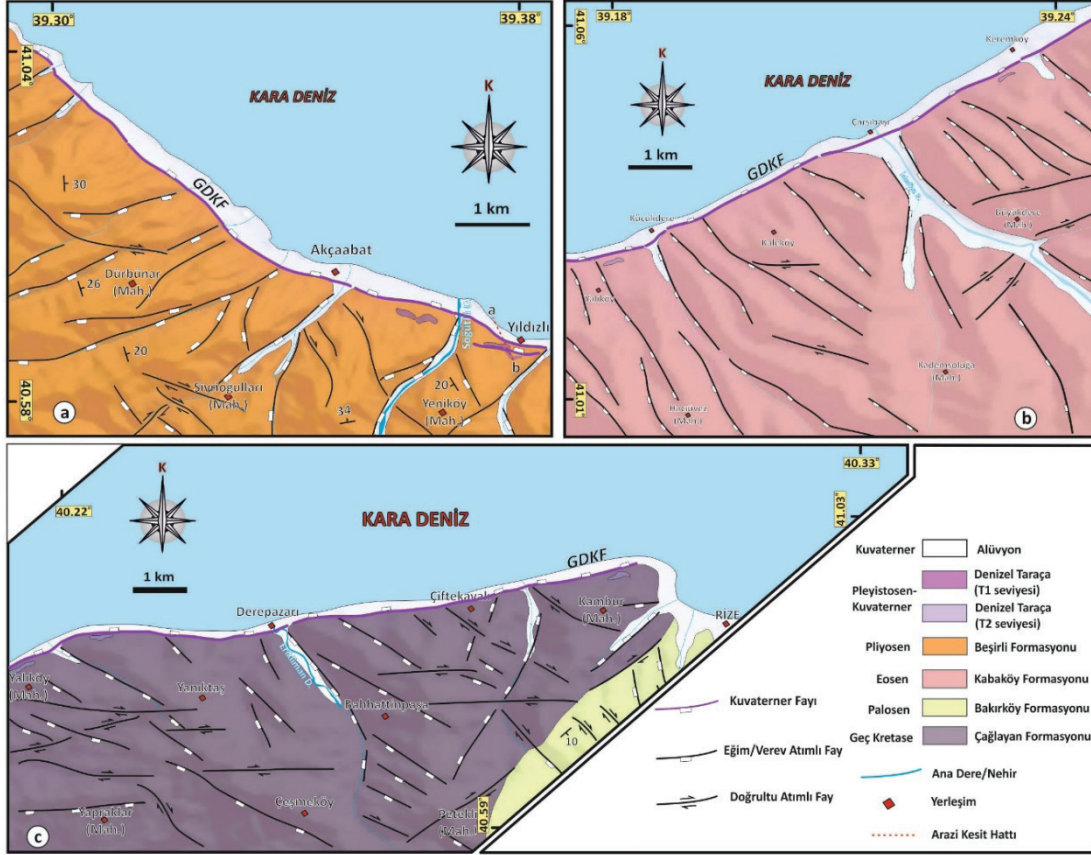
Doğu Pontidler, birçok araştırmacı tarafından, tektonik, magmatik, sedimantolojik özelliklerine göre farklı kuşaklara ayrılmıştır. Özsayar vd., (1981) tarafından Kuzey ve Güney kuşak olmak üzere ikiye ayrılan Doğu Pontidler'i, Bektaş ve

diğ., (1995) ile Eyüboğlu vd., (2006, 2007), Kuzey, Güney ve Eksen Kuşağı olarak üçe ayırmaktadır. Bu ayrım D-B, KD-GB, KB-GD uzanımlı fay zonları ile sağlanır. Kuzey kuşak volkanik ve granitik kayaçlarca zengin (Şekil 3a), Güney kuşak'ta metamorfik masifler, granitik kayaçlar ve baskın olarak tortul kayaçlar yer alır. Eksen kuşağı, üst manto peridotitleri ve olistrostromal melanj ile karakterize edilir.

Doğu Pontid Kuzey Kuşağı, Paleozoyik yaşlı şist, fillit ve metavolkanik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı volkanik (bazalt, andezit, piroklastikler ve tüf) ve granitik sokulum (granotoyid, granit ve granodiyorit); Pliyosen yaşlı kırıntılı ve karbonat (çoğunlukla kumtaşı, kireçtaşı, killi kireçtaşı) gibi kayalardan oluşmaktadır (Şekil 3b ve Şekil 4). En genç birim olan Kuvaterner yaşlı alüvyon birimleri ve taraçalar çoğunlukla faylarla denetlenen dağ önlerinde gözlenmektedir.

1800'lü yıllardan günümüze kadar çalışılan, Pleyistosen-Holosen yaşlı taraçalar çalışma alanının genç birimlerini oluşturmaktadır (Hamilton, 1842; Oswald, 1906; Karajıyan, 1920; Ardel, 1943; Erol, 1952; Semerci, 1990; Solmaz, 1990; Yılmaz vd., 1998; 2005, Keskin, 2007; Keskin vd, 2011; Aytaç, 2012). Çoğunlukla hâkim litolojileri başlıca kum, çakıl boyutunda bazalt, andezit ve kireçtaşı parçalarından oluşmakta ve altındaki birimleri uyumsuz olarak üzerlemektedir. Çalışma alanında Trabzon-Rize sahil kesimi boyunca 27 ± 2 , 37 ± 3 ve 59 ± 4 metre olarak üç farklı yükseltide haritalanan denizel taraçalarda ilk kez yapılan OSL (*Optical Stimulated Luminescence*) tekniği ile tarihlendirme çalışmaları sonucunda; yaşlar sırasıyla $8,3 \pm 2,5$ by (bin yıl), $42 \pm 1,8$ by ve $78,3 \pm 6,1$ by) olarak bulunmuş ve ulusal ve uluslararası kongrelerde sunulmuştur (örn. Softa vd., 2016; Softa vd., 2017), (Şekil 5). Yaşlarla ilgili ayrıntılı bilgi Softa (2018)'de bulunmaktadır.





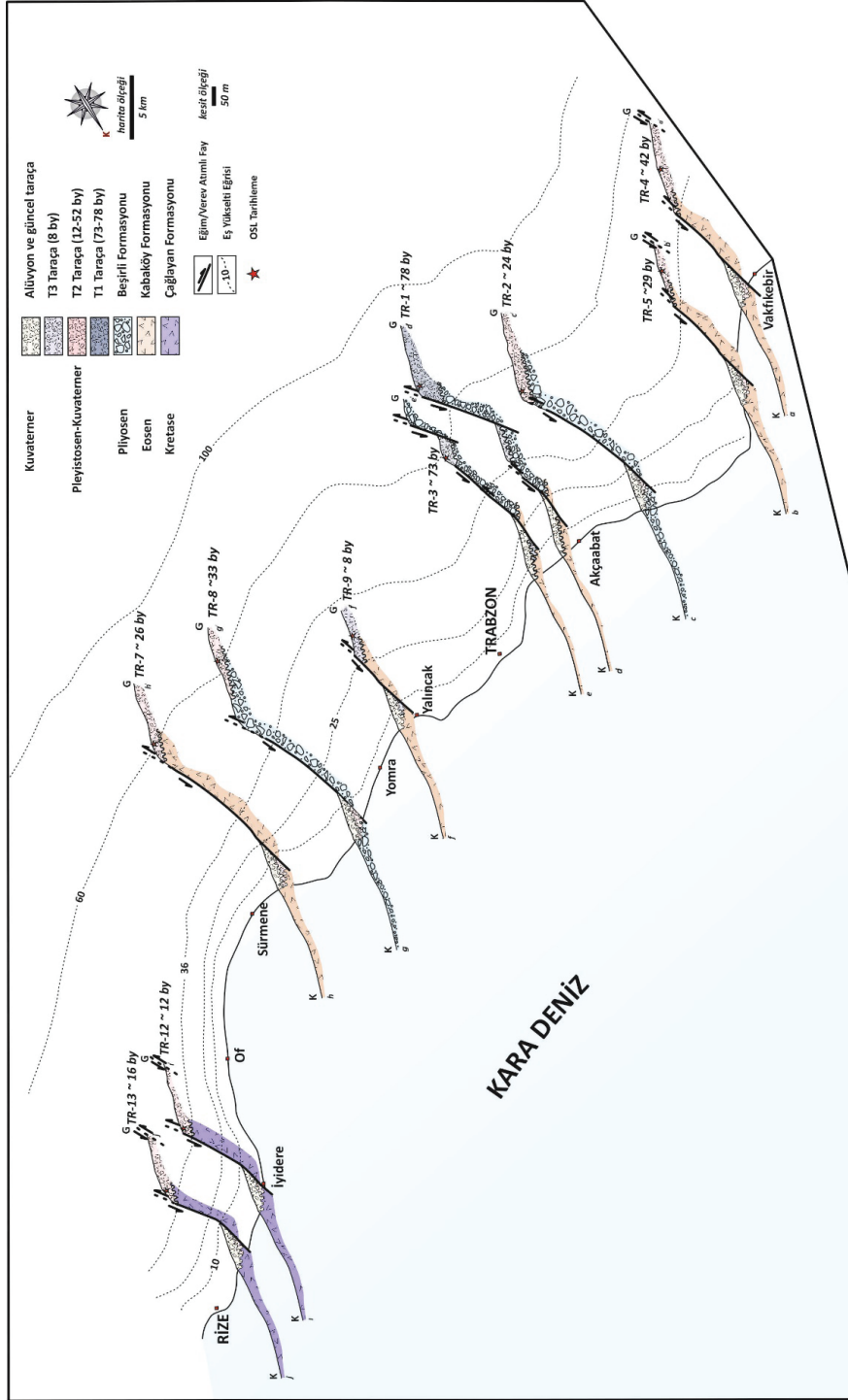
Şekil 4. Trabzon-Rize arasında gerçekleştirilen a) Trabzon-Akçaabat, b) Trabzon-Çarşıbaşı, c) Rize-Derepaşarı ve yakın çevresinde özellikle kıyı kesimine ait 1/25000 ölçekli jeoloji haritaları, GDKF: Güneydoğu Karadeniz Fayı.

Figure 4. Detailed geological map of the a) Trabzon-Akçaabat and nearest region, b) Trabzon-Çarşıbaşı and nearest region, c) Rize-Derepaşarı and nearest region, GDKF: Southeast Blacksea Fault.

Güneydoğu Karadeniz Fayı

Güneydoğu Karadeniz Fayı (GDKF) adı, bu çalışmada, Trabzon ile Rize arasındaki Karadeniz'in güney kıyısına paralel bir şekilde uzanan ve bu çalışmada ilk kez tanımlanan faya uygulanmıştır. GDKF kuzeye doğru eğimli, listrik geometriye sahip verev ve eğim atımlı normal parçalarından yapıli 65 km uzunluğundaki bir faydır (Şekil 6 ve Şekil 7). Bu faylar tüm doğu Karadeniz güney kıyısı boyunca sahil kesiminde izlenebilmektedir. Birbirleriyle ara aşmalı geometriye sahip olan ve eğim açıları 60°-90° arasında değişen bu fay parçalarının benzer şekilde

Giresun ve yakın çevresindeki sahil kesiminde de gözlemlendiği bilinmektedir (Yılmaz 2017). Fay düzlemleri üzerinde yapılan incelemelerde, fayların çiziklerinin sapma açıları 32°-90° derece arasında dağılım sunmakta ve üzerlerindeki çizik ve kertikler, fayın tavan bloğunun eğim aşağı yönde hareket ettiğine işaret etmektedir (Şekil 8 ve Şekil 9). Fayın yükselen bloğunda K-G yönlü, D-B, KD-GB ve KB-GD gidişli akarsular, Doğu Karadeniz sahil kesiminde dağ önlerinde gözlenen faylara verev ve dik olarak gelişen ve göreceli olarak daha yaşlı olan verev/eğim atımlı ve doğrultu atımlı fayların oluşturduğu zayıflık zonlarını izlemektedir.

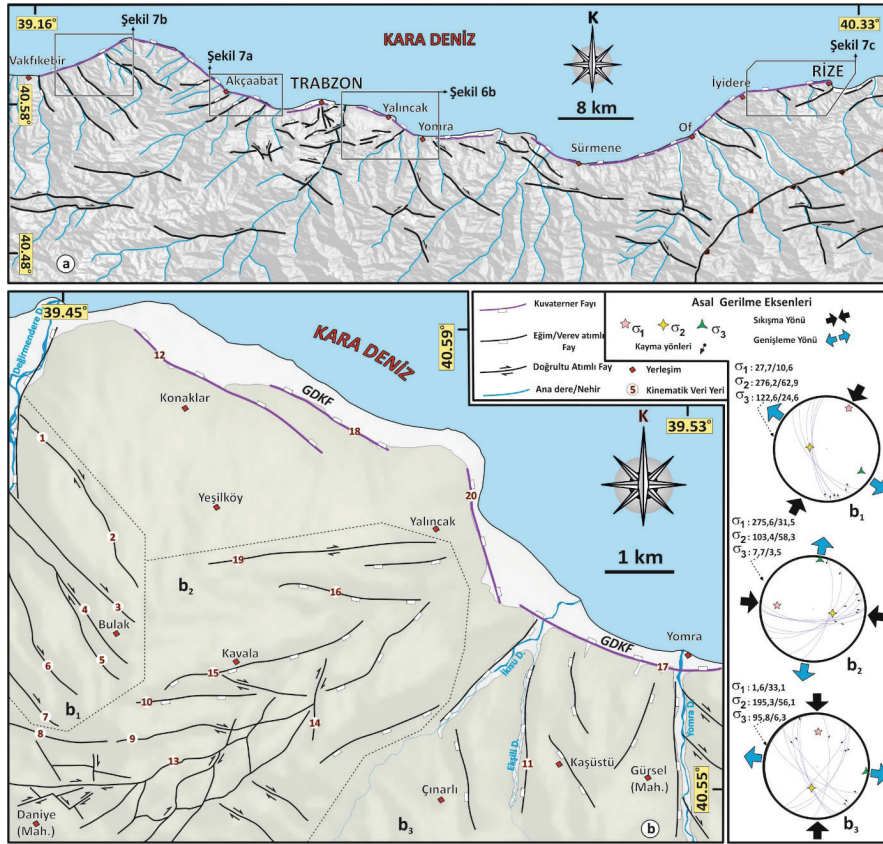


Şekil 5. Trabzon-Rize arasında yer alan üç farklı yükselteli denizel taraçaların Güneydoğu Karadeniz Fayı boyunca karşılaştırıldığı enine kesitler.

Figure 5. The cross-sections of uplifted marine terraces between Trabzon and Rize that are compared along the Southeast Blacksea Fault.

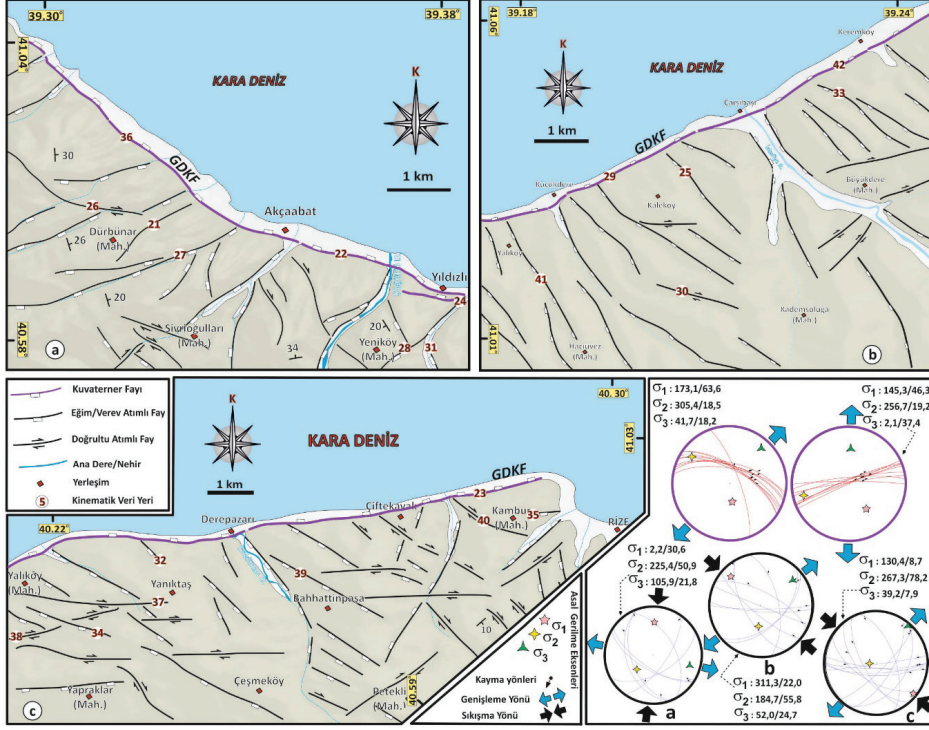
Güneydoğu Karadeniz Fayı boyunca yapılan kinematik analizlerde bölgede etkin olan son deformasyon fazına ait asal gerilme eksenleri tespit edilmiştir. Fay zonu boyunca toplanan değerler Faulktkinwin programında değerlendirilmiş ve fayları oluşumundan sorumlu olan asal gerilmelerin konumları en büyükten en küçüğe (σ_1 - σ_3) doğru sırasıyla; 145,3/46,3-173,1/63,6; 256,7/19,2-305,4/18,5; 2,1/37,4-41,7/18,2 arasında değiştiği saptanmıştır. Toplanan veriler değerlendirildiğinde fayı oluşturan paleostress yönleri açılma ile ilişkili yaklaşık KKD-GGB uzanımlıdır (Şekil 7).

Aynı zamanda, GDKF'nın taban bloğunda haritalanan ve görece olarak daha yaşlı olan ve farklı uzanımlardaki doğrultu atımlı fayların ve eğim/verev atımlı fayların kinematik analizleri sonucunda asal gerilmelerin konumlarından elde edilen veriler, bölgenin yaklaşık K-G ve KB-GD uzanımlarında sıkışma ilişkili olduğunu göstermektedir (Şekil 6b ve 7). Paleostress verilerine göre, fayın yükselen bloğunda kalan KD-GB uzanımlı sağ yanal doğrultu atımlı faylar K-G yönlü sıkışmayı karşılayan yırtılma fayları olarak değerlendirilebilir. Benzer yapılar Doğu Karadeniz havzasının derin sismik kesitlerinde de saptanmıştır (TPAO, 2010; Nikishin vd., 2015).



Şekil 6. a) Çalışma alanında özellikle kıyı kesiminde gözlenen faylar. b) Yalincak bölgesinde haritalanan (1/25000 ölçekli) fayların kinematik verilerinin paleostres analizi, GDKF: Güneydoğu Karadeniz Fayı. Sayısal yükseklik modeli SRTM 30 m. çözünürlüklü uydu görüntülerinden üretilmiştir.

Figure 6. a) Tectonic map of the studied region. b) Detailed tectonic map and kinematic and paleostress analysis of the Yalincak and nearest region, GDKF: Southeast Blacksea Fault. Hillshade generated from SRTM-30m (Shuttle Radar Topography Mission) data available at <http://earthdata.nasa.gov>.



Şekil 7. Trabzon-Rize arasında a) Trabzon-Akçaabat, b) Trabzon-Çarşıbaşı, c) Rize-Derepaşarı ve yakın çevresinde haritalanan (1/25000 ölçekli) fayların kinematik verilerinin paleostres analizi, GDKF: Güneydoğu Karadeniz Fayı. Paleostres analizlerinde mor renkli çerçeve, Kuvaterner Faylarını gösterirken, siyah renkli ise daha yaşlı olan fayları simgelemektedir.

Figure 7. Detailed tectonic map and kinematic and paleostress analysis of the a) Trabzon-Akçaabat and nearest region, b) Trabzon-Çarşıbaşı and nearest region, c) Rize-Derepaşarı and nearest region, GDKF: Southeast Blacksea Fault.

TARTIŞMA

Güneydoğu Karadeniz Fayı'nın Deformasyon Mekanizması

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, Doğu Pontidler ve onun güney ve kuzey sınırları boyunca gözlenen ters fayların, batıda KAF, doğuda KDAF ile ilişkili olduğu vurgulanmıştır. Bu ilişkiye göre, Doğu Pontidler “push-up” yapısı olarak kabul edilmektedir (Yılmaz, 2017; Softa vd., 2018). Bilindiği gibi, sıkışmalı alanların yükselim modellemelerinde, “push-up, pop-up ve ekstrüzyon kaması” gibi geometrik modeller en sık görülenler arasındadır (Ring ve Reischmann, 2002; Giaconia vd., 2012). Buna göre, “Push up” yapısı boyunca görülen sağ yönlü doğrultu atım

bileşenli verev atımlı ters faylar, kabuk ölçeğinde kısalmaya neden olmaktadır. Doğu Pontidler’in tektonik yapısı göz önünde alındığında; ileri sürülen tektonik senaryo, aşamalı olarak yükselen Pontid dağ kuşağının Karadeniz Fayı ve Borjomi-Kazbegi Fayı (ters faylar) sonucunda yükseltildiği ve zamanla ağırlaşan yer kabuğunun burun kısımlarından normal faylanmayla çökmesi ile açıklanabilir (Kurushin vd., 1997; Bull, 2007; Softa vd., 2018). Önerilen bu mekanizmada, ana bindirme fayı boyunca kuzeye yükselerek ilerleyen Doğu Pontidler’in Karadeniz’e kıyısı olan cephelerde normal faylanma şeklinde gelişen gravitasyonel çökmeye neden olduğu düşünülmektedir. Birçok araştırmacı bu mekanizmayla ilgili analog modelleme yapmıştır

(Mulugeta ve Sokotis, 2003; Bonini vd., 1999; 2000; Maillot ve Koyi, 2006; Persson, 2001; Persson ve Sokoutis, 2002; Beaumont vd., 1994; 1996; Merle ve Abidi, 1995). Analog modellemelerde, rampa-düzlük yapısı gösteren düşük açılı ters fayın tavan bloğunda yükselime ve sürüklenmeye bağlı olarak ters fayların geliştiğini, bu yükselimin ve sürüklenmenin ilerleyen aşamalarında özellikle rampa-düzlük geometrisinin düzlük bölümlerinde oluşan ters fayların zamanla yeniden harekete geçerek normal faylanmaya dönüştüğü belirtilmektedir (Şekil 10).

Kinematik veriler, rampa-düzlük geometrisi gösteren Karadeniz Fayı'na bağlı olarak Doğu Pontidler'deki ters fayların oluşumunun, başlangıçta σ_1 'in yatay konumlu olduğu durumda gerçekleştiğini göstermektedir. Buna göre, rampa-düzlük etkisinde Doğu Pontidler'in hareketi sırasında kabuk kalınlaşmış ve özellikle çalışma alanının Karadeniz'e cephe olan kısımları çökmeye başlamıştır. Bu aşamada yükselmeye ve ilerlemeye bağlı olarak ağırlığın etkisiyle yatayda olan σ_1 'in düşey konuma gelmesi, çalışma alanında yeni fayların oluşması veya ters fayların yeniden aktif duruma geçerek normal faylanmayı oluşturmasını sağlamıştır (Şekil 10). Bu faylar, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO, 2010) ve Gündüz (2015)'ün Trabzon-Rize arasında yaptığı çalışmalarda derin sismik kesitlerde saptadıkları kuzeye eğimli normal faylar ile uyum içerisindeydi.

Güneydoğu Karadeniz Fayı'nın Yaşı

Fayların yaşlarının saptanmasında göreceli olarak tarihleme en sık kullanılan yöntemdir. Göreceli yaş tayinleri fayların kestiği birimlerin mutlak yaşlarına göre, bağlı olarak fayların yaşlandırılmasına dayanır. Alüvyon, taraça, buzul çökeltileri gibi genç çökellerin yaşlarına bağlı olarak fayları yaşları hakkında yaklaşımda bulunulması Amerika, İngiltere, Almanya, İran, Çin ve Türkiye'de başarıyla uygulanan yöntemlerin başında gelir (Fattahi vd., 2006; Frankell vd., 2010; Özkaymak vd., 2011; Akçar

vd., 2012; Chen vd., 2012; Mozafiri vd., 2016). Bu yöntemde özellikle genç birimler ^{14}C , OSL, ESR, kozmojenik gibi dolaylı ve paleontoloji gibi doğrudan yöntemlerle tarihlendirilir. Taraçalar gibi genç çökellerde uygulanan yaşlandırma teknikleri, içlerinde barındırdıkları organik materyal içeriğine ve türüne bağlı olarak değişiklik göstermekte ve sıklıkla ^{14}C veya OSL yöntemi tercih edilmektedir. Buna göre, Trabzon-Rize arasında üç farklı yükseltide kısıtlı yerlerde dağılım gösteren taraçaların oluşum zamanları, OSL tarihleme yöntemi kullanılarak saptanmış ve 8 by ile 78 by arasında tarihlendirilmiştir (Softa vd., 2017; Softa, 2018). Özellikle Trabzon (Yıldızlı, Söğütlü, Yalınca) yakınlarında haritalanan en yaşlı taraça seviyelerinde (T1) gerçekleştirilen gözlemler, taraçaların Güneydoğu Karadeniz Fayı tarafından kesildiğini ve yaşının da 78 by'dan daha genç olduğunu göstermektedir (Şekil 11). Aynı şekilde T2 ve T3 seviyeleri Trabzon-Rize arasında kuzeye doğru eğimli faylarla kesilmiş bir görünüm sunmaktadır. Bu durum aneşlon geometri sergileyen Güneydoğu Karadeniz Fayı'nın Kuvaterner döneminde yüzey faylanması oluşturacak depremler ürettiğine işaret etmektedir. Yapılan tektonik jeomorfoloji tabanlı çalışmalar (Softa vd., 2018), dokuz farklı parçadan oluşan Güneydoğu Karadeniz Fayı'nın her parçasının da görel olarak aktif sınıfta yer aldığı ve fayın görel olarak batıya doğru gençleştiğini göstermektedir. Jeomorfolojik olarak bakıldığında, Doğu Pontidler'in kıyı kesiminde, Güneydoğu Karadeniz Fayı önünde taban bloğunun hızlı yükselimi sonucu gelişen ve diri normal faylanmanın jeomorfolojik göstergesi olan orta-iyi derecede korunmuş üçgen yüzeyler yoğun olarak gözlenmektedir (Softa vd., 2018). Akarsuların boyuna profilleri incelendiğinde ani eğim değişikliklerinin görülmesi, bu değişikliklerin özellikle kıyıya yakın bölümlerinin normal faylarla kesildiği alanlarına karşılık geldiğine işaret etmektedir (Softa vd., 2018). Sahil kesimi boyunca arazi kesitlerinde de taraçalar, normal faylarla kesilmekte ve ötelenmektedir (Şekil 11).



Şekil 8. Trabzon-Rize arasında yer alan eğim/verev atımlı normal faylara ait kinematik gözlemler. a-b: Eosen yaşlı volkanik birimler üzerinde sahil boyunca devam eden eğim atımlı yüksek açılı normal faylar (82100D/35160K), c-d: Eosen yaşlı volkanik birimler üzerinde yüksek açılı eğim atımlı normal faylar (63301K/28154D), e-f: yeşil renkli Eosen yaşlı volkanik spilitleri kesen verev atımlı normal faylar (60880D/28670K).

Figure 8. Field photographs and kinematic observations of the dip slip/oblique slip normal fault between Trabzon-Rize region. a-d) well exposed slickensides and fresh normal fault scarp of the Southeast Blacksea Fault on the Eocene volcanic rocks



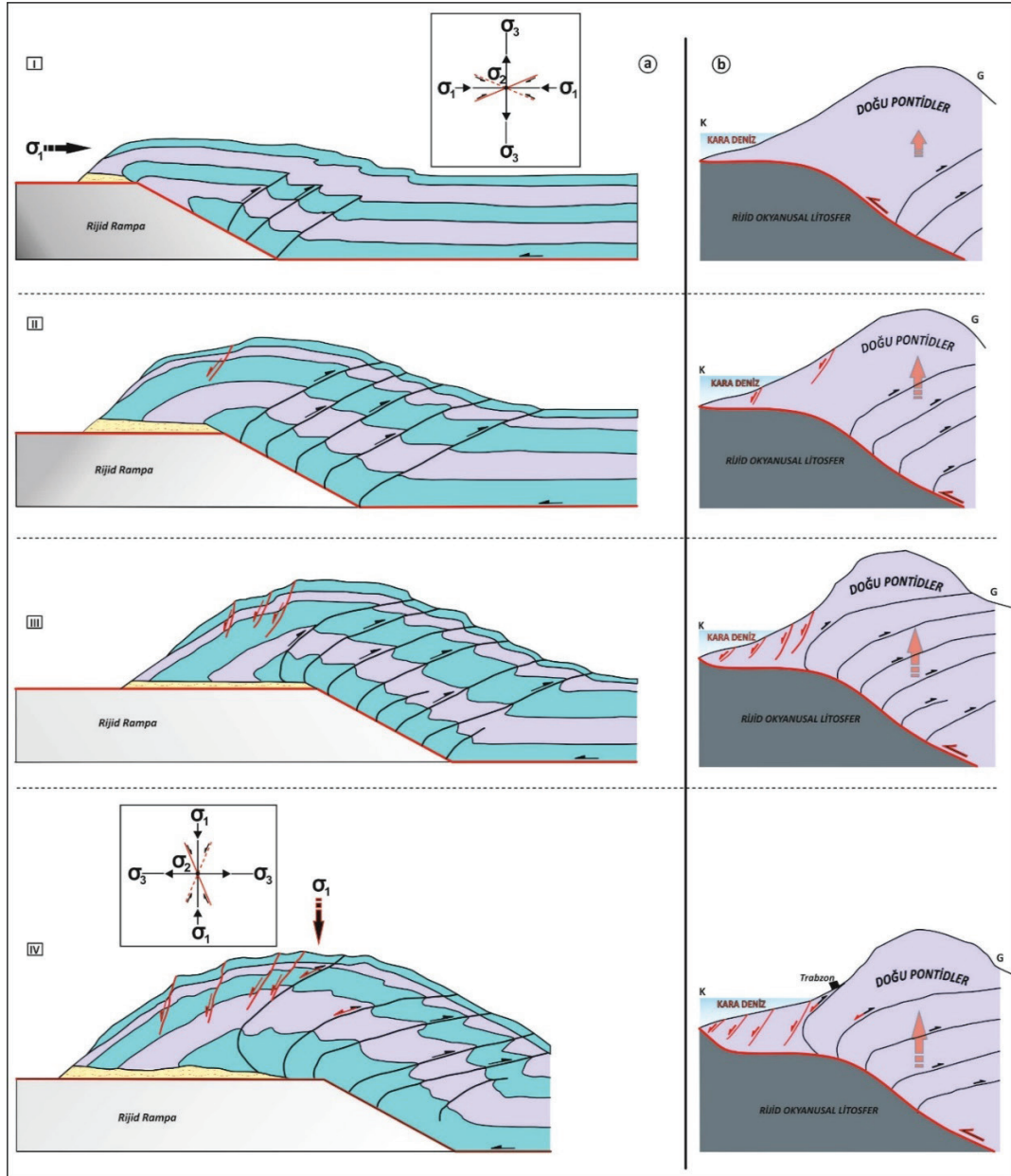
Şekil 9. (a, b, c) Pliyosen yaşlı tortul birimler içerisinde eğim atımlı normal faylanma ve doğrultu atımlı faylara ait kinematik gözlemler (a-b: 52350D/39500K, c: 52346D/39800K).

Figure 9. Field photographs and kinematic observations of the dip slip normal fault and strike slip fault scarp on the Pliocene sedimentary rocks.

Sismik Aktivite ve Yükselim Hızı

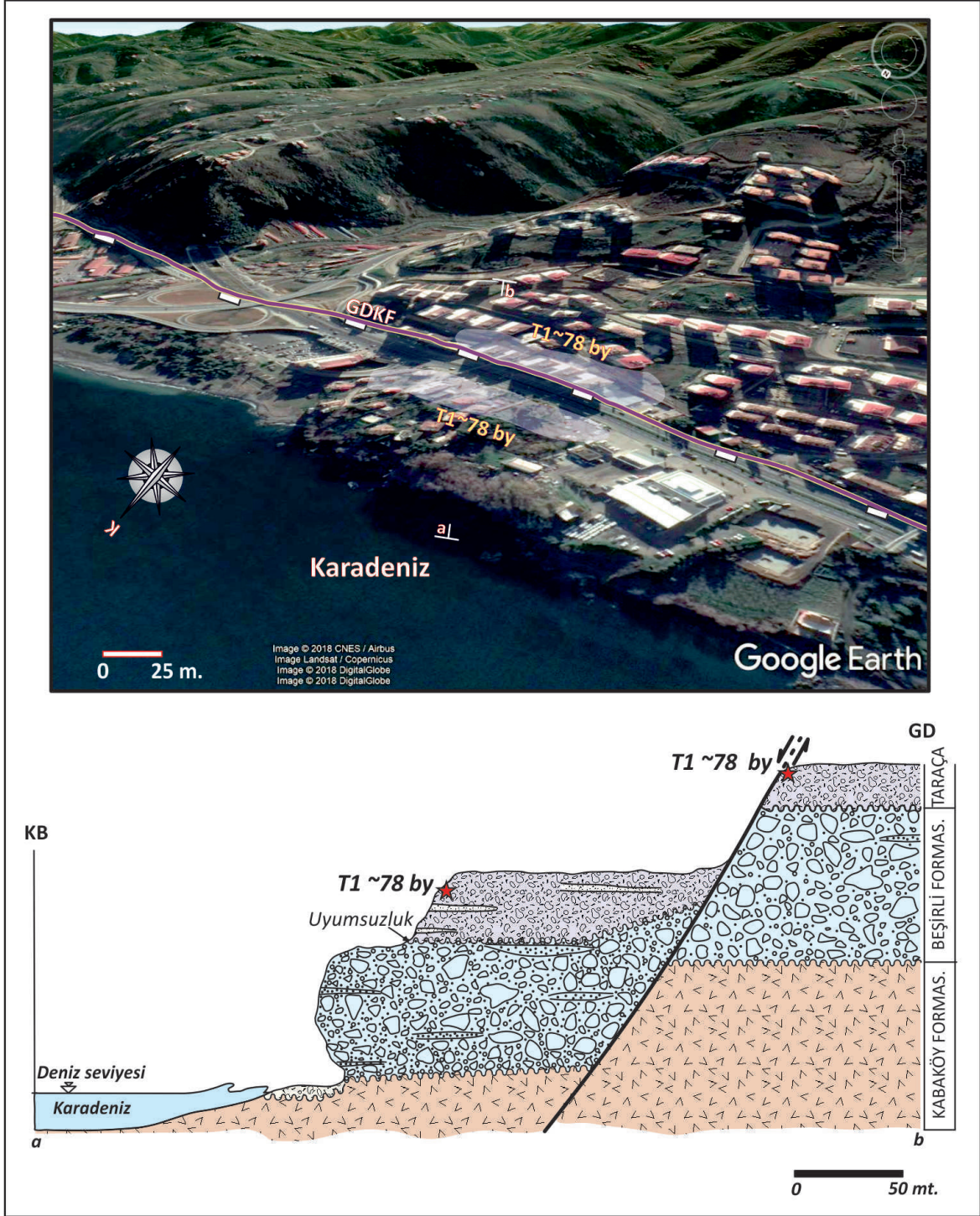
Önceki çalışmalarda Doğu Karadeniz Bölgesi düşük sismisite gösteren alan olarak tanımlanmaktadır. Demircioğlu vd. (2018); Akkar vd. (2018) bölgesel olarak sismik risk değerlendirmeleri gerçekleştirmiş ve Doğu Pontidler'in güneyinde KDAF ve KAF arasında kalan bölgenin orta-yüksek risk grubunda olduğunu belirtmişlerdir. 1900-2018 yılları arasında çalışma alanı ve yakın çevresinde gözlenen 3'den büyük deprem aktivitesine bakıldığında, depremlerin

özellikle diri fay zonları üzerinde ve deniz içerisinde kümelendiği görülmektedir. Deprem odak mekanizması çözümlerinde özellikle deniz içerisinde oluşan depremler verev atımlı ters faylar boyunca gelişmişlerdir. Bu da deniz içerisinde geçen güneye eğimli ters fay olan Karadeniz Fayı'nın günümüzde halen aktivitesini koruduğu düşüncesini desteklemektedir. Katalogdan derlenen depremlerin derinlik magnitüd dağılımlarına bakıldığında, depremlerin ilk 15 km ye kadar oldukça yoğun ve 50 km derinlikte daha az yoğun olduğu görülmektedir (ISC, 2018).



Şekil 10. a) Analog modellerde rampa düzlük yapısında gözlenen deformasyonlar. I-IV Sıkışmanın başlangıç seviyelerinden ilerleyen aşamalarına doğru en büyük asal gerilmenin 90 derece yer değiştirmesi ve normal fayların oluşum mekanizması. Sarı renkli alan deforme olan tortulları simgelemektedir (Bonini vd., 2000; Rosas vd., 2017'den değiştirilerek ve birleştirilerek). b) Doğu Pontidler'de Karadeniz Fayı etkisinde gözlenen deformasyonlar. Sıkışmanın ilerlemesi ve yükselmenin artması ile Doğu Pontidler'in kıyı bölümünün çökmesi ve yeniden aktif olan normal fayların gelişimi.

Figure 10. a) Deformations of the hanging wall of the ramp flat mechanism in analogue models. I-IV schematic illustration of the rotation of the local stress field in thrust system occurring above the ramp-to-flat and formation mechanism of the normal fault in a transpressional region. b) Deformations caused by Southeast Blacksea Fault in Eastern Pontides. Evolution of the re-activated normal fault due to progressively uplifting and drifting in Eastern Pontides.



Şekil 11. Güneydoğu Karadeniz Fayı'nın kestiği denizel taraçaların jeolojik ilişkisini gösteren uydu görüntüsü ve arazi enine kesiti

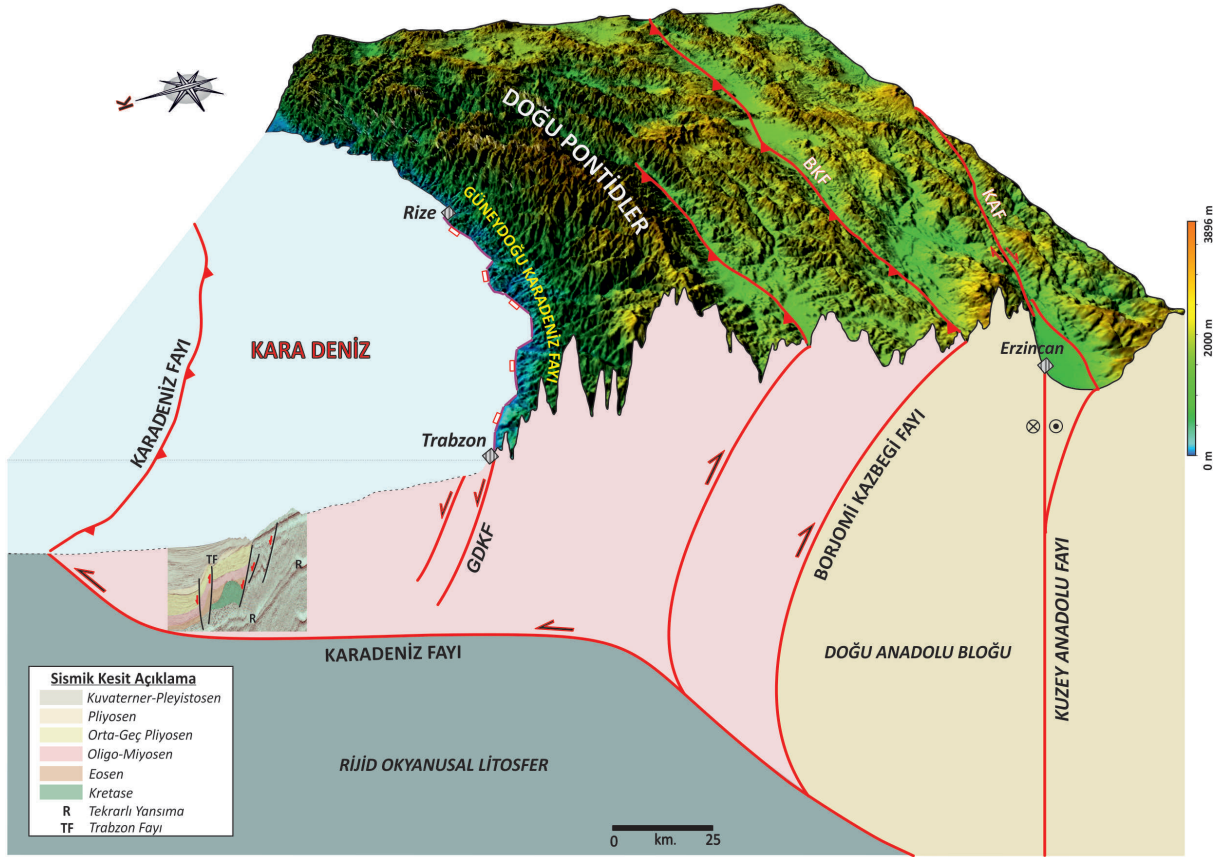
Figure 11. Aerial view and field cross-section with geological relation of marine terraces cut by the Southeast Blacksea Fault.

Çalışma alanı ve yakın çevresinde gerçekleştirilen jeofizik çalışmalarında deprem yoğunluğu ve gerilme dağılımını tespit etmek için a ve b değerlerine ait anomaliler oluşturulmuştur (Maden ve Öztürk, 2015). Buna göre, b değerinin 0,7 ile 1,25 arasında dağılım gösterdiği görülmektedir. Özellikle Doğu Pontidler'in kuzey bölümünü oluşturan KAF üzerinde ve Doğu Anadolu ile Karadeniz arasında kalan bölümden diri faylar ve yakın çevresinde düşük b değerlerinin görülmesi bu bölgede deprem yoğunluğunun ve gerilmenin göreceli olarak fazla olduğuna işaret etmektedir. Elde edilen tüm verilerin çalışma alanının orta-yüksek gerilme altında kaldığını ve yapıların aktif olabileceğini gösterse de bölgede $M_w > 6$ depremlerin görülmemesi, bölgede asismik kırılma olabileceğine işaret etmektedir. Elastik rebound teorisi, bölgede biriken enerjinin, sıkışmalı ve doğrultu atımlı ortamlarda faylarla paylaşarak deprem oluşturabileceğini gösterirken (Scholz, 1990), genişleme ortamlarında bu teorinin yanında yerçekimine bağlı gelişen depremlerin daha yüksek enerjiye gereksinim duyduğunu göstermektedir (Doglioni vd., 2011; 2014; Dempsey vd., 2012). Buna göre, bölgedeki b değerlerinin düşük dağılım göstermesi bölgede biriken enerjinin faylarla paylaşarak depremleri oluşturabileceği, ancak yerçekimine bağlı gelişen faylarda ve buna bağlı oluşan yapılarla deprem oluşabilmesi için görece olarak fazla enerjiye ihtiyaç olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Bu durum, bölgede oluşan depremlerin çözümlerinde normal faylanma mekanizmasının görülmemesini açıklamakta (yani normal fay mekanizmasıyla deprem oluşumu için daha fazla enerji birikiminin gerekli olduğunu) ve normal faylanmanın asismik kırılma şeklinde geliştiği ihtimalini güçlendirmektedir. Nadeau vd. (1995); Rau vd. (2007)'e göre, fay zonları ya da parçaları üzerinde aktif olarak kırılma gözlenen bölgelerde genellikle düşük magnitüdü depremler gözlenir ve bu depremler zaman içerisinde sürekli tekrar ederler. Sonuç olarak, fayların kırılma yapması neticesinde, çalışma alanında yoğun olarak düşük-orta magnitüdü depremlerin oluştuğu düşünülmektedir. Bununla

birlikte, Çifçi vd. (2002) Trabzon kuzeyinde, Karadeniz içinde heyelanlara bağlı oluşabilen kırılma ve kayma yapıları tespit etmiştir. Bunun yanında, Karadeniz gibi yağış miktarının fazla olduğu kara bölümlerinde heyelan sık olarak görülebilmekte ve özellikle Karadeniz Bölgesinde de faylara ve bununla ilişkili bölgedeki deprem aktivitesine bağlı olarak heyelanlar oluşabilmektedir (örn., Emre vd., 1999; Nefeslioğlu vd., 2008; Demir vd., 2012).

Bölgesel olarak yapılan çalışmalarda Doğu Pontidler, Orta Pontidler'den neredeyse iki kat daha yüksek yükselim hızına sahiptir. Keskin vd. (2011) bölgesel yükselim hızını Trabzon'daki taraçalardan yola çıkarak yılda 0,07 mm ile 0,017 mm arasında değiştiğini saptamıştır. Keskin (2007) aynı bölgedeki çalışmada yükselim hızlarının 0,60 mm/y ile 1,2 mm/y arasında değiştiğini belirtmektedir. Yıldırım vd. (2013) Orta Pontidler'in 0,23 mm/yıl, Berndt vd. (2018) çalışmada ise Orta Pontidler için yükselim hızını 0,28 mm/yıl olarak hesaplamıştır. Softa vd., (2017) ve Softa vd. (2018) çalışmalarında ise Doğu Pontidler için gerçekleştirdiği çalışmada bölgesel yükselim hızını sırasıyla 0,59 ile 1 mm/y ve 0,5 mm' den daha yüksek olarak saptamıştır.

Yıldırım vd. (2013) çalışmada, Doğu Pontidler'e kıyasla bölge morfolojisi göz önünde bulundurulduğunda yükselme hızının Doğu Pontidler için 0,23'ten daha yüksek olması gerektiğini ve Berndt vd. (2018) çalışmada ise yükselim hızının Kuzey Anadolu Fayı boyunca gerilme dağılımı ve çalışılan bölgelerin KAF'a uzaklığına göre değişebileceğini vurgulamıştır. Ancak, doğudan batıya doğru ilerlendiğinde iki kata varan bu değişim, (i) saptanan diğer fayların da bu yükselim üstündeki gerilme etkilerine, (ii) yükselim hızı saptamak için kullanılan tarihlendirme yöntemindeki materyalin römaniye olup olmadığına (fosil, mineral vb.) göre değişiklik gösterebilmektedir. Tüm bu veriler, Doğu ve Orta Pontidler'in yükselme şeklinin asimetrik olduğunu ve KF ve BKF eşliğindeki yükselmenin bir bütün olarak batıya doğru eğilimlenerek geliştiğini düşündürmektedir (Şekil 12).



Şekil 12. Doğu Pontidler'deki başlıca faylar ve sismik kesitte yer alan fayları bölgesel deformasyonla birlikte gösteren 3 boyutlu şematik model. Kesit hatları için bkz. Şekil 2b. Denizde gerçekleştirilen sismik profil Gündüz (2015)'den yeniden düzenlenerek alınmıştır.

Figure 12. A conceptual deformation model with seismic profile at Eastern Pontides. The location is shown with dashed line in Figure 2b. Onshore seismic profile located north of the Trabzon region (redrawn from Gündüz, 2015) showing active deformation of the Quaternary to Miocene levels.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, Doğu Karadeniz havzasında Trabzon-Rize arasında ilk kez Güneydoğu Karadeniz Fayı (GDKF) olarak tanımlanan söz konusu yapısal sınır, yaklaşık 65 km uzunluğunda ve 1 km genişliğinde 9 farklı parçadan oluşmaktadır. Fay zonu boyunca yapılan kinematik çalışmalarda eğim açıları 60° - 90° ve kayma açıları (rake) 32° - 90° arasında değişen ve sahil kesimindeki dağ önlerini denetleyen çok sayıda fay düzlemi ölçülmüştür. Bu düzlemlerin, bölgedeki yükselimin emarelerinden biri ve

en genç birim olan yükselen denizel taraçaları kesmesi, fayın yaşının 78 by'dan daha genç olduğunu göstermektedir. Bölgesel olarak Doğu Pontidler'de yükselme hızının yılda 0,5 mm'den daha fazla olmasına karşın, çalışma alanında büyük magnitüdü depremlerin gözlenmemesi bölgedeki fayların asismik krip yapmasıyla açıklanabilir.

Yapılan çalışmalar, transpresyonal bir zon içerisinde yılda 0,5 mm'den fazla hızda yükselen Doğu Pontidler'in içerisindeki fayların, Pliyo-Kuvaterner ve Kuvaterner birimlerini deforme ettiğini göstermiştir. Söz konusu yükselimin belli

bir kesiminin Trabzon-Rize arasındaki Karadeniz kıyısı boyunca uzanan ve ilk kez bu çalışmada haritalanan ara aşmalı (en échelon) geometrili eğim/verev atımlı normal fay segmentleri tarafından karşılandığı anlaşılmaktadır. Sıkışmalı fay geçişi içerisinde gözlenen bu normal faylanma, başlangıçta σ_1 'in yatay konumlu olduğu sıkışmalı bir ortamda oluşan bindirme ve ters bileşenli doğrultu atımlı faylar nedeniyle Doğu Pontidler'in kabuk kalınlığını artırmış ve bunun sonucunda yatayda olan σ_1 düşey konuma geçerek eski zayıflık zonları normal faylar şeklinde yeniden çalışmaya başlamıştır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, ilk yazarın Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim dalında kabul edilen doktora tezinin bir bölümünü kapsamaktadır. Ayrıca bu çalışma, 2014-2018 yılları arasında Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri 2014. KB.FEN.044 ve 2014-2015 yılları arasında 1059B141400632 numaralı TÜBİTAK 2214-A Doktora Sırası Yurtdışı Araştırma Bursu tarafından desteklenmiştir. Yazarlar arazi çalışmalarında ve sonrasında bölgesel anlamda bilimsel olarak tartışıp, çalışmaya farklı düşüncelerle destek olan Dr. Ökmen Sümer'e (Dokuz Eylül Üniversitesi) ve makalenin bilimsel değerinin artırmak adına yaptıkları katkılardan dolayı Selim Özalp'e (MTA), Cengiz Yıldırım'a (İTÜ) ve editör Orhan Tatar'a teşekkür ederler.

EXTENDED SUMMARY

This study attempts to describe the neotectonic settings of the Eastern Pontides along with the deformation pattern of the Eastern Pontides, which is accommodated by progressive deformations between the North Anatolian Fault and the Black Sea within the Eastern Black Sea Mountain Belt. The Eastern Pontides, which is located in

the northern block of the NAF, is approximately 500 km long and 200 km wide (Figure 1). The strain transmitted to the Eastern Pontides and its immediate surroundings by the N-NW compressional movement of the Arabian plate is accommodated by regional uplift. The Eastern Pontides, which continues to uplift gradually at a rate of more than 0.5 per year because of this strain, is being progressed by the push-up geometry with the thrust faults of Southeast Blacksea Fault at sea and the Borjomi-Kazbegi faults on the land (Figure 2b and figure 2c).






In addition to the thrust faults, which are accommodated by the uplift in the Eastern Pontides, there are dip/oblique slip normal fault segments of an en-echelon geometry mountain front mapped here for the first time. According to our geological mapping studies, the Southeast Blacksea Fault is composed of 65-km long more than 1 km wide en-echelon distributed fault zone which forms of nine fault segments (Figure 6 and figure 7). In the kinematic analysis conducted along the fault zone, fault planes have dip angles between 60°-90° to the north. The measured fault planes have rake angles range from 32° to 90° (Figure 8 and figure 9). The normal faults along the coast are also consistent with the normal fault segment at the Black Sea that observed in the seismic sections.

In the coastal region of Eastern Pontides, we have identified three marine terrace levels. Using the optically stimulated dating for the first time we obtained at 8.3 ± 2.5 ka, 42 ± 1.8 ka and 78.3 ± 6.1 ka, respectively (Softa et al. 2017; Softa, 2018). The fact that these fault planes cut marine terraces which are one of the evidences of the uplifted region shows that the age of the fault is younger than 78 ka (Figure 11).

Under transpressional deformation zone of the Eastern Pontides, a plausible scenario is likely that the flattening of the underlying thrust at very shallow depths is probably responsible

for the collapse of the thrust 'nose' by normal faulting (Bull, 2007; Kurushin et al. 1997; Softa et al. 2018). This type of normal faulting can be explained the crustal thickness has increased due to thrust component strike-slip faults formed in a compressive regime where σ_1 was horizontal at the initially, as a result of this, σ_1 which is the horizontal position went into a vertical position, and lastly the former weakness zones were re-activated as normal faults (Figure 10 and 12). Whereas major earthquakes are not common in this region, the previous uplift rate of over the 0.5 mm/yr (Softa et al. 2018), suggests that this might be related to creep movement; that is aseismic creep can prevent large earthquakes from occurring.

ORCID

Mustafa Softa  <http://orcid.org/0000-0001-5064-9260>
Tahir Emre  <http://orcid.org/0000-0002-2687-5265>
Hasan Sözbilir  <http://orcid.org/0000-0002-3777-4830>
Joel Q. G. Spencer  <http://orcid.org/0000-0003-1374-7253>
Mehmet Turan  <http://orcid.org/0000-0001-9108-6695>

DEĞİNİLEN BELGELER

- Adamia, S. A., Lordkipanidze, M. B., & Zakariadze, G. S., 1977. Evolution of an active continental margin as exemplified by the Alpine history of the Caucasus. *Tectonophysics*, 40, 183-189.
- Akçar, N., Tikhomirov, D., Özkaymak, Ç., Ivy Ochs, S., Alfimov, V., Sözbilir, H., Uzel, B., Schlüchter, C., 2012. ³⁶Cl exposure dating of paleoearthquakes in the Eastern Mediterranean: First results from the western Anatolian Extensional Province, Manisa fault zone, Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 124(11-12), 1724-1735.
- Akcar, S., Azak, T., Çan, T., Çeken, U., Demircioğlu-Tümsa, M.B., Duman, T. Y., Erdik, M., Ergintav, S., Kadirioğlu, F. T., Kalafat, D., Kale, Ö., Kartal, R. F., Kekovalı, K., Kılıç, T., Özalp, S., Altuncu Poyraz, S., Şeşetyan, K., Tekin, S., Yakut, A., Yılmaz, M. T., Yüccemen, M. S, Zülfişkar, Ö., 2018. Evolution of seismic hazard maps in Turkey. *Bull Earthquake Eng*, <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0349-1>.
- Ardel, A., 1943. Trabzon ve Civarının Morfolojisi Üzerine Gözlemler. *Türk Coğrafya Dergisi*, 1, 71-82.
- Avagyan, A., Sosson, M., Karakhanian, A., Philip, H., Rebai, S., Rolland, Y., Melkonyan, R., Davtyan, V., 2010. Recent tectonic stress evolution in the Lesser Caucasus and adjacent regions, M. Sosson, N. Kaymakci, R.A. Stephenson, F. Bergerat, V. Starostenko (Ed.). *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform* (393-408), Geological Society, London.
- Aytaç, A., 2012. An Approach to the Sea Level Changes to Base on The Marine Terraces of the Turkish Black Sea Coasts. (Abstracts) *Quaternary International*, 30, 279-280.
- Beaumont, C., Fullsack, P., Hamilton, J., 1994. Styles of crustal deformation in compressional orogens caused by subduction on the underlying lithosphere. *Tectonophysics*, 232, 119-132.
- Beaumont, C., Ellis, S., Hamilton, J., & Fullsack, P., 1996. Mechanical model for subduction-collision tectonics of Alpine-type compressional orogens. *Geology*, 24, 675-678.
- Bektaş, O., Yılmaz, C., Taşlı, K., Akdağ, K., Özgür, S., 1995. Cretaceous rifting of the eastern Pontide carbonate platform (NE Turkey): the formation of carbonates breccias and turbidites as evidences of a drowned platform. *Geologia*, 57 (1-2), 233-244.
- Bektaş, O., Şen, C., Atıcı, Y., Köprübası, N., 1999. Migration of the Upper Cretaceous Subduction Related Volcanism Towards the Back-arc Basin of the Eastern Pontide Magmatic Arc (NE Turkey). *Geological Journal*, 34, 95-106.
- Bektaş, O., Çapkınoğlu, S., Akdağ, K., 2001. Successive extensional tectonic regimes during the Mesozoic as evidenced by neptunian dikes in the Pontide Magmatic Arc, Northeast Turkey. *International Geology Review*, 43(9), 840-849.
- Berndt, C., Yıldırım, C., Çiner, A., Strecker, M. R., Ertunç, G., Sarıkaya, M.A., Ozcan, O., Ozturk, T., Güneç Kıyak, N., 2018. Quaternary uplift of the northern margin of the Central Anatolian Plateau: New OSL dates of fluvial and delta-terrace deposits of the Kızılırmak River, Black Sea coast, Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 201, 446-469.

- Bonini, M., Sokoutis, D., Talbot, C.J., Boccaletti, M., & Milnes, A.G., 1999. Indenter growth in analogue models of Alpine-type deformation. *Tectonics*, 18, 119-128.
- Bonini, M., Sokoutis, D., Mulugeta, G., Katrivanos, E., 2000. Modelling hanging wall accommodation above rigid thrust ramps. *Journal of Structural Geology*, 22, 1165-1179.
- Bull, W. B., 2007. *Tectonic geomorphology of mountains: A new approach to paleoseismology* (1th ed.). Wiley-Blackwell, Oxford.
- Chen, Y., Li, S.H., Li, B., 2012. Slip rate of the Aksay segment of Altyn Tagh Fault revealed by OSL dating of river terraces. *Quaternary Geochronology*, 10, 291-299.
- Chorowics, J., Dhont, D., Adıyaman, Ö., 1998. Black Sea-Pontid relationship: interpretation in terms of subduction. Abstract of Third International Turkish Geology Symposium, Ankara, 258.
- Çifçi, G., Dondurur, D., Ergun, M., 2002. Sonar and high resolution seismic studies in the Eastern Black Sea. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 11(1), 61-81.
- Demir, G., Aytekin, M., Akgün, A., İkizler, S. B., Tatar, O., 2013. A comparison of landslide susceptibility mapping of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) by likelihood-frequency ratio and analytic hierarchy process methods. *Nat Hazards* 65(3), 1481-1506.
- Demircioğlu, M. B., Şeşetyan, K., Duman, T. Y., Çan, T., Tekin, S., & Ergintav, S., 2017. A probabilistic seismic hazard assessment for the Turkish territory: Part II-fault source and background seismicity model, *Bulletin Earthquake Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0130-x>.
- Dempsey, D., Ellis, S., Archer, R., Rowland, J., 2012. Energetics of normal earthquakes on dip-slip faults. *Geology*, 40, 279-282.
- Dewey, J. F., Pitman, W. C., Ryan, W. B. F., & Bonnin, J., 1973. Plate tectonics and evolution of the Alpine system. *Geological Society of America Bulletin*, 84, 3137-3180.
- Doglioni, C., Barba, S., Carminati, E., Riguzzi, F., 2011. Role of the brittle-ductile transition on fault activation. *Phys. Earth Planet. Int.* 184, 160-171.
- Doglioni, C., Barba, S., Carminati, E., Riguzzi, F., 2014. Fault on-off versus coseismic fluids reaction. *Geoscience Frontiers* 5, 767-780.
- Emre, Ö., Ateş, Ş., Duman, T.Y., Keçer, M., Erkal, T., Doğan, A., Durmaz, S., Osmançelebioğlu, R., Karakaya, F., ve Özalp, S., Koçyiğit, A., Göncüoğlu, M.C., Toprak, V., Bozkurt, E., Dirik, K., Rojay, B., Yılmaz, İ.Ö., Teksöz, B., Cihan, M., ve Özacar, A., 1999. 17 Ağustos 1999 Gölcük-Arifiye (Kuzeydoğu Marmara) depremleri sonrası Sakarya ili ve ona bağlı yerleşkeler için yeni yerleşimi alanları araştırma raporu. ODTÜ-MTA Genel Müdürlüğü-TÜBİTAK Ortak Araştırma Proje Raporu, MTA Rapor No 10273, Ankara.
- Emre, O., Tüysüz, O., Yıldırım, C., 2009. Uplift of Pontide orogenic belt since the late Miocene. Abstract book of Second International Symposium on the Geology of the Black Sea Region (66-67), Ankara.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, S., Şaroğlu, F., 2013. Active fault map of Turkey with an explanatory text 1:1,250,000 scale. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series, 30.
- Erol, O., 1952. Trabzon Sekileri Hakkında Bir Not. *Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 10, 125-136.
- Eyüboğlu, Y., Bektaş, O., Seren, A., Maden, N., Jacoby, W. R., Özer, R., 2006. Three directional extensional deformation and formation of the Liassic rift basins in the eastern Pontides (NE Turkey). *Geologica Carpathica*, 57(5), 337-346.
- Eyüboğlu, Y., Bektaş, O., Pul, D., 2007. Mid-Cretaceous olistostromal ophiolitic melange developed in the back-arc basin of the eastern Pontide magmatic arc (NE Turkey). *International Geology Review*, 49(12), 1103-1126.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Bektaş, O., Ayhan, S., 2011. Arc magmatism as a window to plate kinematics and subduction polarity: Example from the eastern Pontides belt, NE Turkey. *Geoscience Frontiers*, 2(1), 49-56.
- Eyüboğlu, Y., Dudas, F.O., Santosh, M., Zhu, D.C., Yi, K., Chatterjee, N., Akaryalı, E., Liu Z., 2016. Cenozoic forearc gabbros from the northern zone of the Eastern Pontides Orogenic Belt, NE Turkey: implications for slab window magmatism and convergent margin tectonics. *Gondwana Research*, 33, 160-190.

- Fattahi, M., Walker, R., Hollingsworth, J., Bahroudi, A., Nazari, H., Talebian, M., Armitage, S., Stokes, S., 2006. Holocene slip-rate on the Sabzevar thrust fault, NE Iran, determined using optically stimulated luminescence (OSL). *Earth and Planetary Science Letters*, 245, 673-684.
- Frankel, K.L., Wegmann, K.W., Bayasgalan, A., Carson, R.J., Bader, N.E., Adiya, T., Bolor, E., Durfey, C.C., Otgonkhuu, J., Sprajcar, J., Sweeney, K.E., Walker, R.T., Marsteller, T.L., Gregory, L., 2010. Late Pleistocene slip rate of the Höh Serh–Tsagaan Salaa fault system, Mongolian Altai and intracontinental deformation in central Asia. *Geophysical Journal International*, 183 (3), 1134-1150.
- Giaconia, F., Booth-Rea, G., Martínez-Martínez, J.M., Azañón, J.M., Pérez-Peña, J.V., 2012. Geomorphic analysis of the Sierra Cabrera, an active pop-up in the constructional domain of conjugate strike-slip faults: The Palomares and Polopos fault zones (eastern Betics, SE Spain). *Tectonophysics*, 580, 27-42.
- Gök, R., Mellors, R. J., Sandvol, E., Pasyanos, M., Hauk, T., Takedatsu, R., Yetirmishli, G., Teoman, U., Turkelli, N., Godoladze, T., Javakishvirli, Z., 2016. Lithospheric velocity structure of the Anatolian plateau-Caucasus-Caspian region, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 116(B5), 2156-2202.
- Gündüz, S., 2015. Investigation of Active Tectonism Structure of The Eastern Black Sea with Using Multichannel Seismic Data. MSc Thesis, Dokuz Eylül University, Izmir.
- Güven, İ. H., 1993. Geological and Metallogenic Map of the Eastern Black Sea Region; 1:250,000 Map. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Trabzon.
- Hamilton, W. J., 1842. *Researches in asia minor, pontus and armenia with some account of their antiquities and geology* (1th ed.). London: J. Murray.
- Hässig, M., Duretz, T., Rolland Y., Sosson M., 2016. Obduction of old oceanic lithosphere (80 Ma) due to thermal rejuvenation and the role of post-obduction extension, insights from NE Anatolia-Lesser Caucasus ophiolite and numerical modelling. *Journal of Geodynamics*, 96, 35-49.
- ISC, 2018. Uluslararası Sismoloji Merkezi, Son depremler, 2018, <http://www.isc.ac.uk/>
- Karajiyani, H., 1920. *Mineral Resources of Armenia and Anatolia* (1th ed.). Newyork: Armenia Press.
- Keskin, S., 2007. Güneydoğu (GD) Karadeniz Sahil Kesiminin (Trabzon Yöresi) Denizel Taraçaları ve Aktif Tektoniği. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Keskin, S., Pedoja, K., Bektaş, O., 2011. Coastal uplift along the eastern Black Sea coast: new marine terrace data from Eastern Pontides, Trabzon (Turkey) and a Review. *Journal of Coastal Research*, 27, 63-73.
- Ketin, İ., 1969. Über die nordanatolische Horizontalverschiebung. *Bull. Miner. Res. Explor. Inst. Turk.* 72:1-28.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., Kuloshvili, S., 2001. Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodinamica Acta* 14: 177-95.
- Kurushin, R. A., Bayasgalan, A., Ölziybat, M., Enkhtuvshin, B., Molnar, P., Bayarsayhan, C., Hudnut, K. W., Lin, J., 1997. The surface rupture of the 1957 Gobi-Altay, Mongolia, earthquake, *Geological Society of America*, 320, Special Paper.
- Maden, N., Öztürk, S., 2015. Seismic b-values, bouguer gravity and heat flow data beneath Eastern Anatolia, Turkey: Tectonic implications. *Surv Geophys.* 36, 549-570.
- Maillot, B., Koyi, H.A., 2006. Thrust dips and thrust refraction in fault-bend faults: analogue experiments and theoretical predictions. *Journal Structural Geology*, 28, 36-49.
- Merle, O., Abidi, N., 1995. Approche experimentale du fonctionnement des rampes emergentes. *Bulletin de la Société géologique de France*, 166, 439-450.
- Mozafari, A. N., Sümer, Ö., Tikhomirov, D., Özkaymak, Ç., Uzel, B., Ivy-Ochs, S., Vockenhuber, C., Sözbilir, H., Akçar, N., 2016. Holocene Time-slip history of normal fault scarps in western Turkey: 36Cl surface exposure dating. AGU Fall Meeting, 12-16 December, San Francisco, USA.
- Mulugeta, G., Sokoutis, D., 2003. Hanging wall accommodation style in ramp-flat thrust models.

- In: D.A. Nieuwland (Ed.). *New Insights into Structural Interpretation and Modelling (197-207)*, Geological Society of London Special Publication.
- Nadeau, R., Foxall, W., McEvelly, T. 1995. Clustering and periodic recurrence of microearthquakes on the San Andreas fault at Parkfield, California. *Science*, 267, 503-507.
- Nefeslioğlu, H. A., Duman, T.Y., Durmaz, S., 2008. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). *Geomorphology*, 94 (3-4), 401-418.
- Nikishin, A. M., Okay, A., Tüysüz, O., Demirer, A., Wannier, M., Amelin, N., Petrov, E. (2015). The Black Sea basins structure and history: New model based on new deep penetration regional seismic data. Part 2: Tectonic history and paleogeography. *Marine and Petroleum Geology*, 59, 656-670.
- Oswald, F. (1906). *Geology of Armenia*. PhD Thesis, University of London, London.
- Özkaymak, C., Sözbilir, H., Uzel, B., H. Akyüz, S., 2011. Geological and Palaeoseismological Evidence for Late Pleistocene–Holocene Activity on the Manisa Fault Zone, Western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 20, 449-474.
- Özsayar, T., Pelin, S., Gedikoğlu, A., 1981. Doğu Pontidler’de Kretase. *K.Ü. Yerbilimleri Dergisi*, 1, 65-114.
- Persson, K., 2001. Effective indenters and the development of double-vergent orogens; insights from analogue sand models. In: H.A. Koyi, N.S. Mancktelow, (Eds.). *Tectonic Modelling; a Volume in Honor of Hans Ramberg (191-206)*, Geological Society of America Memoir.
- Persson, K.S., Sokoutis, D., 2002. Analogue models of orogenic wedges controlled by erosion. *Tectonophysics*, 356, 323-336.
- Philip, H., Cisternas, A., Gvishiani, A., Gorshkov, A., 1989. The Caucasus: an actual example of the initial stages of continental collision. *J. Tectonoph.*, 161, 1-21.
- Rau, R.□J., Chen, K. H., Ching, K.□E., 2007. Repeating earthquakes and seismic potential along the northern Longitudinal Valley fault of Eastern Taiwan. *Geophysical Research Letter*, 34, L24301.
- Ring, U., Reischmann, T., 2002. The weak and superfast Cretan detachment, Greece: exhumation at subduction rates in extruding wedges. *Journal of the Geological Society*, 159, 225-228.
- Robinson, A. G., Banks, C. J., Rutherford, M. M., Hirst, J. P. P., 1995. Stratigraphic and structural development of the Eastern Pontides, Turkey. *Journal of the Geological Society*, 152, 861-872.
- Rosas, F.M., Duarte, J.C., Almeida, P., Schellart, W.P., Riel, N., Terrinha, P., 2017. Analogue modelling of thrust systems: Passive vs. active hanging wall strain accommodation and sharp vs. smooth fault-ramp geometries. *Journal of Structural Geology*, 99, 45-69.
- Scholz, C. H., 1990. *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*. Cambridge, New York, Cambridge University Press, Ref. QE534.2.S37.3
- Semerci, A., 1990. Trabzon İli Yerleşim Alanının Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Softa, M., Spencer, J.Q.G., Emre, T., Sözbilir, H., Turan, M., 2016. “Timing of Quaternary Marine Terrace Formation and Uplift Rates in the Eastern Pontides, NE Turkey”, *Abstracts of American Geophysical Union, San Fransisco. (2016AGUFMEP11A0989S)*
- Softa, M., Spencer, J. Q. G., Emre, T., Sözbilir, H., Turan, M., 2017. Late Quaternary rapid uplift deduced from marine terraces in Eastern Pontides, Turkey. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 49(6). doi: 10.1130/abs/2017AM-305129.
- Softa, M., Emre, T., Sözbilir, H., Spencer, J. Q. G., Turan, M., 2018. Geomorphic evidence for active tectonic deformation in the coastal part of Eastern Black Sea, Eastern Pontides, Turkey, *Geodinamica Acta*, 30:1, 249-264.
- Softa, M., 2018. Tektonik Jeomorfoloji ve Denizel Taraçaların Yaş Verileri Işığında Doğu Karadeniz Havzası Güney Kenarının Aktif Tektoniği. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Solmaz, F., 1990. Vakfikebir-Yomra Arası Kıyı Şeridinin Morfolojisi ve Taraçalar. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

- Sosson, M., Stephenson, R., Sheremet, Y., Rolland, Y., Adamia, S., Melkonian, R., Kangarli, T., Yegorova, T., Avagyan, A., Galoyan, G., Danelian, T., Hässig, M., Meijers, M., Müller, C., Sahakyan, L., Sadradze, N., Alania, V., Enukidze, O., Mosar, J., 2016. The Eastern Black Sea-Caucasus region during the Cretaceous: new evidence to constrain its tectonic evolution. *Comptes Rendus Geoscience*, 348, 23-32.
- Şengör, A. M. C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- TPAO, 2010. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Sismik kesitler. 2010, <http://www.tpao.gov.tr>
- Tsereteli, N., Tibaldi, A., Alania, V., Gventsadse, A., Enukidze, O., Varazanashvili, O., Müller, B. I. R., 2016. Active tectonics of central-western Caucasus, Georgia. *Tectonophysics*, 691, 328-344.
- Ustaömer, T., Robertson, A. H. F., 1996. Paleotethyan tectonic evolution of the north Tethyan margin in the central Pontides, N Turkey. In: A. Erler, T. Ercan, E. Bingöl, S. Orcen, (Ed.). *Proceedings of the International Symposium on the Geology of the Black Sea Region (24-33)*. Ankara.
- Westaway, R., 1994. Present-day kinematics of the Middle East and eastern Mediterranean. *Journal of Geophysical Research*, 99, 12071-12090.
- Yıldırım, C., Schildgen, T.F., Echtler, H., Melnick, D., Strecker M.R., 2011. Late Neogene and active orogenic uplift in the Central Pontides associated with the North Anatolian Fault: implications for the northern margin of the Central Anatolian Plateau, Turkey. *Tectonics*, 30 (5), TC5005, doi:10.1029/2010TC002756.
- Yıldırım, C., Melnick, D., Ballato, P., Schildgen, T. F., Echtler, H., Erginal, A. E., Kıyak, N. G., Strecker, M. R., 2013. Differential uplift along the northern margin of the Central Anatolian Plateau: inferences from marine terraces. *Quaternary Science Reviews*, 81, 12-28.
- Yılmaz, B.S., Güç, A.R., Gülibrahimoğlu, İ., Yazıcı, E.N., Konak, O., Yaprak, S., Köse, Z., 1998. Trabzon İlinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Rapor No: 9997.
- Yılmaz, C., Şen, C., Şener, S., Kandemir, R., Karşlı, O., Bak, T. K., 2005. Trabzon Kıyı Bölgesinin Pliyo-Kuvaterner Stratigrafisi. *Türkiye Kuvaterner Sempozyumu*, 5, 111-117.
- Yılmaz, Y., 2017. Morphotectonic Development of Anatolia and the Surrounding Regions, In: I. Çemen, Y. Yılmaz, (Ed.). *Active Global Seismology: Neotectonics and Earthquake Potential of the Eastern Mediterranean Region (11-91)*. American Geophysical Union.