

Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi içindeki devamı

Caner İMREN*, Emin DEMİRBAĞ, A. M. Celal ŞENGÖR

İTÜ Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Marmara Denizi'nde toplanmış olan 2200 km'lik çok-kanallı sismik yansımaya hatlarının değerlendirilmesi esnasında, kuzey çukurluklarını örten çok ışınli derinlik verisinden faydalanılmıştır. Çok-kanallı sismik yansımaya verileri İTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü Nezih Canitez Veri İşlem Laboratuvar'ında Disco-Focus yazılım paketi ile işlenmiştir. Marmara Denizi'nin kuzey kesiminin şu anda sürekli faal doğrultu-atımlı bir fay sistemi ile kesildiği sonucuna ulaşılmıştır ve bu fay, Marmara Fayı olarak adlandırılmıştır. Marmara Fayı, Marmara Denizi doğusundaki 270°lik İzmit Fayı'nı, denizin batısındaki 245°lik Ganos Fayı'na bağlar. Marmara Fayı iki ana doğrultuya sahiptir. Fay, Marmara Denizi'nin 2/3'lük batı kısmında 130 km uzunluğunda ve 265° yönünde uzanırken, doğu kısmında ise 70 km'nin üzerinde 295° doğrultusunda uzanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Marmara Denizi bölgesi, faal faylar, çok kanallı yöntemler, sismik, derinlik bilgisi.

The Continuation of the North Anatolian Fault within the Sea of Marmara Abstract

We analyze 2200 km of multi-channel seismic reflection profiles that have become recently available in the Sea of Marmara. This analysis benefits from the recent acquisition of multi-beam bathymetric data covering the axial portion of the northern basins. We conclude that the northern Sea of Marmara is at present cut by an active continuous strike-slip fault system, that we call the Marmara Fault. It links the 270° İzmit portion of the northern branch of the North Anatolian Fault to the east of the sea to the 245° Ganos Fault to the west. The Marmara Fault which is the continuation of the Ganos Fault in the Sea of Marmara with the 265° extent and approximately 130 km length is followed as a fault offset the Tekirdağ Basin, Western High, Central Basin and Central High. At the northeastern extremity of the Sea of Marmara, it turns southeast toward the northern margin of the Çınarcık Basin. It extends about 70 km in a 295° direction in the Çınarcık Basin. There is thus a 25° clockwise rotation with respect to the 270° İzmit Fault strand that should result in a slight extensional component. Certainly when it is called Marmara Fault, it should be considered the Marmara Fault Zone (MFZ) at the same time. The corridor that followed by microearthquake activity in the Sea of Marmara is the seismological evidence that also support the Marmara Fault Zone term.

Keywords: Sea of Marmara region, active faults, multichannel methods, seismics, bathymetry.

Yazışmaların yapılacağı yazar: Caner İMREN. caner@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 62 04.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Maden Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Marmara Denizi faal tektonizmasının sismik yansımaya ve derinlik verileri ile incelenmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 17.10.2003 tarihinde dergiye ulaşmış, 11.12.2003 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.04.2004 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

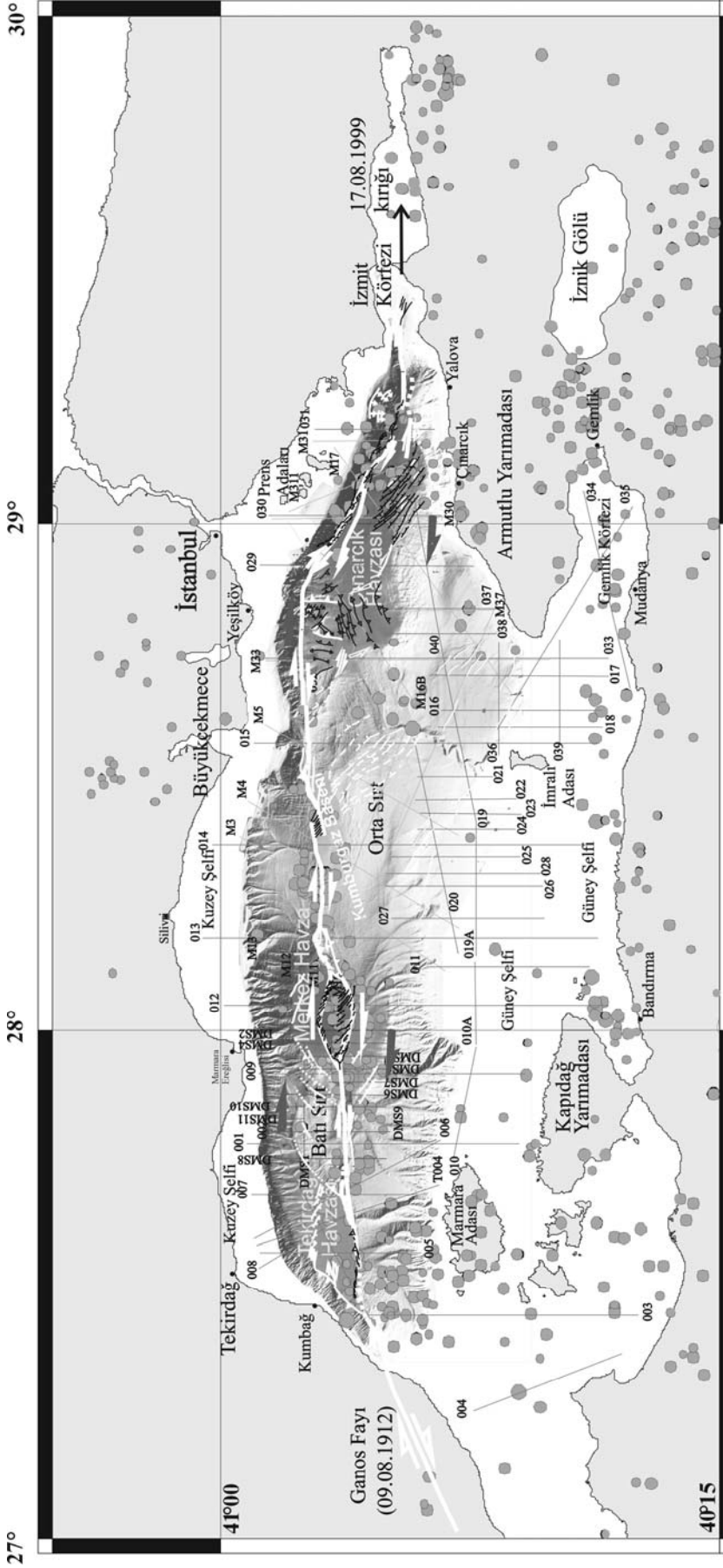
Pınar (1943), Marmara Denizi boyunca düz bir deprem alanının varlığını öne sürmüştür. Ketin (1968) ve onu takiben birkaç yazar (İlhan, 1971; Şengör, 1979; Şengör vd., 1985; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988) Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi boyunca nasıl uzandığını tartışmışlardır. Bunlardan yalnızca Şengör ve diğerleri (1985), Pınar (1943) ile aynı görüşü (tek bir kol) paylaşıyorlardı. Elbette bu modeller önerildiğinde deniz jeofiziği verisi henüz mevcut değildi. 1995 yılında oldukça fazla tek-kanallı sismik yansıma verisi elde edildi (Ergün ve Özel, 1995; Wong vd., 1995). Faal fayların ilk haritaları, Marmara Denizi kuzeyindeki sistemin sıradan tektonik yorumuna gitmektedir. Bu yorum, kısa uzunluklu (~ 50 km) sürekli olmayan (kademeli) doğrultu-atımlı fay dilimlerinden ve aralarında dağılmış çek-ayır havzaları olarak yorumlanan üç belirgin çukurluktan oluşmaktadır. Ardından Aksu ve diğerleri (2000), bütün Marmara Denizi'ni kapsayan tek-kanallı sismik yansıma araştırması ile son derece karmaşık transtansiyonel çiçek yapısı sonucuna vardılar. Ancak bu karmaşık fay sistemindeki yapıların sürekliliğinin belirlenmesi, yüksek sismik nüfuz derinliğine sahip ve yüksek ayrımlılıklı derinlik verisi olmadığı sürece mümkün değildir.

1997 yılında çok-kanallı sismik yansıma araştırmaları, Türkiye Ulusal Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği programı çerçevesinde TÜBİTAK'ın (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu) sponsorluğunda MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) Sismik-1 araştırma gemisi ile başlatılmıştır. 1997 Ağustos'unda Alman araştırmacılarla işbirliği içinde Batı Sırt üzerinde 11 hattan oluşan 200 km'lik sismik yansıma verisi toplanmıştır. 1997 Eylül'ünde ise MTA, İTÜ ve CAMBRIDGE Üniversitesi işbirliğinde gerçekleştirilen ikinci sefer esnasında 45 hattan oluşan 1400 km'lik sismik yansıma verisi toplanmıştır. Bu 1400 km'lik sismik yansıma verisi ilk olarak Cambridge Üniversitesi'nde işlenmiş ve yorumlanmıştır (Parke vd., 1999). Aynı veri bağımsız olarak İTÜ'de de işlenerek yorumlanmıştır ve ayrıca Okay ve diğerleri (1999; 2000) tarafından yayınlanmıştır. 17 Ağustos 1999'da gerçekleşen 7.4 büyüklüğündeki Kocaeli depreminin ardından, 1999 Eylül'ünde 16 hattan

oluşan 600 km uzunluğundaki çok-kanallı sismik yansıma verisi toplanmıştır (Demirbağ, 2000). Bütün bu 2200 km'lik veri takımı (Şekil 1) benzer bir yaklaşımla yeniden işlenmiştir. Önceki yayınlanan veri takımına göre, bu çalışmada kapsam ve nitelik olarak önemli ölçüde bir gelişme sağlanmıştır (ayrıntı için bakınız: İmren vd., 2001; Le Pichon vd., 2001).

1999 Şubat'ında Alman araştırma gemisi Meteor Marmara Denizi'nde ilk çok ışınli derinlik çalışmasını gerçekleştirmiştir. Batı Marmara Sırt'ını kapsayan bu araştırma, sırtın güney bölümü boyunca D-B doğrultulu bir izin varlığını, Marmara Denizi'nin batısında bulunan doğrultu-atımlı Ganos Fayı'nın doğusundaki devamı olarak gözler önüne sermiştir. Bu yarığın içinde metan gazının çıktığı gösterilmiştir ve bu gaz çıkışı, bu fayın faaliyetinin bir işareti olarak yorumlanmıştır (Halbach vd., 2000). Kocaeli Depremi'nden sonra, 1999'un sonlarında ve 2000 başlarında, Türkiye Cumhuriyeti Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi (SHOD) tarafından, İTÜ'nün işbirliğiyle derin Marmara Çukurluğu'nu, uzun eksenli boyunca örtecek şekilde çok ışınli derinlik çalışması yapılmıştır (Demirbağ, 2000). 2000 Eylül'ünde Fransız araştırma gemisi Le Suroit ile oldukça önemli bir veri grubu (çok ışınli derinlik, tek-kanallı sismik yansıma, saçılma, yandan tarayıcı sonar, dipten çekmeli sismik yansıma ve yüksek frekanslı chirp verisi) oluşturulmuştur. Bu verilerin ve çok kanallı araştırmaların sonuçlarının birleştirilmesi ile Marmara Denizi'ni boyu boyunca kesen sürekli bir fayın varlığı gözler önüne serilmektedir (İmren vd., 2001; Le Pichon vd., 2000; 2001; Rangin vd., 2001).

Gürbüz ve diğerleri (2000), Marmara Denizi'nin iyi bir sismisitesini elde etmişlerdir. Marmara Denizi çevresine dağılmış 48 istasyonlu mikro-sismik çalışması, 2.5 km'den daha düşük bir standart sapma ile 137 adet mikrodrepm tespit etmiştir. Bu mikrosismik faaliyet doğrusaldır ve yukarıda bahsedilen sürekli fay ile yakın ilişkilidir. Marmara Denizi'nin kuzey kısmında fay düzlemi çözümleri ya doğrultu-atımlı ya da sıkışmalıdır; ayrıca gerilme tensörü yaklaşık D-B fay sisteminde net doğrultu-atım ile uyumludur (Gürbüz vd., 2000). Gürbüz ve diğerleri (2000),



Şekil 1. Çok ışınlı derinlik (Le Pichon vd., 2001; Rangin vd., 2001) ve sismik yansıma verilerine (İmren vd., 2001; Le Pichon vd., 2001; Rangin vd., 2001) dayanarak hazırlanan, Marmara Denizi faal fay haritası). Yarıçapları deprem büyüklüğü ile orantılı olan noktalar Gürbüz ve diğerleri (2000) 'den alınmıştır.

mikrosismik çalışmadan elde edilen hız modeli ve istasyon düzeltmelerini kullanarak, 1986 ile 1996 yılları arasında 929 mikrodepremin lokasyonlarını yeniden bulmuşlardır (Şekil 1) ve bu depremlerin dağılımı mikrosismik çalışmanın sonuçlarını doğrulamaktadır.

Sonuç olarak, Marmara Denizi boyunca sürekli bir fay mevcuttur. Bu fayın İzmit Körfezi'nden Ganos Fayı'na kadar Kuzey Anadolu Fayı'nın devamının bir izi olarak Şekil 1'de görüldüğü gibi yaklaşık deprem dairelerini izlediği önerilmiş ve bu fay Marmara Fayı olarak adlandırılmıştır (İmren vd., 2001; Le Pichon vd., 2001).

Bu makale, çok ışınlı derinlik haritasını, çok kanallı sismik yansıma verilerinin yorumlanmasında destek amaçlı kullanmaktadır ve büyük faal Marmara Fay Sistemi'nin Marmara Denizi boyunca sürekliliğinin doğrulanmasına odaklanmıştır.

Veri toplama ve işleme

1997 ve 1999 yıllarında MTA Sismik-1 gemisi ile iki aşamada toplam 2200 km'lik çok-kanallı sismik yansıma verisi toplanmıştır. 1997 yılında toplanan verilerin kanal sayıları 84-108, 1999 yılında toplanan verilerin ise 36-84 arasında değişmektedir. Enerji kaynağı, toplam 1080-1380 inç³'lük hacime sahip 10 adet GI tipi hava tabancası düzeninden oluşmaktadır. Ofset 40 m ile 150 m arasında değişmektedir. Atış aralığı 50 m'dir. Alıcı kümesi aralığı 12.5 m ve Ortak Yansıma Noktası (OYN) aralığı ise 6.25 m'dir. Örneklem aralığı 2 ms'dir ve kayıt uzunluğu ise 5120 ms ile 8192 ms arasında değişmektedir.

Veriler İTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü Nezihi Canitez Veri İşlem Laboratuvarı'nda işlenmiştir. Hem sıradan hem de sıradan olmayan veri işlem basamakları veriye uygulanmıştır. Sıradan olmayan veri işlem basamakları şunları içerir: güçlü akıntılar yüzünden sismik hattın dışına kayan alıcı kablosu için hat geometri tanımlanması, su sütununun hız çekmesi etkisini gidermek için deniz tabanı statik düzeltmesi ve deniz tabanının yüksek eğime sahip morfolojik şartlarda yağma sonrası göç çeşitlerinin kullanılması (f-k stolt göçü, f-k göçü ve eğik yola kaydırma, sonlu farklar (x-t) dalga denklemi göçü, açık sonlu

farklar göçü, Omega-x sonlu farklar göçü ve Kirchhoff göçü). Sıradan veri işlem basamakları ise şöyledir: kötü sismik izlerin temizlenmesi, direk ve kırılma gelişlerinin giderilmesi, f-k analizi ve süzgeçlemesi, Ortak Yansıma Noktası (OYN) düzenleme, atış-alıcı statik düzeltmesi, otomatik kazanç düzeltmesi, band geçiren süzgeçleme (5-90 Hz).

Çok ışınlı (multibeam) sistem 30 kHz'lık sabit 137 ışınlı bir sistemdir. Veri, Fransız Deniz Araştırmaları Enstitüsü (IFREMER) çalışanları tarafından temizlenmiştir.

Sismik veri yorumlama

Kuzey Marmara Çukurluğu, karmaşık bir topoğrafik özelliğe sahiptir. Aşağı yukarı D-B yönelimli yaklaşık 1200 m derinlikli 3 adet havzaya sahiptir: Tekirdağ, Orta ve Çınarcık Havzaları. Bu havzalar, Batı ve Orta Sırt diye adlandırılan 400-600 m derinlikli iki KD-GB yükseltisi ile birbirinden ayrılmıştır (Şekil 1).

Bu üç basen, faylanmadan etkilendikleri yerler hariç, düz, sürekli ve yavaşça eğimlenen bir koridorda gelişen istiflenmiş çökellere (türbidit) sahiptir. Ayrıca Orta Havza'da alınan karotlarda türbiditlere rastlanılmıştır (Çağatay vd., 2000). Çınarcık Havzası kuzeybatıdan güneydoğuya doğru derinleşmektedir (Şekil 1) ve bu da türbiditlerin buradaki kaynağının havzanın kuzeybatısında, yaklaşık İstanbul'un 30 km batısındaki Büyükçekmece bölgesinde olduğunu işaret etmektedir. Tekirdağ Havzası deniz tabanı da güneybatıya doğru sürekli derinleşmektedir. Orta havza faal faylanmadan oldukça güçlü bir şekilde etkilenmiştir ve türbiditlerin kaynağı havzanın topoğrafyasından basitçe belirlenemeyebilir. Dördüncü D-B havza Orta Sırt üzerindedir ve doğrudan Büyükçekmece Pleistosen vadisine doğru yönelen KD-GB yönünde 800 m derinlikli derin düz bir çukurluktur (Şekil 1). Bu KD-GB çukurluğunu dolduran türbiditlerin, Çınarcık Havzası'nı doldurduğu gibi, aynı Büyükçekmece kaynağından geldiği görülmektedir.

İlk olarak batıdaki Tekirdağ Havzası'ndan başlayarak örnek sismik hatları tartışacağız. Üzerinde hat yerleri de bulunan yorumlanmış bir yapısal harita Şekil 1'de verilmektedir.

Tekirdağ Havzası

M97-006 nolu hat (Şekil 2) Tekirdağ Havzası boyunca yaklaşık K-G yönünde uzanır. Kesitte yansıma biçimine bağlı olarak iki dizi tanımlanmaktadır. Güneye doğru, alttaki dizinin hafifçe kıvrımlandığı görülmektedir; bu dizi düz yayılarak istiflenmiş üst dizi tarafından uyumsuzca örtülmüştür. Tekirdağ Havzası'nın KB sınırı da benzer olarak bozulmadan istiflenmiş üst dizi ile eğimlenmiş blokları örten GD yönelimli çökeller arasında net bir uyumsuzluk ile işaretlenmiştir. Alt istifin çökmesi esnasında değişen sedimanter çevre özellikleri, normal faylanmanın faal olduğunu göstermektedir. Fakat bu gelişme üst istifin çökmesi esnasında görülmemektedir. Havzanın ekseninde DKD-BGB yönlü zayıf deformasyon aralığı, kuzey kenarı biçimlendiren bir bükülmenin güney sınırını teşkil eder.

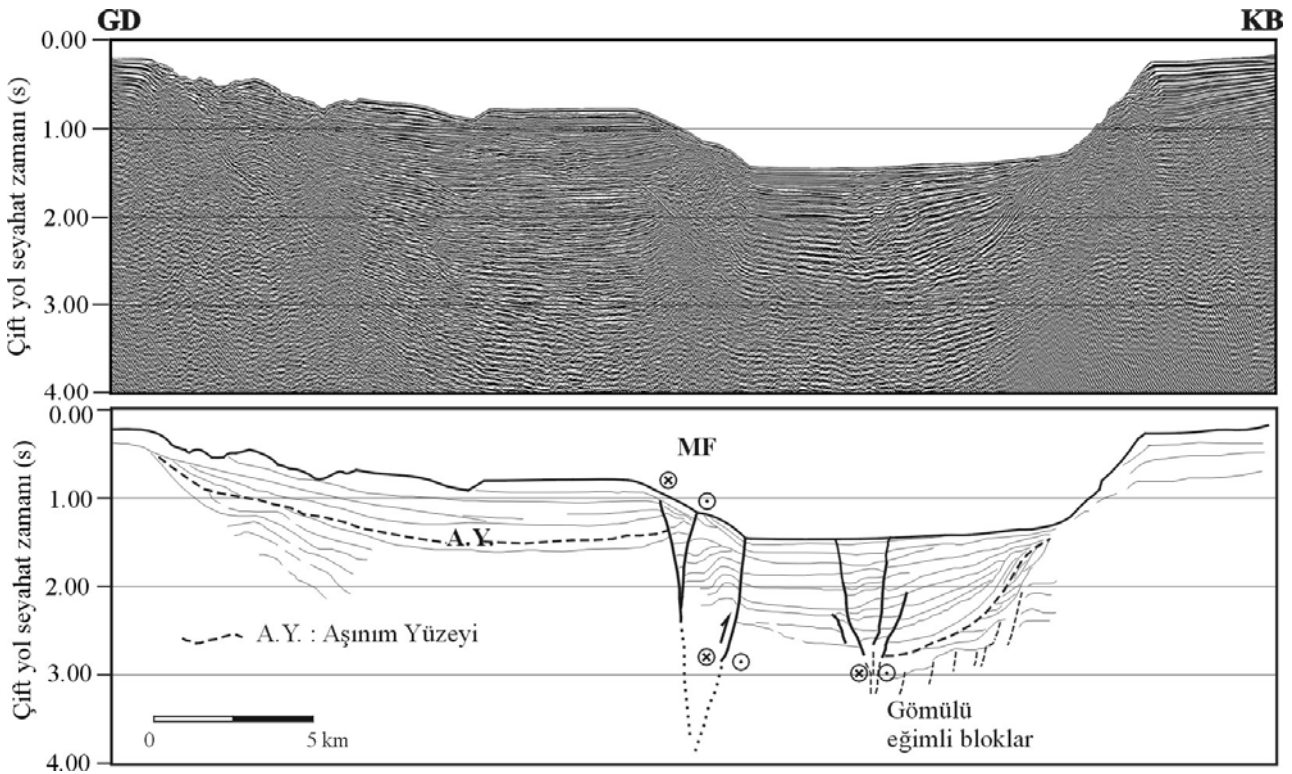
Tekirdağ Havzası'nın güney kısmı 3 km genişliğinde faal bir çiçek yapısı ile işaretlidir. Bu da Marmara Fayı'nın havzanın güney yamacını izlediğini gösterir. Bu yamaç, sağ yanal doğrultatımlı Ganos Fayı'nın doğrusal uzanımındadır. Yamacın temelinde son zamanlarda faaliyetini kaybetmiş ya da küçük bir faaliyete sahip olarak

görülen K40°D doğrultulu bindirme, Batı Sırt'ın batıdaki kenar topoğrafyasını biçimlendirir.

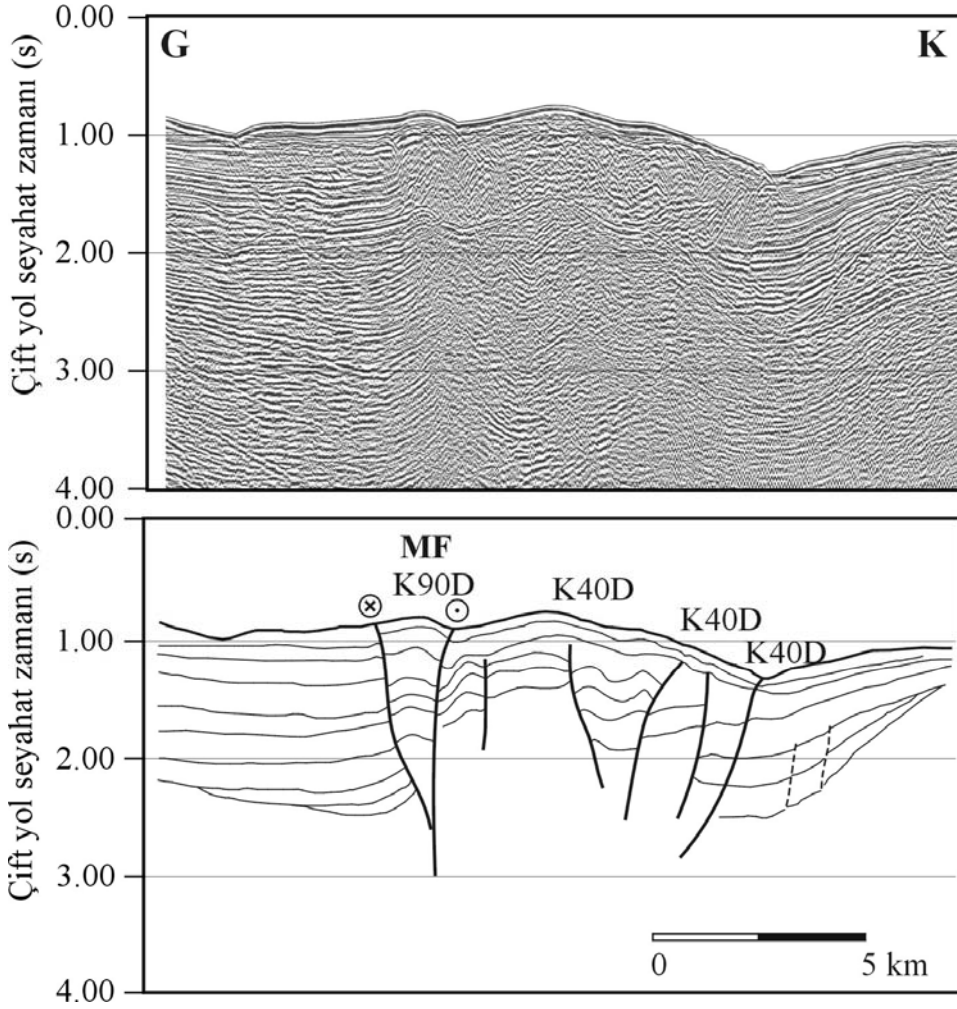
Batı Sırt

Tekirdağ Havzası'nın doğusundaki Batı Sırt, Tekirdağ ve Orta Marmara Havzalarını birbirinden ayırmaktadır (Şekil 1). DMS-008 nolu kesitte (Şekil 3), Batı Sırt sıkışmalı yapılardan oluşan 10 km genişlikli pozitif bir çiçek yapısı görünümündedir. Yapının çekirdeğinde gözlenen ters faylar 200 ms'lik çökellerle kaplanmıştır ve böylece faal değildirlir. Bu faylar K40°D S (sigmoidal) şekilli yönelime sahiptir ve doğrultatımla ilişkili rotasyonu açıkça işaret eden sırtın doğu kısmındaki derinlik ile en iyi açıklanır.

Bununla beraber tek açık-seçik faal fay Marmara Fayı'dır. Batı Sırt'ını keser ve topoğrafyada metan faaliyetinin görüldüğü sürekli bir vadi olarak görülmektedir (Halbach vd., 2000). Batı Sırtın doğu ucunda bu fay sağ yanal olarak 4 km yer değiştirmiştir (İmren vd., 2001; Le Pichon vd., 2001; 2003) ve güneye doğru yukarıda bahsedilen ters fayları sınırlandırır. Bu kesitte herhangi bir yerde normal faylanma görülmemektedir.



Şekil 2. Tekirdağ Havzası'na ait M97-006 numaralı sismik kesit ve yorumu (İmren vd., 2001)



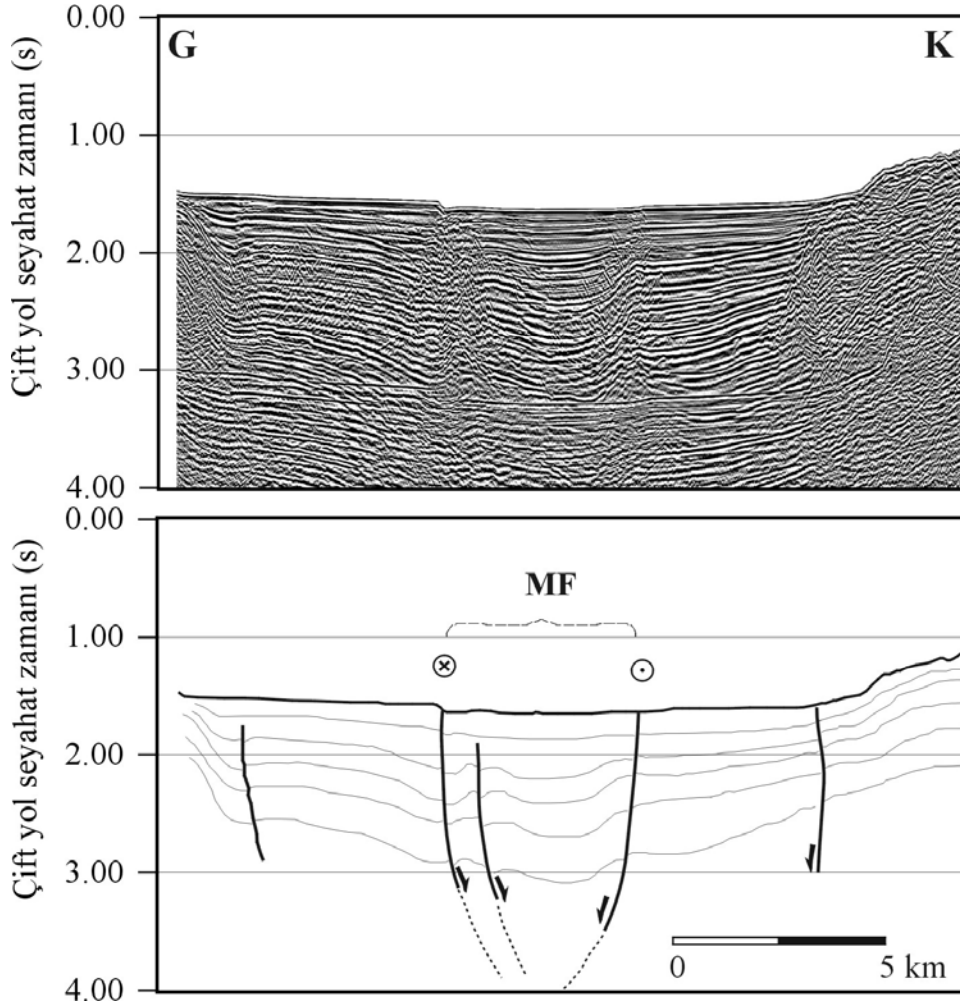
Şekil 3. Batı Sirt üzerindeki DMS-008 numaralı sismik kesit ve yorumu (İmren vd., 2001)

Topoğrafik yükseltinin, bir sıkıştırma büklümde gelişen sol basamaklanma yüzünden, D-B doğrultu-atımlı ana fayın faaliyetine bağlı olarak gelişen KB-GD kısalma ile ilişkili olduğu önerilmektedir. Ganos Fayı'nın doğusuna doğru uzanan D-B mikrosismisite aralığı Marmara Fayını izler ve bu onun şüphesiz faal durumda olduğunu gösterir (Şekil 1).

Orta Havza

Orta Havza, DMS-002 (Şekil 4) hattında görülmektedir. Bu havza eksenini boyunca, Marmara Fayı'nın yüzey ifadesi olan 5 km'lik geniş bir negatif çiçek yapısı ile işgal edilmiştir. Güney fay, topoğrafik belirti olarak kuzeye bakan bir şev sahiptir. Güney fayının 285° yönlenmesi ile uyumlu, gerilmeli bir bileşene sahip olduğu görülmektedir (Şekil 1). Diğer yandan kuzey fayı, batimetri haritasında küçük bir yerdeğiştirme

ile güneye bakan bir şev olarak farkedilebilir. Havzanın doğu kısmında muhtemelen bir gerilme bileşenine sahiptir. Batı ucunda ise, şev 250° yönelimindedir ve sonuç olarak muhtemelen transpresyoneldir (Şekil 1). Her halükarda, Marmara Fayı'nın geometrisi, Orta Sirt'in batı sınırı boyunca ve Orta Havza'nın doğu uzanımında kısalma ile sonuçlanmalıdır. Gözlemler sismik faaliyetin güney kolu izlediği yönündedir (Şekil 1); fakat episantır yerlerinin mutlak doğruluğu (S.S. 2.5 km (Gürbüz vd., 2000)) bu gözlemin doğruluğunu kesinleştirmede yeterli değildir. Havzanın güney tarafı boyunca, ekseninin 12 km güneyinde bazı faal faylanmanın olduğu açık seçik belirgindir. 12 nolu hat kuzey eğimine doğru uzanır ve normal faylanmanın bu sınırı alt sedimanter istifin çökelişi esnasında etkilediğini gösterir, fakat artık faal değildir.



Şekil 4. Orta Havza'ya ait DMS-002 numaralı sismik kesit ve yorumu (İmren vd., 2001)

Orta Sırt

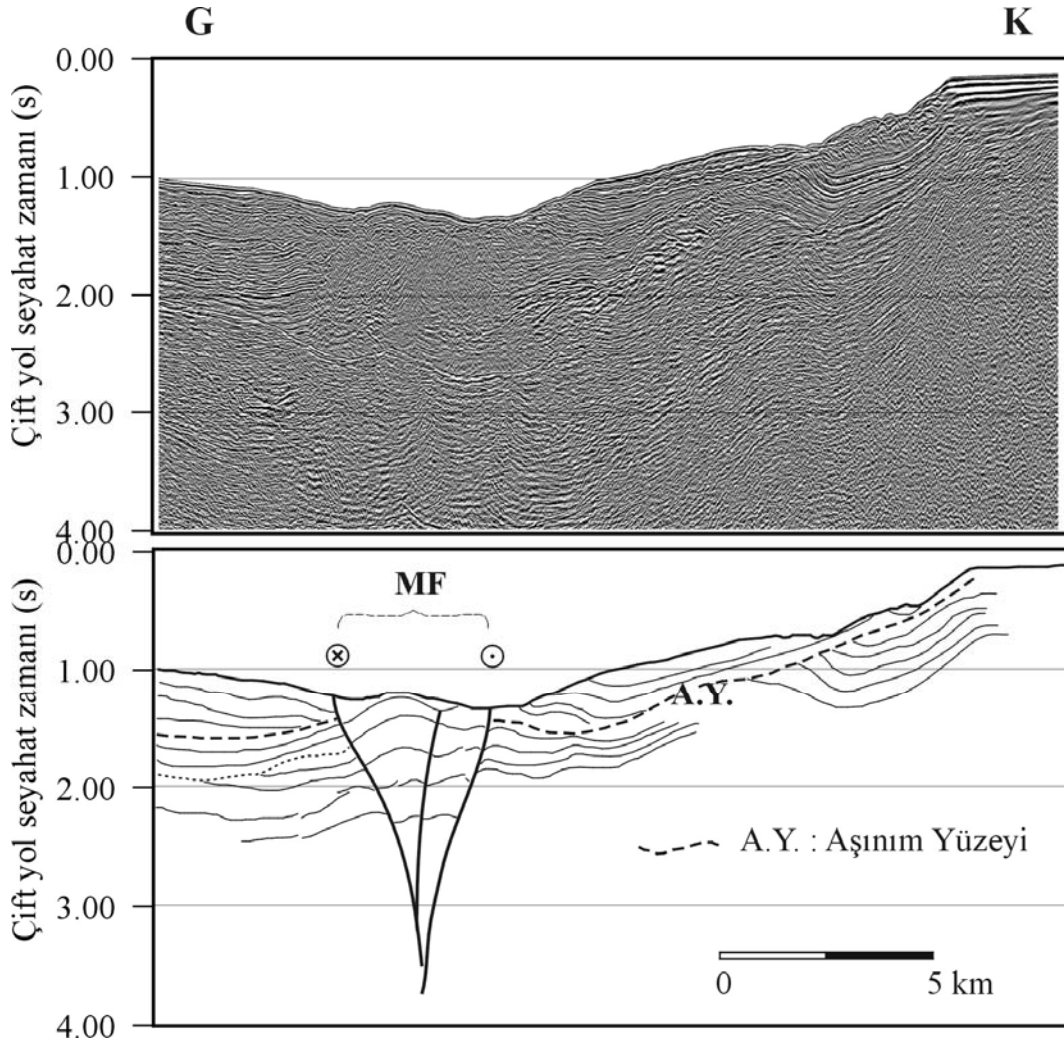
Orta Sırt topoğrafyasında, KD-GB yönelimli ana sırtı kesen 10 km genişlikli D-B uzanan bir çukurluk egemendir (Şekil 1). M97-013 nolu kesit (Şekil 5), Marmara Fayı'nın bu çukurluğun en derin yerinden kuzey yamacın temelinden geçtiğini göstermektedir.

M97-013 nolu sismik hat, D-B uzanımlı vadi ile Orta Havza'nın birleşme yerinden geçmektedir. Vadinin derinliği batya doğru düzenli bir biçimde artar, fakat genişliği ve karakteri doğudakinin aynısıdır. Marmara Fayı, D-B yönelimli bir morfolojik yükselmenin koridorunu biçimlendiren, 5 km genişliğinde pozitif bir çiçek yapısı ile belirgindir. (Şekil 1 ve Şekil 5).

Kuzeye doğru, aşınmış bir uyumsuzluğun üzerinde oturan 10 km genişlikli ve 300 m yükseklikli sedimanter sırtın, kırışık yapısı yansıma

biçimine sahip olduğu önerilmiştir (İmren vd., 2001). İmren ve diğerleri (2001) bu sırtı, doğudan gelen dip akıntının ürettiği ve Koriolis etkisi ile vadinin kuzey yanı boyunca itildiği bir büyük sürüklenme ya da birikme olarak yorumlamaktadırlar. Alt çökel tabaka hem kuzeye hem de güneye doğru hafifçe kıvrımlanmış gibi görünmektedir. Alt tabakanın üzerindeki aşınım uyumsuzluğu kuzey eğiminde oldukça güçlüdür. Birikimin altında, birikimin çökeliminden önce dip akıntılarının oldukça güçlü olmalarının gerektiğini gösterir. Marmara Fayı'nın her iki tarafındaki alt istifler, eğer fay boyunca yanal yer değiştirme varsa, karşılıklı olarak birbirleriyle ilişkilendirilemeyebilir.

Üst istif, hafifçe kıvrımlandığı görülen alt istifin üzerinde uyumsuzdur. Marmara Fayı burada üst çökel istifin çökelmeye başlamasından bu yana faaldir.



Şekil 5. Orta Sirtı kesen M97-013 numaralı sismik kesit ve yorumu (İmren vd., 2001)

Diğer taraftan, vadi doğu ucunda KD'ya döndüğü için (Marmara Fayı'nda aynı zamanda dönmektedir), Orta Sirt'in yapısı değişir. Bu değişim, Şekil 1'deki çok ışıklı derinlik haritasında, Orta Sirt'in doğu uzantısını oluşturan bir KKD Sirt olarak görülür (İmren vd., 2001; Le Pichon vd., 2001; 2003; Rangin vd., 2001).

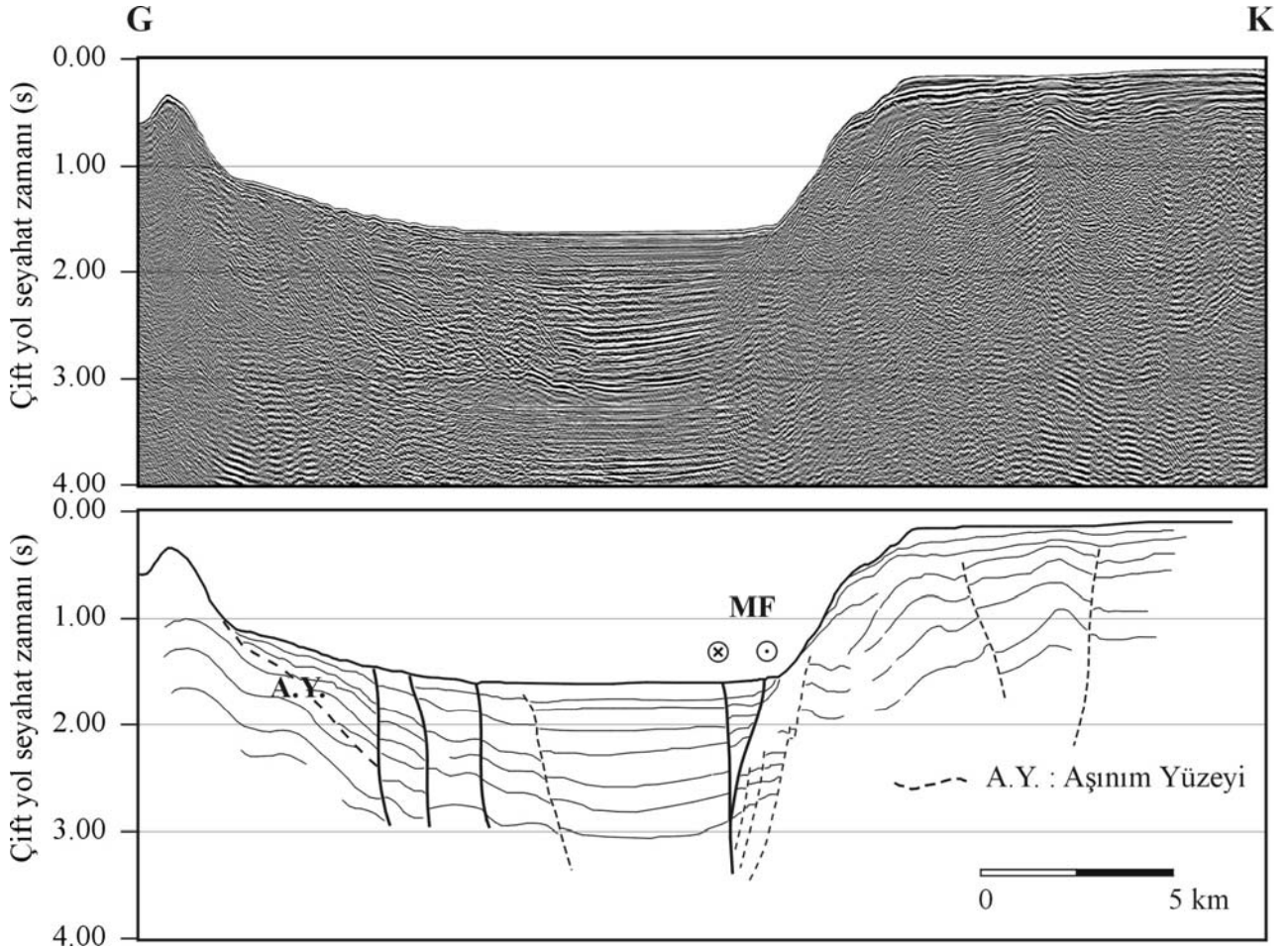
Çınarcık Havzası

Çınarcık Havzası, Marmara Denizi'nin en geniş ve en derin çukurluğudur. Çınarcık Havzası içinde ana fay, havzanın kuzey sınırına hemen hemen paralel 295°'lik bir doğrultuyu takip eder. Havzanın batısına doğru, ana fay yaklaşık 270°'ye döndüğünde Orta Sirt ile karşılaşılır.

Çınarcık Havzası'nın bu KB kesiminde görülen kıvrımlar batı sınırlı bindirmelerle ilişkilidir. Bu DKD yönelimli bindirmeler deniz tabanı

topoğrafyası ile ilişkilidir (Şekil 1) ve halen faal olabilirler. Yalnızca Çınarcık Havzası'nın ekseninin kuzeyinde mevcuttur. Orta Sirt'in doğusunda tanımlanan antiklinal ile birlikte, K-G yönünde 10 km ve D-B yönünde de 50 km genişliğinde bir D-B kısalma aralığına aittirler (Şekil 1).

M97-030 nolu hat (Şekil 6) Çınarcık Havzası'nı K-G yönünde keser. Kuzeydeki çok dik sınır, kimi araştırmacılar tarafından normal faylı yerler olarak yorumlanmıştır. Fakat bunu, ani eğim değişimi yüzünden kesitlerde göstermek oldukça zordur. Genellikle Kuzey Sınır Fayı olarak adlandırılmıştır (Okay vd., 2000). Bu sınırın doğrusallığı, onu yaratan faylanmanın önemli bir doğrultu atım bileşenine sahip olduğunu göstermektedir. Bu alandaki genişliği yer yer 1.5 km'ye ulaşan çiçek yapısı, Çınarcık



Şekil 6. Çınarcık Havzası'na ait M97-030 numaralı sismik kesit ve yorumu (İmren vd., 2000)

Havzası'nı kuzeye doğru sınırlandırarak eğimin ucunda uzanır (Şekil 6). 29 nolu hat göstermektedir ki, çiçek yapısının kuzey kolu havzanın topuğu boyunca 295° 'lik sınırı izlerken, güney kolu batıya doğru 280° yönünde uzanmaktadır.

Parke ve diğerleri (1999) tarafından önerilen normal faylanmanın delilleri sismik yansıma hatlarında görülmemektedir. Diğer bir taraftan, Örgülü ve Aktar (2001), kuzey yamacın önünde Kocaeli depreminin üç tane yeri iyi saptanmış orta büyüklükteki artçıların (Mw=4.5) net doğrultu-atım çözümüne sahip olduğunu gösterirler. Bu çözümler, bu makalede sunulan çalışma sonuçlarını desteklemektedir.

Marmara Denizi'ni boydan boya kesen ana fay için ilişkilendirilebilecek "alan" terimi, Çınarcık Havzası'nda da geçerlidir. Marmara Fay Alanı,

havzanın içerisinde doğrultu atımın tüm deformasyon unsurlarını yansıtır. Buna göre, Çınarcık Havzası, güney ve güneybatısına doğru gelindiğinde, bu fay alanının ikincil unsurları olan KB-GD doğrultulu fay takımları izlenir.

Aslında bu araştırmanın en önemli sonuçlarından biri, hiç bir yerde faal çek-ayır yapısının izinin görülmemesidir. Bu şöyle açıklanabilir; mevcut fay jeolojik olarak yeni ise, Le Pichon ve diğerleri (1999; 2000) tarafından önerildiği gibi faaliyeti durmuş çek-ayır havzalarını kesmektedir. Şekil 1, Orta Havza batimetrisinin fayın mevcut izi boyunca yaklaşık 4 km'lik bir sağ yanal yerdeğiştirmeye sahip olduğunu göstermektedir (İmren vd., 2001; Le Pichon vd., 2001; 2003). Bu durum, çek-ayır havzalarının genel olarak Pliyo-Pleyistosen olduğu varsayılırken (Armijo vd., 1999), fayın izinin yalnızca yaklaşık 200000 yıl önce geliştiğinin açık ifadesidir.

Sonuçlar

Marmara Denizi, sağ yanal doğrultu atımlı bir fay olarak çalışan 17.08.1999 Kocaeli Deprem Kırığı ile yine sağ yanal doğrultu atımlı bir fay olan 1912 Ganos Fayı arasında kalan, faal fay denetimli derinlik unsurları içeren bir iç denizdir. Marmara Denizi'nin faal faylarla ilişkili önemli derinlik unsurları, doğudan batıya doğru, Çınarcık Havzası, Orta Marmara Sırtı, Orta Marmara Çukurluğu, Batı Marmara Sırtı ve Tekirdağ Havzası'dır.

Önceki tahliller de değerlendirildikten sonra, Marmara Denizi havzalarının şu anda Marmara Fayı diye adlandırılan tek bir doğrultu-atımlı fay sistemi tarafından kesildiği sonucuna ulaşılmıştır. Marmara Fayı, Marmara Denizi'nin doğusundaki 270°'lik İzmit Fayı'nı, Marmara Denizi'nin batısındaki 245°'lik Ganos Fayı'na bağlar.

Marmara Denizi'ndeki faal fay geometrisi, Marmara Fayı ve Marmara Fay Alanı şeklinde belirlenmiştir. Marmara Denizi'ndeki bütün derinlik unsurları, Marmara Fayı tarafından kesilirken, bu unsurların içerisinde ve çevresinde direk Marmara Fayı işleyiş tektonizması ile ilişkili ikincil fay türleri sağ yanal Marmara Fay Alanı'nı oluşturmaktadır. Marmara Denizi'ndeki Tekirdağ Çukurluğu ile Çınarcık Çukurluğu arasında var olan mikrodeprem aktivitesi, Çınarcık Havzası ile Orta Sırt kesişiminde her ne kadar daha az olsa da, genelde Marmara Fay Alanı terimini destekleyen sismolojik kanıttır.

Marmara fayı iki ana doğrultuya sahiptir. Ganos'un doğusunda fay aniden 265° yönünde değişir ve 130 km devam eder. Sonra Çınarcık Havzası'nın kuzey eğimi boyunca güneydoğuya doğru döner. Bu fay sisteminin batı kısmı depremsel açıdan oldukça faaldir (Şekil 1).

Doğudan gelen fay, İzmit Körfezi'nin batısında 70 km'den daha fazla 295° yönünde uzanır. 270°'lik İzmit Fayı'na göre 25°'lik saat yönündeki dönmesi, küçük bir gerilme bileşeni ile sonuçlanmalıdır. Ayrıca Çınarcık Havzası'nın batı ucunda bir kısalma alanı mevcuttur. Bu kısalma alanı Çınarcık Havzası'nın kuzey yarısını

ve bitişiğindeki Orta Sırt'ın doğusunu içerir ve 30 km'den fazla devam eder. Kısalma alanının, kuzey eğimin 295°'den 270°'ye döndüğü yerde olması belki de rastlantı değildir.

Havzanın güneyinde ise, KB-GD doğrultulu verev normal faylar mevcuttur. Tüm bu fay dizisi, İzmit Körfezi'nin doğusu ile Ganos Dağı arasındaki hattı takip eden tek bir sağ yanal makaslama alanına bağlıdır ki, bu alan yukarıda da ifade edildiği üzere, bu sistemin ötelenme alanı olarak tanımlanır. Bu alanın gelişiminde son aşama olan Marmara Fayı'nın oluşumu dikkate alındığında, fayın Marmara Denizi içerisindeki havza ve sırtları kesip sağ yanal ötelelediği sonucuna varmak mümkündür. Batı Sırt üzerinde Marmara Fayı boyunca meydana gelmiş olan yaklaşık 4 km uzunluğundaki sağ yanal ötelenme (Şekil 4.3; İmren ve diğ., 2001; Le Pichon ve diğ., 2001), Anadolu'nun yılda ortalama 2 cm'lik günümüzdeki batıya kaçışı (McClusky ve diğ., 2000) ile beraber düşünüldüğünde, Marmara Fayı'nı oluşturan bu kırığın, günümüzden 200 000 yıl önce tüm bu sırt ve havzaları kesmeye başlamış olduğunun belirlenmesi (İmren ve diğ., 2001; Le Pichon ve diğ., 2001) yukarıdaki yorumun en önemli sayısal desteğini oluşturur.

Bugünkü tektonik yapı çek-ayır yapısı değildir. Ayrıca, Marmara Denizi'nin kuzeyindeki bu havzalarda önemli derecede faal normal faylanma delilleri bulunamamıştır. Daha önce belirtildiği gibi, kuzeydeki havzada yapılan bir mikrodeprem çalışması, fay düzlemi çözümlerinin ya doğrultu-atım ya da sıkışmalı olduğunu ve gerilme tensörünün yaklaşık D-B fay sisteminde net bir doğrultu-atım ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Ayrıca Örgülü ve Aktar (2001) ve Özalaybey ve diğ. (2002) tarafından 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nin art sarsıntıları üzerine yapılmış çalışmada, bu yamaç üzerindeki üçer adet büyük artçı depreminde sağ yanal doğrultu atım fay çözümü vermesi, Çınarcık Havzası kuzey yamacının günümüzde bir doğrultu atımlı fay tarafından kontrol ediliyor olduğunun en önemli verisini oluşturmaktadır. Tüm bu sismik deliller bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile uyumludur.

Türbiditik akıntıların kaynağı İstanbul'un yaklaşık 30 km batısında bulunmaktadır. Ne yazık ki, bu türbidit depolanmasının ne zaman başladığı bilinmemektedir. Bu havzaların ayrıntılı stratigrafisinin araştırılması, tektonik tarihinin anlaşılmasında bir ilerleme sağlamak için en acil görevlerden biridir.

Havzalar, başlangıçta türbiditik istifin depolanmasından önce, sınırlar boyunca normal faylarla biçimlenmiş olabilirler. Bununla beraber sırtlar, normal faylanmaya ait bir kanıt göstermemektedir ve aşağı doğru geniş bir bükülme tarafından yaratıldığı görünümündedir. Sonuç olarak, fayın derinliklerdeki yapısı hakkında bir delil mevcut değildir. Aslında havzaların derin yapıları hakkında da deliller yoktur. Ancak derin penetrasyonlu üç boyutlu sismik çalışmalardan gelebilecek bu tarz deliller, Marmara Denizi'nin oluşum biçiminin ve ilgili fayın ve onun zamansal evriminin anlaşılmasının sağlanması için gereklidir.

Kaynaklar

- Aksu, A. E., Calon, T. J., Hiscott, R. N. ve Yaşar, D., (2000). Anatomy of the North Anatolian Fault Zone in the Marmara Sea, Western Turkey: Extensional Basins Above a Continental Transform, *Gsa Today*, **June**, 3-7.
- Armijo, R., Meyer, B., Hubert, A. ve Barka, A., (1999). Westward Propagation of the North Anatolian Fault into the Northern Aegean: Timing and Kinematics, *Geology*, **27**, 267-270.
- Barka, A. A. ve Kadinsky-Cade, K., (1988). Strike-slip Fault Geometry in Turkey and its Influence on Earthquake Activity, *Tectonics*, **7**, 663-684.
- Çağatay, M. N., Görür, N., Algan, O., Eastoe, C., Tchapylyga, A., Ongan, D., Kuhn, T. ve Kuşçu, İ., (2000). Late Glacial-holocene Paleooceanography of the Sea of Marmara: Timing of Connections with the Mediterranean and the Black Seas, *Marine Geology*, **167**, 191-206.
- Demirbağ, E., (2000). Multi-channel seismic and Multi-beam Acoustic Surveys in the Marmara Sea for Exploration of Active Faults: A Review of the Methods and Results (abstract), in: NATO Advanced Research Seminar: Integration of Earth Sciences Research on the 1999 Turkish and Greek Earthquakes and Needs for Future Cooperative Research, N. Görür, ed., 62-63, TÜBİTAK, İstanbul.
- Ergün, M. ve Özel, E., (1995). Structural Relationship Between the Sea of Marmara Basin and the North Anatolian Fault, *Terra Nova*, **7**, 278-288.

- Gürbüz, C., Aktar, M., Eyidoğan, H., Cisternas, A., Haessler, H., Barka, A., Ergin, M., Türkelli, N., Polat, O., Üçer, S. B., Kuleli, S., Barış, S., Kaypak, B., Bekler, T., Zor, E., Biçmen, F. ve Yörük, A., (2000). The Seismotectonics of the Marmara Region (Turkey): Results from a Microseismic Experiment, *Tectonophysics*, **316**, 1-17.
- Halbach, P., Kuşçu, İ., Inthorn, M., Kuhn, T., Pekdeğer, A. ve Seifert, R., (2000). Methane in Sediments of the Deep Marmara Sea and its Relation to Local Tectonic Structures, *NATO Advanced Research Seminar*, May 14-17, 74-75, İstanbul.
- İlhan, E., (1971). Earthquakes in Turkey, *Proceedings, Petroleum Exploration Society of Libya*, 431-442, Tripoli.
- İmren, C., Le Pichon, X., Rangin, C., Demirbağ, E., Ecevitoglu, B. ve Görür, N., (2001). The North Anatolian Fault within the Sea of Marmara: a new evaluation based on multichannel seismic and multibeam data, *Earth and Planetary Science Letters*, **186/2**, 143-158.
- Ketin, İ., (1968). Relations Between General Tectonic Features and the Main Earthquake Regions in Turkey, *MTA Bulletin*, **71**, 63-67.
- Le Pichon, X., Taymaz, T. ve Şengör, A. M. C., (1999). The Marmara Fault and the Future İstanbul Earthquake, *İTÜ-IAHS International Conference on the Kocaeli Earthquake*, İTÜ, 2-5 Aralık, 41-54, İstanbul.
- Le Pichon, X., Taymaz, T. ve Şengör, A. M. C., (2000). Important Problems to be Solved in the Sea of Marmara, *NATO Advanced Research Seminar*, May 14-17, 66-67, İstanbul.
- Le Pichon, X., Şengör, A. M. C., Demirbağ, E., Rangin, C., İmren, C., Armijo, R., Görür, N., Çağatay, N., Mercier de Lepinay, B., Meyer, B., Saatçılar, R. ve Tok, B., (2001). The Active Main Marmara Fault, *Earth and Planetary Science Letters*, **192**, 595-616.
- Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Rangin, C. ve Şengör, A. M. C., (2003). The North Anatolian Fault in the Sea of Marmara, *Journal of Geophysical Research*, **108/B4**, 2179, doi:10.1029/2002JB001862.
- Okay, A. I., Demirbağ, E., Kurt, H., Okay, N. ve Kuşçu, İ., (1999). An Active, Deep Marine Strike-slip Basin Along the North Anatolian Fault in Turkey, *Tectonics*, **18/1**, 129-147.
- Okay, A. I., Kaşlılar-Özcan, A., İmren, C., Boztepe-Güney A., Demirbağ, E. ve Kuşçu, İ., (2000). Active Faults and Evolving Strike-slip Basins in the Marmara Sea, Northwest Turkey: A multi-channel seismic reflection study, *Tectonophysics*, **321**, 189-218.

- Örgülü, G. ve Aktar, M., (2001). Regional Moment Tensor Inversion for Strong Aftershocks of the August 17, 1999 İzmit Earthquake (Mw=7.4), *Geophysical Research Letters*, **28/2**, 371-374.
- Parke, J. R., Minshull, T. A., Anderson, G., White, R. S., McKenzie, D., Kuşçu, İ., Bull, J. M., Görür, N. ve Şengör, A. M. C., (1999). Active Faults in the Sea of Marmara, Western Turkey, Imaged by Seismic Reflection Profiles, *Terra Nova*, **11**, 223-227.
- Pınar, N., (1943). Marmara Denizi Havzası'nın Sismik, Jeoloji ve Meteorolojisi, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Rangin, C., Demirbağ, E., İmren, C., Crusson, A., Normand, A., Le Drezen, E. ve Le Bot, A., (2001). Marine Atlas of the Sea of Marmara (Turkey), 11 Plates and 1 booklet, Special publication by Ifremer Brest Technology Center, France, ISBN: 2-84433-068-1.
- Şengör, A. M. C., (1979). The North Anatolian Transform Fault: Its Age, Offset and Tectonic Significance, *Journal of the Geological Society of London*, **136**, 269-282.
- Şengör, A. M. C., Görür, N. ve Şaroğlu, F., (1985). Strike-slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as a Case Study, in *Strike-slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation*, **37**, 227-264, Eds. Biddle, K.T. and Christie-Blick, N., Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication.
- Wong, H. K., Lüdman, T., Uluğ, A. ve Görür, N., (1995). The Sea of Marmara: A Plate Boundary Sea in an Escape Tectonic Regime, *Tectonophysics*, **244**, 231-250.