

İZMİT KÖRFEZİ VE ADALAR BÖLGESİ AKTİF FAYLARI; 1894 DEPREMİ

Active Faults in İzmit Bay and Adalar Region; 1894 Earthquake

Şahin AKKARGAN* ve Bedri ALPAR**

ÖZET

17 Ağustos 1999 depremi Marmara Denizi aktif faylarının daha detaylı bilinmesinin önemini bir kez daha vurgulamıştır. Depremle oluşan yüzey kırığı karasal alanda açıkça gözlenirken, deniz içindeki uzanımını saptamak için İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü tarafından Doğu Marmara ve İzmit Körfezi'nde yüksek çözünürlüklü sığ sismik araştırmalar yapılmıştır. Deniz tabanı altında yaklaşık 150 metrelik kesimdeki yapı, düşey 1.1 ve yanal 4.1 metrelik çözümleme ile görüntülenmiştir. 17 Ağustos depreminde kırılan fayın deniz içindeki devamı haritalanmış, Adalar bölgesinde Büyükkada ile Tuzla Burnu arasında saptanan doğrultu bileşenli fayın tarihi 1894 İstanbul depremiyle olan ilişkisi araştırılmıştır.

ABSTRACT

The importance of active faults in the Marmara Sea has been emphasised once again by the 17 August 1999 Earthquake. Fault ruptures on land and their characteristics have been studied in detail. In order to determine the seabed extension of the fault rupture, high-resolution shallow seismic surveys have been arranged in İzmit Bay and northeastern part of the Marmara Sea by the Institute of Marine Sciences and Management, Istanbul University. On the basis of recording parameters, vertical and lateral resolutions were approximately 1.1 m and 4.1 m, respectively. Seismic events up to about 150 m below the seabed have been monitored. The tectonic setting of İzmit Bay and the activated faults during the 17 August Earthquake have been discussed. In addition, the fault cutting through the actual sediments between the Adalar Region and Tuzla Peninsula on the Istanbul shelf is thought to be related with the historical İstanbul Earthquake (1894).

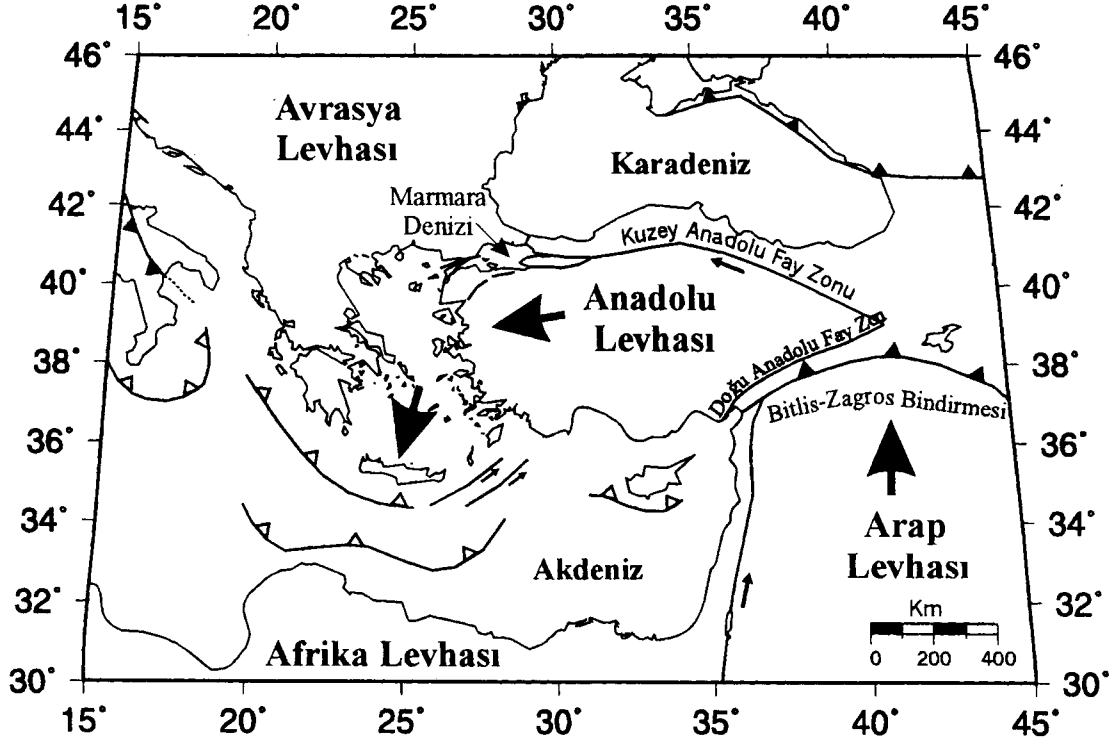
GİRİŞ

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), batıya kaçan Anadolu Levhasının kuzey sınırını oluşturan bir fay sistemidir. KAFZ, Arap Levhasının kuzeye hareketinin Doğu Anadolu'da yarattığı sıkışma rejimi ile Batı Anadolu açıl-

ma rejimi arasında 1500 km boyunca uzanır (Şekil 1). Mudurnu vadisinde üçe ayrılan kollar Marmara Bölgesi'nin tektoniğini kontrol etmektedir (Crampin ve Evans, 1986, Barka 1992). Son büyük 1999 depremleri, üzerinde endüstri ve şehirleşmenin yoğunlaştığı bu kollar üzerine olan bilimsel ilgiyi artırmıştır.

* İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul.

** İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, 34470 Vefa, İstanbul.



Şekil 1. Anadolu bölgesinin aktif tektonik haritası. Boş üçgenler aktif dalma-batma, dolu üçgenler ise çarpışma kuşaklarını temsil etmektedir. Oklar levha hareket yönlerini göstermektedir (McKenzie 1972 den değiştirilmiştir).

Figure 1. Active tectonic map of Anatolian region. Lines with open triangles show active subduction zones, and lines with solid triangles show active thrust faults at continental collision zones. The solid arrows indicate the sense of motion of the lithospheric plates (modified from McKenzie 1972).

KAFZ karasal ortamda oldukça iyi tanımlanabilen bir sağ yanal doğrultu atımlı fay sistemi olmasına rağmen, Marmara Denizi içerisindeki bilinmezliğini kısmen korumaktadır. KAFZ'nun Marmara Denizi içindeki devamı hakkında XX. yüzyılın başlarına kadar uzanan farklı görüş ve modeller vardır ve son yıllarda artan jeofizik veriler sayesinde yeni önemli görüşler üretilmektedir.

Sieberg (1932), Saros çukurluğunu Ganos Fayı üzerinden geçirek Marmara çukuruna bağlamış, Saros-Marmara ve İzmit Körfezleri büyük bir graben sisteminin parçaları olarak değerlendirilmiştir. Daha sonra "İzmit tarafında karada tek bir fay ve Saros tarafında da 1912'de kırılan Ganos Fayı olduğuna göre bu faylar Marmara Denizi içinde de tek bir kol halinde birleşmektedir" görüşü ile Pınar (1943) Marmara çukurlarının ortasından geçen tek fay modelini ileri sürmüştür. Aynı yıllarda Pfannenstiel (1944), Andrussov (1890)'un de-

rinlik haritasını baz alarak, Marmara Denizi'ni, Ege'nin devamı olan bir graben şeklinde değerlendirmiştir. Bu görüşlerin ardından Kopp ve diğ. (1969) Marmara'yı başta aşağı kat eden tek bir fayla ifade etmişlerdir. Saros Körfezi'nin, Ganos Fayı'nın neotektonik dönemde yön değiştirmesi sonucu oluşan bir graben olarak değerlendirmesiyle (Şengör ve diğ. 1985) bazı görüşler değişmiş ve aynı yıllarda Crampin ve Evans (1986) Marmara Denizi içinde doğu-batı uzanımlı graben modeli çizmişlerdir.

İki sırt ile birbirinden ayrılan üç derin Marmara çukurunu oluşturan doğrultu atımlı sistem içindeki çekayır havza sistemi, ilk kez 1980'li yılların sonunda ortaya atılmıştır (Barka ve Kadinsky-Cade 1988). Çukurların, KD-GB yönlü doğrultu atımlı faylar tarafından kontrol edilen normal fay mekanizmalarıyla oluştuğu önerilmiştir. Genel anlamda batimetrik verilere dayanan bu yorum uzun yıllar yaygın olarak kabul edilmiştir.

Daha sonra sığ sismik verilere göre, Marmara Denizi'nde sıkışan sırtlar ve gerilen alanlar denetiminde yeni bir model geliştirilmiştir (Ergün ve Özel 1995, Wong ve diğ. 1995). KD-GB yönlü sırtlara paralel yanal-atımlı faylar ve Marmara çukurlarının kuzey ve güney kenarlarına paralel normal faylardan oluşan bu yeni çek-ayır modeli, daha önce Barka ve Kadinsky-Cade (1988) tarafından öne sürülen modele oldukça yakındır.

Bu çalışmaların ardından 17 Ağustos 1999 depremine kadar Ulusal Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Programı kapsamında MTA tarafından planlı çalışmaların yürütüldüğü Marmara'da, aynı verilerden farklı yaklaşımlar elde edilmiştir. Okay ve diğ. (1999) çukurların kuzey ve güneyini sınırlayan iki fay fikrini ortaya atmıştır. Yazarlara göre Wong ve diğ. (1995) modeli Marmara Bölgesinde GPS ölçümleri ile saptanan hareket yönü ile çelişkilidir. GPS hareket vektörü (Straub ve diğ. 1997) Marmara Denizi'ndeki kuzey ve güney sınır faylarında yanal ve az miktarda normal atım, sırtlara paralel var olduğu ileri sürülen faylarda ise yanal ve ters atım yaratmalıdır. Marmara sırtlarına paralel ve ona dik KKB yönünde uzanan ve GPS hareket vektörleri ile oblik açı yapan bu yanal-atımlı fayların nasıl oluştuğu konusuna Wong ve diğ. (1995) herhangi bir açıklık getirmemektedir.

Okay ve diğ. (1999) ile aynı verileri değerlendiren Parke ve diğ. (1999) bu fayların aktif olanlarını haritalamış ve en-echelon faylardan oluşan parçalı bir model elde etmiştir. Depremden sonra yine aynı verilerle yola çıkan Le Pichon ve diğ. (1999a,b) Marmara'yı baştan başa kat eden tek bir fay olduğunu öne sürmüşlerdir.

Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından deprem sonrası hazırlanan Marmara fay haritasına (Siyako ve diğ. 2000) göre diğer modellerden farklı olarak çok sayıda fay yer almıştır. Ancak bu haritadaki fayların bir çoğu aktif olmayıp, Miyosen öncesi dönemi yansıtmaktadır. Bu haritadaki ana faylar birbirine paralel fay gruplarından oluşmaktadır.

17 Ağustos 1999 depreminin ardından elde edilen yeni verilerin ve karşı tezlerin etkisiyle bazı modellerde değişiklikler yapılmıştır. Örneğin, Le Pichon ve diğ. (1999) tek fay önerisinin ardından, denizel alanda saptadığı fayların dışında kalan Ganos fayı ve Kuzey Anadolu Fayı kinematikliğini farklı yorumlayan Okay ve diğ. (2000a,b) modellerini değiştirmiş, doğuda çukurun kuzeyinden, ortada ortasından ve batıda güneyinden geçen tek fay çizmişlerdir. Yine, Barka ve diğ. (1999) Marmara orta sırtlarının kinematikliğini ilgili makalelerinde çek-ayır modelini sınırlı elemanlar modeli ile deneyerek de-

ğiştirmiştir. Böylece daha önce ortaya koyduğu (Barka ve Kadinsky-Cade 1988) modeldeki doğrultu atımlı fayların doğrultusu da değişmiştir.

Fayları kinematik özelliklerine göre birbirine bağlı olarak gösterilen modeller de vardır (Yaltırak 2000, Alpar ve Yaltırak 2000b). Bu modellerde Marmara Denizi içinde birbirine bağlı en-echelon fayları kat ederek geçen tek bir fay gözükmemektedir. KAFZ kuzey kolunun deniz içindeki uzantısı olan bu fay, Trakya-Eskişehir fayı ile etkileşmekte ve Marmara Denizi çukurlarını oluşturmaktadır.

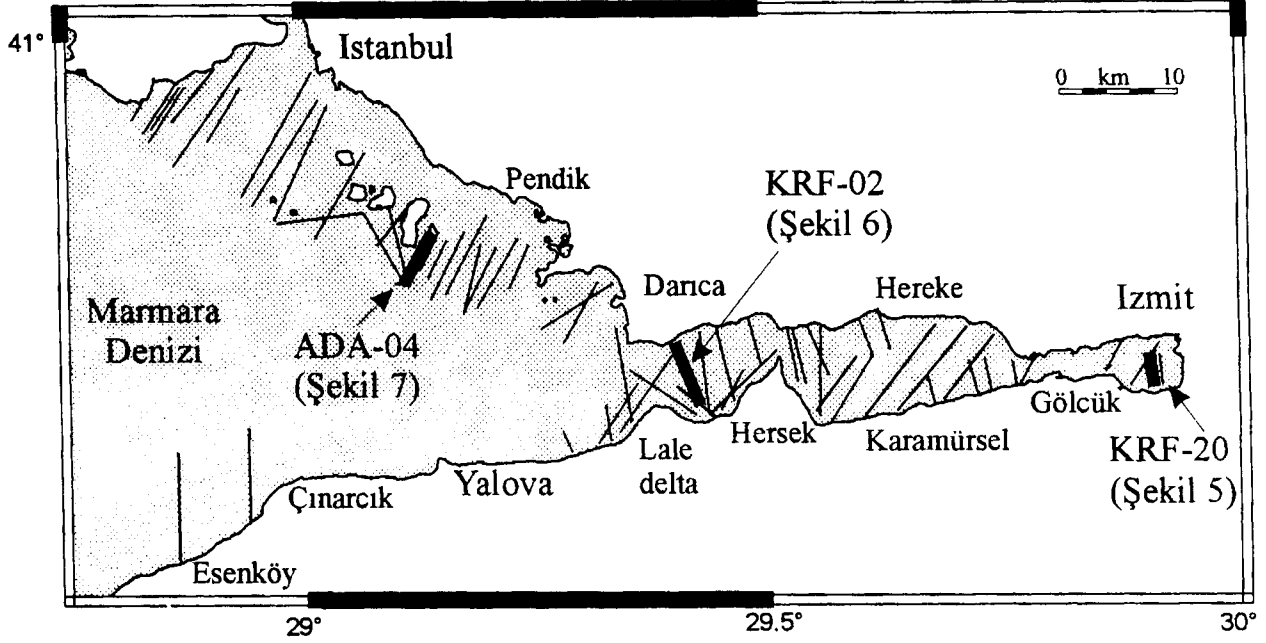
KAFZ kuzey kolunun Marmara Denizine kavuşum yeri olan İzmit Körfezi ve Doğu Marmara bölgesinin sığ sismik özelliklerinin bilinmesi, yerel tektonik özelliklerin belirlenmesi yanında, bölgenin depremsellik çalışmalarına ve Marmara Denizi hakkında ileri sürülen modellere de ışık tutacaktır. Bu amaçla İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü 17 Ağustos 1999 depreminden sonra Doğu Marmara'da yüksek çözünürlüklü sıfır-açılımlı sığ sismik çalışmalar yapmıştır.

VERİ VE YÖNTEM

İzmit Körfezi, Armutlu Yarımadası kuzeyi ve İstanbul güney şelfinde R/V Arar araştırma gemisi ile toplam 69 adet tek kanallı sayısal sismik hat ölçülmüştür (Şekil 2). Enerji kaynağı olarak 1.25 kJ sparker ve alıcı olarak ise 11 elemanlı su yüzeyinden çekilen hidrofon kullanılmıştır. Örneklem aralığı 0.25 ms ve gidiş-geliş kayıt pencere süresi 250 ms seçilmiştir. Geminin yüksek manevra kabiliyeti 7 metre derinliğe kadar olan sığ sularda veri toplanarak, kıyıya yakın aktif kırıklarının belirlenmesine olanak vermiştir. Kullanılan kaynak dalgaçığı parametrelerine ve gemi hızına bağlı olarak, düşey ve yanal çözünürlükler sırasıyla 1.0 ve 4.1 metredir. Bu yüksek çözünürlük ile deniz tabanı altında 150 metre derinliğe kadar olan çökel ve tektonik unsurlar detaylı olarak incelenebilmiştir.

İZMİT KÖRFEZİ

Marmara Denizi'nin doğusunda doğu-batı yönlü uzanan denizel bir çukurluktur. KAFZ kuzey kolu, bölgenin sismik aktivitesini artırmakta ve tektonik hareketlerin kaynağını teşkil etmektedir. Gelecekteki depremlerin mekanizması, uzunluğu, büyüklüğü, tahmini oluş zamanı ve gerilim aktarımı gibi deprem oluşum parametrelerinin saptanması hususunda İzmit Körfezi konumunun



Şekil 2. R/V Arar ile 17 Ağustos 1999 depreminden sonra kaydedilen sismik hatlar. Bu çalışmada sunulan kesitlerin konum ve şekil numaraları oklarla gösterilmiştir.

Figure 2. Seismic lines acquired by R/V Arar after 17 August 1999 earthquake. Arrows indicate position and figure numbers of the seismic lines presented in this paper.

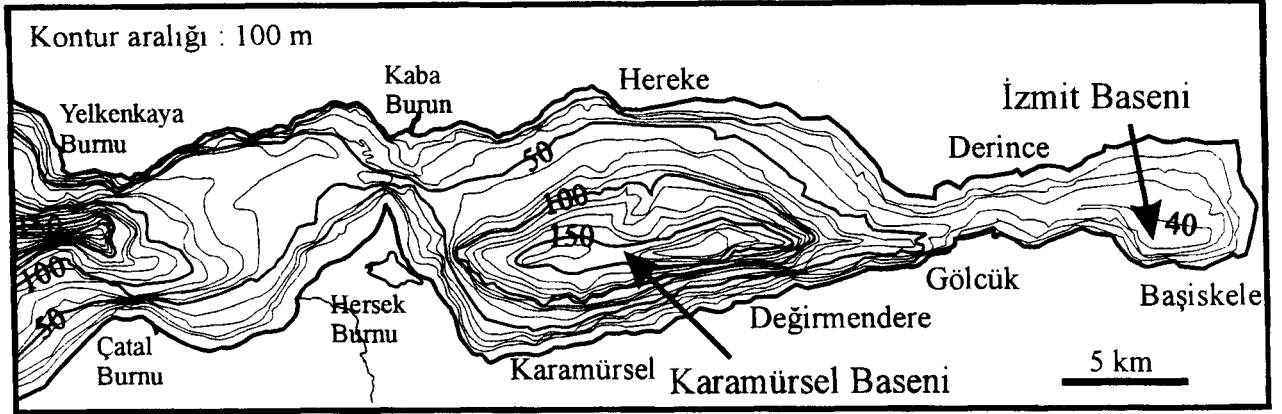
önemli yeri vardır. Bu nedenle, bölge, sismik aktivitesi, tektonik özellikleri, coğrafyası ve jeolojik istif özellikleri gibi pek çok konuda araştırılmıştır. İzmit Körfezi aktif tektoniğine yönelik olarak Barka ve Kadinsky-Cade (1988) çek-ayır havza sistemi önerirken, Akgün ve Ergün (1995) ve Koral ve Öncel (1995) İzmit Körfezi ve basenlerinin en-echelon doğrultu atımlı faylardan oluştuğunu savunmuştur.

İzmit Körfezi batimetrik bakımdan üç bölgeye ayrılır (Şekil 3). Birinci bölge körfezi Marmara Denizi'ne bağlayan Yelkenkaya - Çatal Burnu ve Kaba Burun - Hersek Burnu arasındaki alandır. Bu bölgede körfezin ortasındaki ortalama su derinliği 200 metredir ve Hersek Burnu önlerinde 60 metreye kadar sığlaşır. İkinci bölge (Karamürsel baseni), Hersek Burnu'ndan Gölçük'e kadar uzanan en geniş alandır. Derinlik batıda 60, doğuda 32 metre iken, ortada 204 metreye ulaşmaktadır. Sonuncu ve en sığ bölge ise, Gölçük-Derince arasındaki daralma alanı ile Başiskele arasındaki İzmit basenidir.

Jeolojik ve jeofizik verilere göre, körfezin kuzey ve güney kesimleri farklı yapısal özellikler göstermektedir. Stratigrafik yönden, kuzey kesimde temel Paleozoyik (Silüryen ve Devoniyen) kırıntılı kayalarından oluşmakta ve üzerine Triyas ve Üst Kretase kırıntılı karbonat

çökelleri açılal uyumsuz gelmektedir (Bargu ve Yüksel 1993). Güney kesimde ise temelde yer alan Devoniyen yaşlı Medirgöz ve Dereköy metamorfileri, en yaşlı çökel birim olan Üst Kretase yaşlı Kokarca formasyonu ile örtülmüştür. İki yaka arasındaki bu farklı görünüm İzmit Körfezi'nin oluşum ve gelişiminde aktif tektoniğin en etkin unsur olduğunu açıkça göstermektedir.

Doğrultu atımlı fayların düşey bileşeni basenlerin çevresinde baskındır. İzmit Körfezi'ne akan akarsular Gölçük, Hersek, Kavaklı deltalarını ve ayrıca Sapanca ve İzmit Körfezi arasındaki alüvyonal düz alanı oluşturmuşlardır. Deniz tabanı ve altında deltaik oluşuklar, kama ve merceksi yapılar mevcuttur (Bargu ve Yüksel 1993, Alpar ve Güneysu 1999, Alpar 1999). Bu tip yüzeye yakın mikro yapılar, depremler tarafından üretilen sismik dalgalar neticesinde meydana gelen "basen tepkisi" (basin response) ile uğraşan araştırmacılar için oldukça önemlidir. Bu tip mikro yapılardan geçen sismik dalgaların kayıtçılar üzerinde bıraktığı yalancı etkiler, yapılan ters çözümlerde dalgacık tipinin uyumu için yeni şoklar eklenmesine neden olmakta ve bazen tek şoklu bir depremi, 1994 Northridge depreminde olduğu gibi, çok şoklu (multi shock) deprem imiş gibi çözümlenmesine neden olmaktadır (Grave 1995).



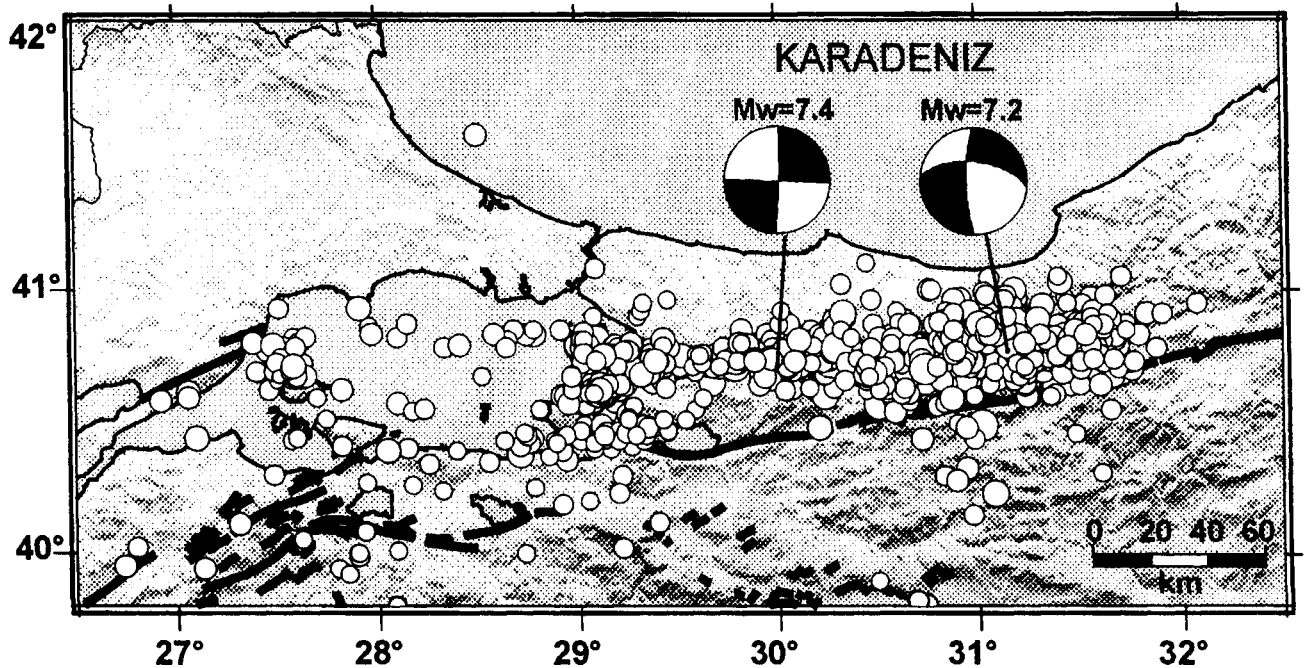
Şekil 3. İzmit Körfezi derinlik haritası (Güneysu 1999'dan değiştirilerek alınmıştır).

Figure 3. Bathymetrical map of İzmit Bay (modified from Güneysu 1999).

1999 KOCAELİ DEPREMİ YÜZEY KIRIĞI VE İZMİT KÖRFEZİ'NDEKİ DEVAMI

Türkiye'nin en önemli endüstri şehrinde meydana gelen afet niteliğindeki deprem, etki alanı bakımından bu yüzyılda meydana gelmiş en büyük depremlerden birisidir. Bulunan odak mekanizması (Şekil 4) sağ yönlü doğrultu atımlı faylanma göstermektedir, ortalama odak

derinliği 12 km ve en büyük enerji boşalımının olduğu derinlik 6 km dir (Özer ve Irmak 2000). 17 Ağustos depreminin enerji aktarımı ile 3 ay sonra tetiklenen (Hubert-Ferrari ve diğ. 2000, Parsons ve diğ. 2000) 12 Kasım 1999 Düzce depremi de aynı kuşak üzerindedir. Bu dönemde bölgede binlerce artış çok kaydedilmiştir (Pinar ve diğ. 2000, Özel ve diğ. 2000).

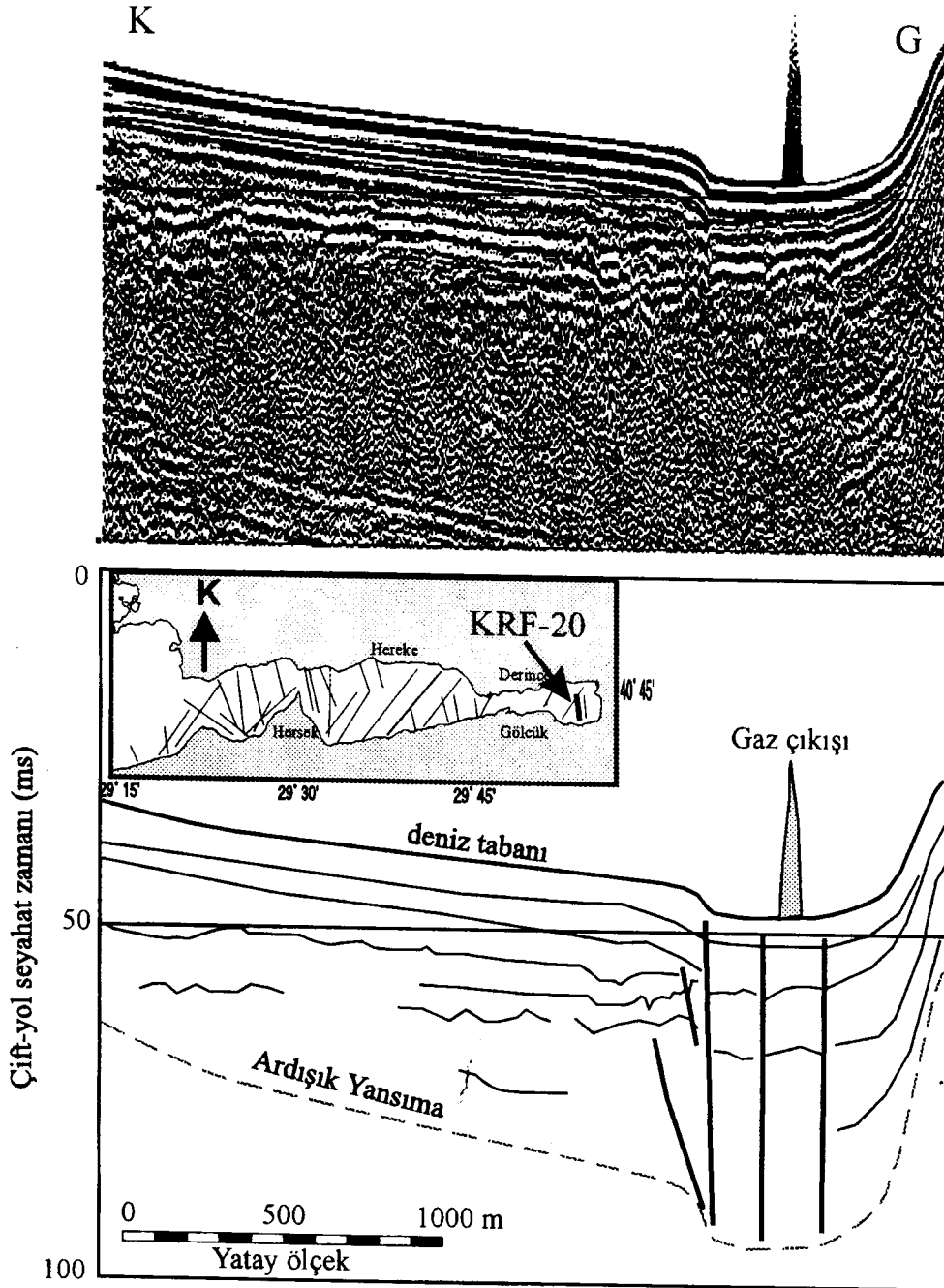


Şekil 4. 17 Ağustos 1999 Kocaeli ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri sonrasında bölgenin sismik aktivitesi ve fay düzlemi çözümleri (KOERI web sitesi; Özer ve Irmak 2000).

Figure 4. Fault plane solutions and seismic activity of 17 August 1999 Kocaeli and 12 November 1999 Düzce earthquakes (KOERI web site; Özer and Irmak 2000).

17 Ağustos 1999 depremi yüzeyde sağ-yanal atımlar meydana getirmiştir. Gölyaka ve Başiskele arasında kolayca gözlenen bu atımlar Gölcük'te 4.5 metre iken ve batıya doğru azalarak devam etmektedir (Emre ve diğ.

2000). Başiskele'den denize giren kırık post-transgresyonel Holosen çökellerini kesmiş, zaman zaman çökeltilerin içindeki metan gazı su ortamına geçerek yükselen bacaların oluşmasına neden olmuştur (Şekil 5).

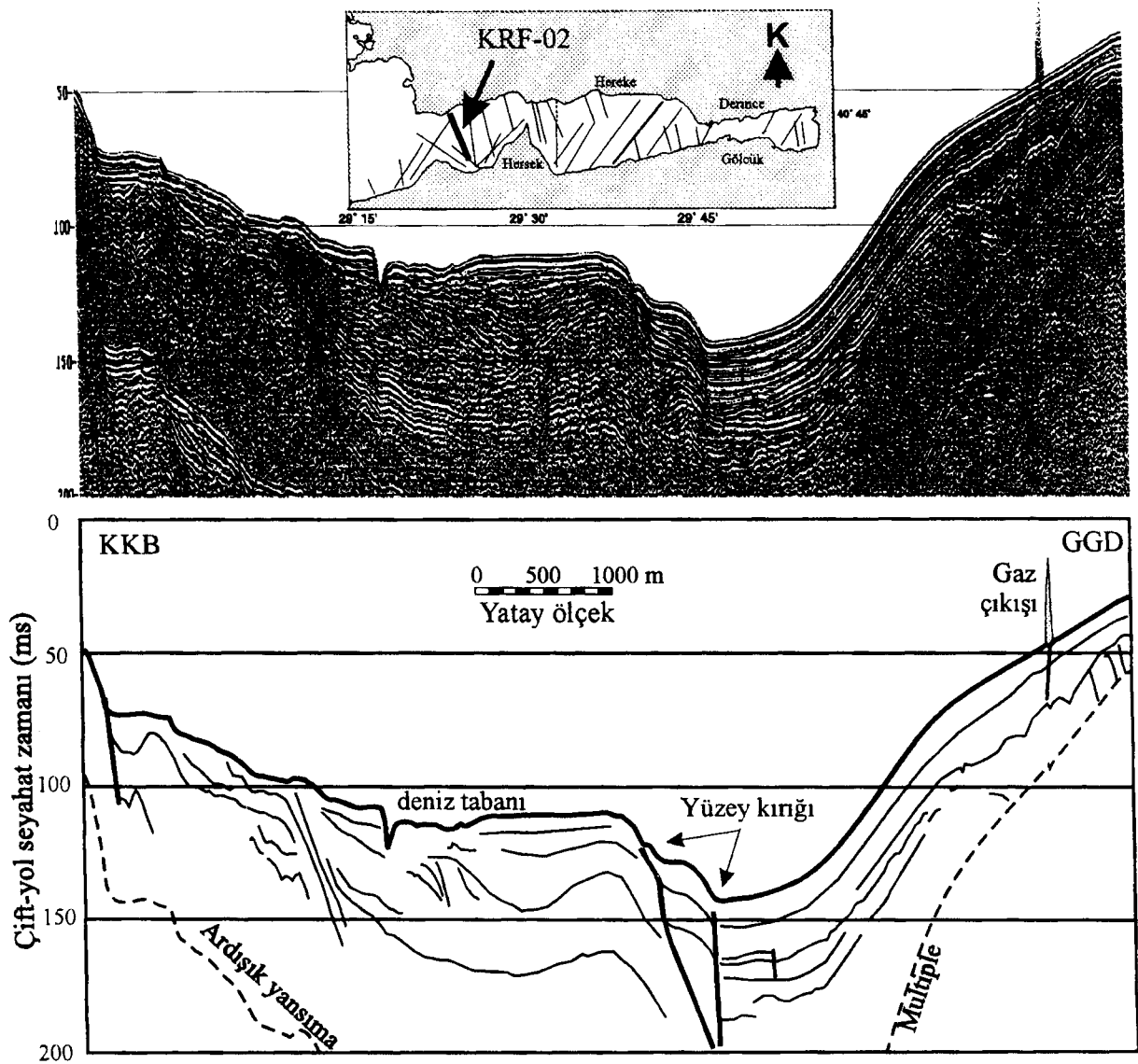


Şekil 5. Doğrultu atımlı faylanmanın deniz ortamında bıraktığı ilk izler. Gaz çıkışları yer yer su düzeyinde de gözlenmiştir.

Figure 5. Fingerprints of the Sapanca-Gölcük rupture in marine realm. Gas bubbles were also observed occasionally on the sea surface.

Sismik verilerin yorumundan, deprem nedeniyle oluşan yüzey kırığının Hersek Burnu'nu geçerek batıya devam ettiği düşünülmektedir (Şekil 6). Karasal çalışmalarda Hersek Burnu üzerinde yeni herhangi bir kırık gözlenmemiş olduğundan dolayı tartışmaya konu olan bu soru sismik verilerle cevaplandırılmıştır. 17 Ağustos kırığı, gevşek deltaik malzemelerden oluşan (Alpar ve Güneysu 1999, Alpar ve diğ. 2000) Hersek Burnu'nun altından geçerek batıya atımları azalarak uzanmıştır. Artçı şokların dağılımı da, bu görüşü destekler nitelikte-

dir (Şekil 4). Uydu destekli GPS verileri incelendiğinde, yer değiştirmelerin Hersek Burnu'nu aşmakta olduğunu ve bu noktadan hemen sonra hızla azalmakta olduğu saptanmıştır (Kalafat 1999, Özel ve diğ. 2000, Pınar ve diğ. 2000, Kalafat 2000, Ergintav ve diğ. 2000). Armutlu Yarımadası kıyı şeridinde yakın bazı ikincil fayların (dekolman) da gömülü ana kırık olan KAFZ kuzey koluna bağlı olarak geliştiği düşünülmektedir. Aynı durum üzerinde Prens Adalarını barındıran kuzey şelfi için de söz konusudur.



Şekil 6. Hersek Burnu'nun batısı. Aktif faylar rahatlıkla seçilebilmektedir. Gaz çıkışının olduğu yerde büyük bir yarıma gözlenmektedir.

Figure 6. Seismic section to the west of Hersek Headland. Active faults are clear. A large crack was observed on the sea floor where gas discharges.

1894 DEPREMİ VE İSTANBUL ŞELFİ SİSMİK VERİLERİNİN YORUMU

XIX. yüzyılda İstanbul ve çevresini etkileyen 1894 depremi kaynaklarda “**Büyük hareket-i arz**”, “**Zelzele-i azime**” ve “**Zelzele-i muthişe**” olarak geçer. Sultan II. Abdülhamit tarafından araştırmalar yapmak üzere davet edilen Atina Rasathanesi Müdürü Eginitis’in raporundaki 5 bölgeye ayrılan eşşiddet haritasına göre Prens Adaları civarı depremin merkezine oldukça yakındır (Eginitis 1894). En fazla hasarı gören elips şekilli birinci bölgenin büyük eksenini İzmit Körfezi boyunca Çatalca’dan Adapazarı’na kadar 175 km boyundadır. Küçük eksen ise Katırlı (Esenköy-Armutlu Yarımadası) ve Maltepe (İstanbul) arasında uzanmaktadır.

İstanbul’da önemli hasarlar olmuş, Çanakkale üzerinden Batı ile olan denizaltı telgraf hattı kesilmiştir. İzmir ve Selanik ile haberleşme Odesa hattı üzerinden yapılmıştır. Telgraf kablo şirketinin İstanbul vekili Hekimyan Efendi, depremin ertesi günü incelemelerde bulunmak üzere Kartal’a gitmiş ve onarım çalışmalarında bizzat bulunmuştur. Denizaltı telgraf kablosunun, Kartal’dan üç mil uzakta bir kaç yerden kesildiği tespit edilmiştir. Bir kaç gün sonra kablo çıkarılıp incelendiğinde, bıçakla kesilmiş gibi düzgün bir şekilde kırılmış olduğu anlaşılmıştır (Ürekli 1999).

Yakın zamana ait bu bilgilerin özellikle hassas batimetri ve modern yüksek ayrımlı sığ sismik yöntemlerle test edilmesi gerekir ve bu nedenle bölgede detaylı sismik çalışma yapılmıştır (Şekil 2). Raporda belirtilen Kartal’ın üç mil açığındaki nokta, ADA-04 sismik kesiti üzerindedir. Düşey çözünürlük 110 cm olduğuna göre, bu kesitte tepe noktası deniz tabanına çok yakın olan doğrultu atımlı bir fayın izi açıkça izlenmektedir (Şekil 7). Bu kırığın çok yakın zamandaki bir depremde çalışmış olması olasılığı yüksektir. Kırık izinin tam deniz tabanına kadar uzanmaması yüzey çökellerinin yumuşak çamurdan oluşmasına bağlanabilir. Bu kırığın varlığını destekleyen bir diğer bulgu, Eginitis’in raporunda sözü geçen ve Heybeliada Ruhban Okulu ile Ticaret Mektebi arasında yer alan KB-GD doğrultusunda 200 metre uzunluğundaki yüzey kırığıdır. Yine Kınalıada sahili civarında KD-GB yönünde olduğu bildirilen küçük yarılmalar ve bu yarılmaların etrafındaki çökmeler denizde belirlediğimiz bu kırığa bağlı gelişmiş olabilir (Gündoğdu 1991).

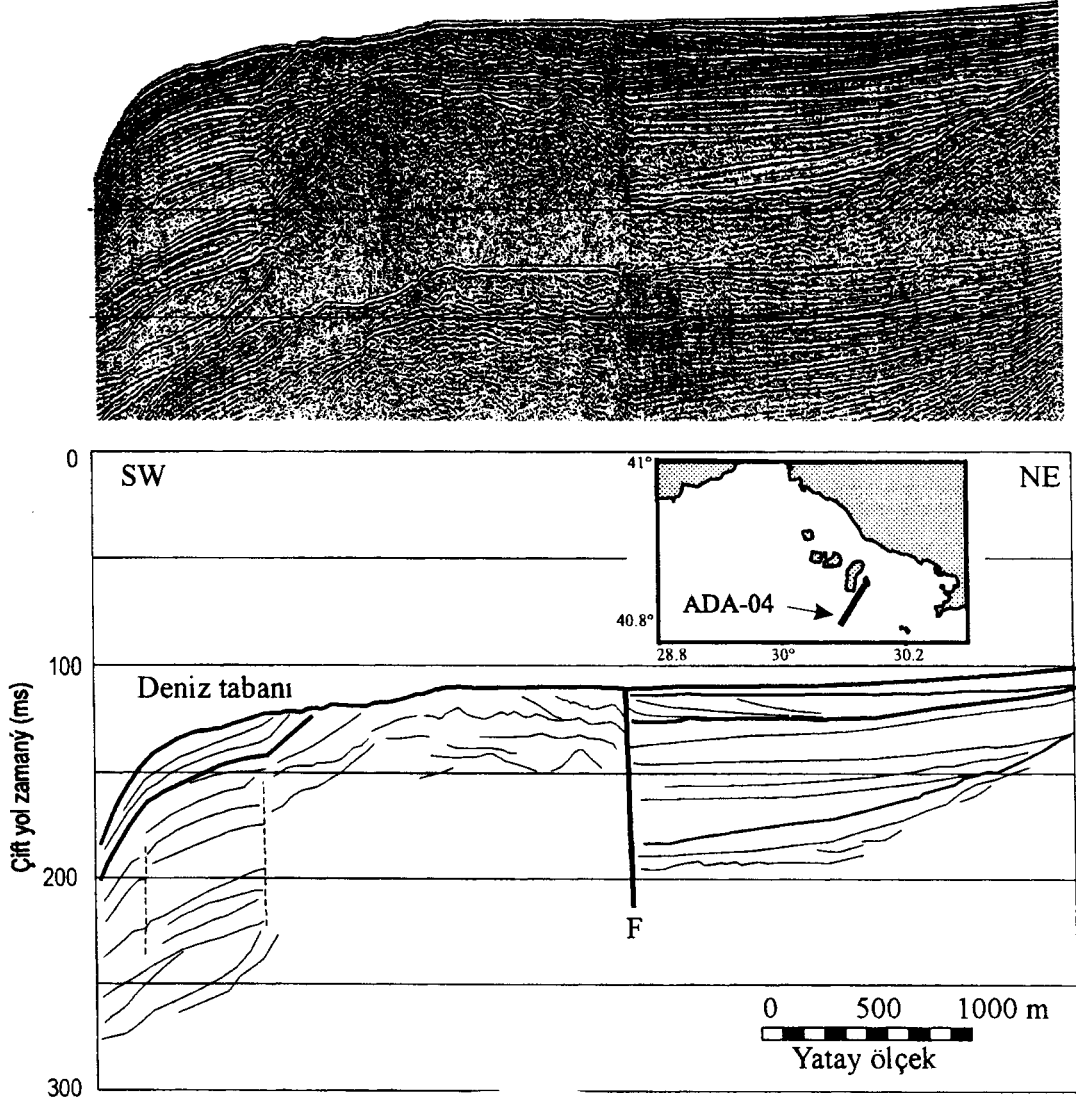
Sonuç olarak, sismik kayıtlarda gözlenen bu kırığın 1894 depremine bağlı olma olasılığı yüksektir. Ancak bu kırığın o depreme sebep olan ana fay mı, yoksa ana fay

tarafından oluşturulmuş ikincil bir fay mı olduğu tartışmaya açıktır. Bu sorunun cevabı büyük olasılıkla derinliği 1250 m olan Çınarcık Çukurunda yapılacak detaylı jeofizik araştırmalar neticesinde ortaya çıkacak morfolojik, jeolojik ve tektonik unsurlarda yatmaktadır.

Çınarcık Çukurunun en çarpıcı batimetrik özellikleri, self kenarından sonra taban eğiminin hızlı bir şekilde artmasıyla başlayan dik (ortalama 17°) kıta yamaçlarıdır. En yüksek eğimler ise yamaçların etek taraflarındadır ve kuzey yamaçta 45° kadar olabilmektedir (Alpar ve Yaltırak, 2000a). Oldukça dik olan kuzey yamaç üzerinde denizaltı heyelanları vardır. Çınarcık Çukuru tabanı hafif ondülasyonlar gösteren bir düzlükten oluşmaktadır. Yumuşak plastik yapıdaki çamurlu derin deniz çökelleri hakimdir. Çınarcık Çukurluğunun altından geçen KAFZ kuzey kolunun deniz tabanına yakın olan etkileri, bu yumuşak plastik yapıdaki çamurlu derin deniz çökelleri içinde gözlenebilmektedir (Alpar ve Yaltırak 2000a). KAFZ kuzey kolu Çınarcık Çukurunun güney kenarını takip etmekte ve kuzey doğru hafif bir büküm yaparak orta Marmara sırtının üzerinden batıya uzanmaktadır (Alpar ve Yaltırak 2000b). KAFZ kuzey kolu çalıştığında, ana faya bağlı bu ikincil faylar (Yaltırak 2000) da harekete geçmekte ve her iki kıta yamacı üzerinde de denizaltı heyelanları oluşmaktadır. Bir görüşe göre ana faya bağlı bu ikincil faylardan kuzeyde kalanı, yani Adalar önü kırığı, Trakya-Eskişehir fayının (Yaltırak ve diğ. 2000) Marmara Denizi içinde kalmış ve aktivitesini önemli ölçüde yitirmiş uzantısıdır (Yaltırak ve Alpar 2000). Bu görüşlerin yapılacak olan daha detaylı jeofizik araştırmaların ışığında geliştirilmesi neticesinde, ADA-04 sismik kesitinde (Şekil 7) gözlenen bu kırığın mekanizmasına yeterli açıklık getirilebilecektir.

SONUÇLAR

17 Ağustos 1999 depreminin ardından İzmit Körfezinde yaptığımız çalışmaların sonuçlarına göre deprem esnasında yenilen ana fay İzmit Körfezi’nin içinde tek bir faydır (Şekil 8). Bu görüş genel görüntü bakımından, Barka ve Kadinsky-Cade’nin (1988) *en-echelon* fay modeline ters, ancak deprem sonrasında MTA tarafından İzmit Körfezi’nde toplanan sismik verilere göre çizilen Şengör ve diğ. (1999) modeline bazı farklar dışında benzerdir. Fay, İzmit Körfezi’nin doğusunda Başiskele mevkiinde denize girmekte, doğu Hersek çukurunu gevşeyen büküm olarak açmaktadır (Alpar 1999, Alpar ve diğ. 1999). 17 Ağustos depremi esnasında çalışan ana fay Hersek Burnu’nun altından geçerek, üzerinde yüzey



Şekil 7. Sedef Adası ile Tuzla Burnu arasındaki sismik kesit. Doğru atımlı fay karakteri kolayca görülmektedir. Sağdaki fayın 1894 depreminde çalışmış olabileceğini düşünülmektedir.

Figure 7. Seismic line between Sedef Island and Tuzla Headland. Strike-slip faulting pattern can be clearly seen on the seismic section. Fault F might be activated during 1894 İstanbul earthquake.

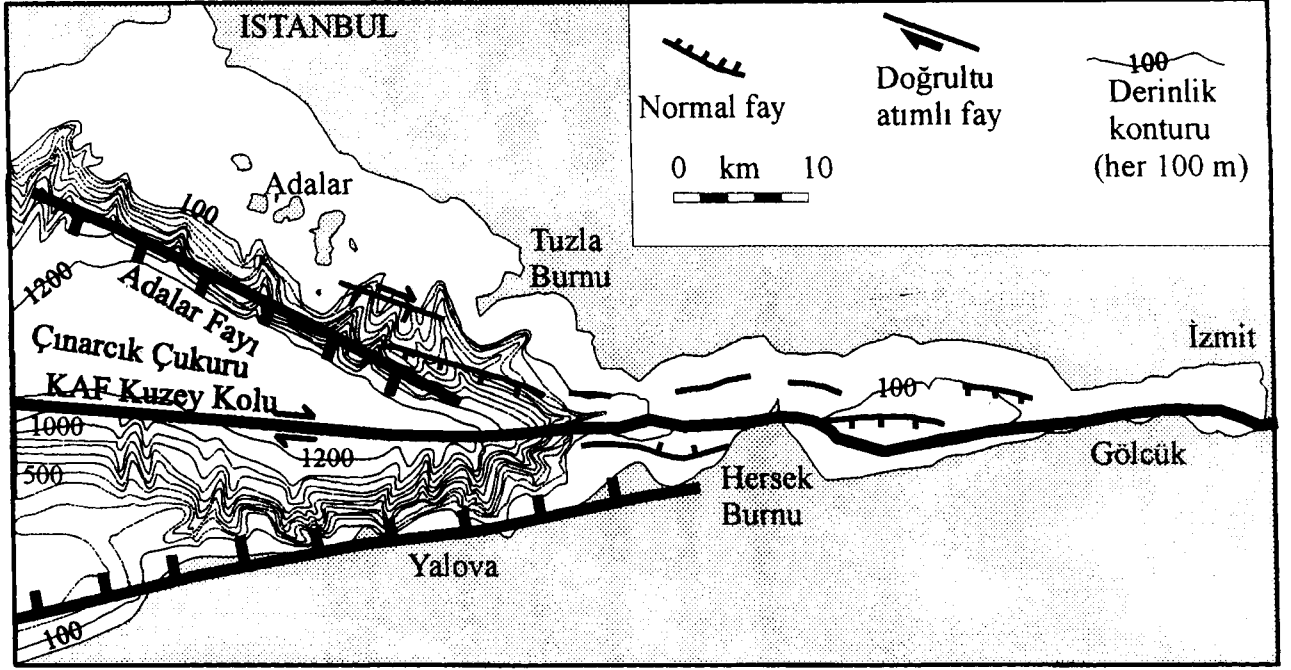
kırığı oluşturmadan Çınarcık Çukuruna kadar ilerlemiştir.

Çeşitli çalışmalar neticesine göre Hersek Burnu'nda 17 Ağustos depremine ait yüzey kırığı gözlenmemiştir (Witter ve diğ. 2000). Bunun nedeni tabanı tamamen çamurdan oluşan Hersek Burnu'nun güney blok ile birlikte batıya kayması olabilir.

Sismik çalışmalarımızda Hersek Burnu'nun batı-

sındaki üzerinde Aksa fabrikası olan Laledere (Kılıç) deltasına yakın gözlediğimiz gaz çıkışları ve deniz tabanındaki yerel açılmalar (Şekil 7), bu bölgedeki aktiviteye işaret etmektedir. Bu nedenle, Kuzey Anadolu Fayının, Hersek Burnu'ndan başlamak üzere atımının Marmara'ya doğru gittikçe azaldığı söylenebilir.

İstanbul şelfi üzerinde, Sedef Adası ile Tuzla Körfezi arasındaki kırığın (Şekil 7 ve 8) 1894 depremiyle



Şekil 8. İzmit Körfezi ve Adalar Bölgesi ana tektonik unsurları (Alpar 1999, Alpar ve Güneysu 1999, Yaltırak ve Alpar 2000, Alpar ve Yaltırak 2000a,b, Yaltırak 2000, Alpar ve diğ. 2000 yorumları da dikkate alınmıştır).

Figure 8. Main tectonic elements of the İzmit Bay and Adalar Region (also considered interpretations in Alpar 1999, Alpar and Güneysu 1999, Yaltırak and Alpar 2000, Alpar and Yaltırak 2000a,b, Yaltırak 2000, Alpar et al. 2000).

ana faya bağlı olarak düşük aktiviteli Trakya-Eskişehir Fay Zonu (Yaltırak ve diğ. 2000) üzerinde oluşmuş ikincil bir fay olabileceği söylenebilir. Aslında 1894 depreminde, bu tali fayın da ana fayla birlikte çalışması, İstanbul'daki hasarın artmasına neden olmuş olabilir. Bu konu tarihsel depremlerin yeri ve depremlerin göçü çalışmalarında dikkate alınması ve daha detaylı araştırılması gerekli bir problem olarak önemini korunmaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde gemi ve sayısal sismik sistem olanaklarını kullandığımız İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri İşletmeciliği Enstitüsü Müdürlüğüne, manevi desteğini esirgemeyen Prof.Dr. Ertuğrul Doğan'a, deniz çalışmalarındaki yardımlarından dolayı R/V Arar gemisi personeline teşekkür ederiz. Pahalı deniz çalışmaları sırasında rasgele hatlar almayıp, dikkatlerimizi belli noktalara yoğunlaştıran ve bu yazının geliştirilmesi için yardımlarını esirgemeyen Prof.Dr. Yıldız Altınok'a ve yapıcı eleştirilerinden dolayıyla makalenin üç hakemine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akgün, M., Ergün, M., 1995, İzmit Körfezinin yapısı ve Kuzey Anadolu fayı ile ilişkisinin irdelenmesi, *Jeofizik*, 9, 71-78.
- Alpar, B., 1999, Underwater signatures of the Kocaeli Earthquake (August 17th 1999), *Turkish J. Mar. Sci.*, 5: 111-130.
- Alpar, B., Güneysu, C., 1999, Evolution of the Hersek Delta (İzmit Bay), *Turkish J. Mar. Sci.*, 5: 57-74.
- Alpar, B., Akkargan, Ş., Gündoğdu, O., 1999, Arar gemisinin Marmara bulguları, Deprem sonrasında İ.Ü. Arar gemisinin Doğu Marmara da yaptığı sığ sismik ön araştırmaları, *Cumhuriyet Bilim Teknik*, Sayı : 666, 25 Aralık 1999, 19-20.
- Alpar, B., Yaltırak, C., 2000a, Çınarcık Çukuru ve çevresinin morfotektoniği, 1. Ulusal Deniz Bilimleri Konferansı, Bildiri Özetleri, Z. Uysal, İ. Salihoglu (eds.), 30 Mayıs-2 Haziran 2000, ODTÜ, Ankara, 189-194.
- Alpar, B., Yaltırak, C., 2000b, Tectonic setting of the

- Marmara Sea. Nato Advanced Research Seminar, Integration of Earth Sciences on the 1999 Turkish and Greek Earthquakes and Needs for Future Co-operative Research, Abstracts, 14-17 May 2000, İstanbul, 9-10.
- Alpar, B., Akkargan, Ş., Gündoğdu, O., Doğan, E., 2000, Shallow marine seismic studies after the Marmara Earthquake (August 17th, 1999), Supplement to Romanian Geophysics, Conference Volume, (Dimitriu Radu G. and Ioane Dimitru, eds), 322-325.
- Andrussov, N., 1890, Die Schichten von Cap Tschauda. Ann. d.k.k. Nat. Hof. V.66
- Bargu, S., Yüksel, A., 1993, İzmit Körfezi Kuvaterner deniz dibi çökellerinin stratigrafik ve yapısal özellikleri ile kalınlıklarının dağılımı, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 8: 169-187.
- Barka, A.A., Kadinsky-Cade, K., 1988, Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity, Tectonics, 7: 663-684.
- Barka, A.A., 1992, The North Anatolian Fault Zone, Annales Tectonicae, Special Issue, 6: 164-195.
- Barka, A.A., Rockwell, T., İmren, C., 1999, Marmara Denizi orta sırtlarının kinematığı ATAG 2, 111-120.
- Crampin, S., Evans, R., 1986, Neotectonics of the Sea of Marmara region of Turkey, J. Geol. Soc., London, 143: 343-348.
- Eginitis, D., (1894). 1310 Zelzelesi Hakkında Rapor, Çev: Boğos, İstanbul, 21 Ağustos, 1310, Başbakanlık Arşivi Genel Müdürlüğü, Yıldız Esas Evrakı, Kısım 14, Evrak C. Zarf 126, Karton 11, s 1-29 (el yazması).
- Ergintav, S., Çakmak, R., Bürgman, R., Reilinger, R.E., McCluski, S., Barka, A., Lenk, O., Gürkan, O., Yalçın, M.N., 2000, Marmara bölgesindeki deprem riskinin uydu destekli küresel konumlama sistemi (GPS) ile incelenmesi, Marmara'da Deprem ve Jeofizik Toplantısı Bildiri Kitabı, 28 Haziran 2000, İstanbul, 17-19.
- Emre, Ö., Taymaz, T., Duman, T.Y. ve Doğan, A., 2000, 1999 Gölçük ve Düzce depremlerinin yüzey kırıkları ve sismolojik özellikleri, Bilim Teknik, 386: 38-42.
- Ergün, M., Özel, E., 1995, Structural relationships between the Sea of Marmara basin and the North Anatolian fault zone, Terra Nova, 7: 278-288.
- Grave, R. W., 1995, Preliminary analysis of long-period basin response in the Los Angeles region from the 1994 Northridge Earthquake, Geophysical Research Letters, 22(2): 101-104.
- Gündoğdu, O., 1991, "1894 Depremi ve İstanbul", İstanbul ve Deprem Sempozyumu, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi Yayınları, 45p.
- Güneysu, A.C., 1999, The bathymetry of the İzmit Bay, Turkish J. Mar. Sci., 5: 167-169.
- Hubert-Ferrari, A., Barka, A., Jacques, E., Nalbant, S.S., Meyer, B., Armijo, R., Tapponnier, P., King, G.C.P., 2000, Seismic hazard in the Marmara Sea region following the 17 August 1999 İzmit earthquake, Letters to Nature, 404: 269-273.
- KOERI web sitesi, B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü web sayfası; <http://www.koeri.boun.edu.tr>
- Kalafat, D., 1999, 17 Ağustos 1999 İzmit-Marmara Depremi, Adana Müteahhitler Birliği, Yıl 4, Sayı 24, 14-15 Aralık 1999, Adana.
- Kalafat, D., 2000, 17 Ağustos 1999 Marmara ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri, Jeofizik Bülteni, Yıl 12, Sayı 36, 31-34, Ankara.
- Kopp, K.O., Pavoni, N., Schindler, C., 1969, Geologie Thrakiens IV: Das Ergene Becken. Beihefte Geol. Jahrbuch, Heft 76:136 s.
- Koral, H., Öncel, A.O., 1995, İzmit Körfezinin yapısal ve sismolojik özellikleri, Jeofizik, 9(1-2): 79-82.
- Le Pichon X., Taymaz, T., Şengör, A.M.C., 1999a. Büyük Marmara fayı: niçin, nerede ve ne olabilir. Cumhuriyet, Bilim Teknik, Sayı : 661, Deprem Özel Sayısı, 20 Kasım 1999, 8-11.
- Le Pichon X., Taymaz, T., Şengör, A.M.C., 1999b. The Marmara fault and the future İstanbul earthquake, Proceedings of ITU-IAHS, International Conference on the Kocaeli Earthquake 17 August 1999, İstanbul-Turkey, 2-5 December 1999, 41-54.
- Öztin, F., 1994, 10 Temmuz 1894 İstanbul Depremi raporu. TC: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, 292s.
- Parke, J.R., Minshull, T.A., Anderson, G., White, R.S., McKenzie, D., Kuşçu, İ., Bull, J.M., Görür, N., Şengör, C., 1999, Active faults in the Sea of Marmara, Western Turkey, imaged by seismic reflection profiles, Terra Nova, 11(5): 223-227.
- Parsons, T., Toda, S., Stein, R., Barka, B., Dieterich, J.H.,

- 2000, Heightened odds of large earthquakes near Istanbul: An interaction-based probability calculation, *Science*, 288: 661-665.
- Pfannenstiel, M., 1944, Diluviale Geologie des Mittelmeergebietes: die diluvialen Entwicklungstadien und die Urgeschichte von Dardanellen, Marmara Meer und Bosphorus. *Geol. Rund.* 34: 342-334.
- Pınar, A., Kalafat, D., Horasan, G., Özel, N., 2000. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi: Ana şok ile büyük artçıların ilişkisi, *Batı Anadolu'nun Depremselliği Simpozyumu Bildiriler Kitabı*, 24-27 Mayıs, İzmir, 220-228.
- Pınar, N., 1943., Marmara Denizi havzasının sismik jeolojisi ve meteorolojisi, *Fen Fak. Monografileri*, A7, İstanbul Üniversitesi, Monogr., 5: 64p.
- Okay, A., Demirbağ, E., Kurt, H., Okay, N., 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., Kuşçu, İ., 2000a, Active faults and evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, northwest Turkey: a multichannel seismic reflection study, *Tectonophysics*, 321: 189-218.
- Okay, A.I., Kaşlılar-Özcan, A., İmren, C., Boztepe-Güney, A., Demirbağ, E., Kuşçu, İ., 2000b, Geometry of the active faults and strike-slip basins in the Marmara Sea, Northwest Turkey: a multichannel seismic reflection study. *Nato Advanced Research Seminar, Integration of Earth Sciences on the 1999 Turkish and Greek Earthquakes and Needs for Future Cooperative Research, Abstracts*, 14-17 May 2000, İstanbul, 20-21.
- Özel, N., Kalafat, D., Pınar, A., Horasan, G., Cranswick, E., Yılmaz, M., Kara, M., Ögütçü, Z., 2000, 17 Ağustos 1999 İzmit ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinin artçı sarsıntıları, *Batı Anadolu'nun Depremselliği Simpozyumu Bildiriler Kitabı*, 24-27 Mayıs, İzmir, 79-86.
- Özer, M.F., İrmak, T.S., 2000. 17 Ağustos 1999 Kocaeli ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri, *Doğu Marmara Depremleri ve Jeofizik Toplantısı, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası*, 11 Ağustos 2000, 15-22, İzmit.
- Sieberg, A., 1932, Untersuchungen über Erdbeben und Bruchschollenbau im östlichen Mittelmeer. *Denkschr. Med. Naturw. Ges., Jena*.
- Siyako, M., Tanış, T., Şaroğlu, F., 2000. Marmara Denizi aktif fay geometrisi. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*, Sayı 388, 66-71.
- Straub, C., Kahle, H.G., Schindler, C., 1997, GPS and geologic estimates of the tectonic activity in the Marmara Sea region, NW Anatolia. *J. Geoph. Res.-Solid Earth*, 102: B12, 27587-27601.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985, Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. in Biddle, K.T., Christie-Blick, N. (Eds.), *Strike-slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Spec. publ. No 37, 227-264
- Şengör, A.M.C., Demirbağ, E., Tüysüz, O., Kurt, H., Görür, N., Kuşçu, İ., 1999, İzmit Körfezinin denizaltında kalan resminin jeolojik yapısı, *Cumhuriyet Bilim Teknik*, 4 Aralık 1999, 14-15.
- Ürekli, F., 1999, İstanbul'da 1894 Depremi, *İletişim Yayınları* 586, İstanbul Dizisi 33, İstanbul.
- Witter, R.C., Lettis, W.R., Bachhuber, J., Barka, A.A., Evren, E., Çakır, Z., Page, W.D., Hengesh, J., 2000, Hersek deltasında paleosismik kazılar, *Bilim Teknik*, Haziran 2000, 391: 84-86.
- Wong, H. K., Lüdmann, T., Uluğ, A., Görür, N., 1995, The Sea of Marmara: a plate boundary sea in an escape tectonic regime. *Tectonophysics*, 244: 231-250.
- Yalıtırak, C., Alpar, B., Sakınç, M., Yüce, H., 2000, Origin of the Strait of Çanakkale (Dardanelles): regional tectonics and the Mediterranean - Marmara incursion, *Mar. Geol.* 164(3-4), 139-156.
- Yalıtırak, C., Alpar, B., 2000, Büyük Çekmece-İstanbul Yarımadası yakın sahilinin sismik araştırması ve tektonik özellikleri 1. Ulusal Deniz Bilimleri Konferansı, Bildiri ve Poster Özetleri, Z. Uysal, İ. Salihoğlu (eds.), 30 Mayıs-2 Haziran 2000, ODTÜ, Ankara, 183-188.
- Yalıtırak, C., 2000, Marmara Problemi, 1. Ulusal Deniz Bilimleri Konferansı, Bildiri ve Poster Özetleri, Z. Uysal, İ. Salihoğlu (eds.), 30 Mayıs-2 Haziran 2000, ODTÜ, Ankara, 202-207.