



# Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>



## KUZEY ANADOLU FAYI GÜNEY KOLU'NUN SEGMENT YAPISI VE GEMLİK FAYININ PALEOSİSMİK DAVRANIŞI, KB ANADOLU

Selim ÖZALP<sup>a,\*</sup>, Ömer EMRE<sup>b</sup> ve Ahmet DOĞAN<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, 06800 ANKARA

<sup>b</sup> Fugro-Sial Yerbilimleri Müşavirlik ve Mühendislik Ltd. Şti., Farabi Sokak No: 40/4, Çankaya/ANKARA

<sup>c</sup> Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, ANKARA

Anahtar sözcükler:  
Kuzey Anadolu  
Fayı-Güney kol,  
Gemlik Fayı,  
paleosismoloji.

### ÖZ

Kıta içi bir transform fay olan Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Marmara Bölgesi'nde Kuzey ve Güney olmak üzere iki ana kola ayrılır. Bandırma ve Dokurcun Vadisi arasında Güney kol sağa sıçramalı sekmelerle birbirinden ayrılan, doğudan batıya doğru Geyve, İznik ve Gemlik olmak üzere üç ana fay segmentinden oluşur. Fay segmentlerinin uzunluğu 40 ile 57 km arasında değişir. GPS verileri Güney kolda yaklaşık 5 mm/yıl kayma hızı önermektedir. 40 km uzunluğundaki Gemlik segmenti üzerinde gerçekleştirdiğimiz paleosismolojik kazılarda iki yüzey faylanması olayı gözlenmiştir. Bunlar 1857 ve 1419 tarihsel depremleri ile deneştirilebilmektedir. Gemlik fayındaki son iki deprem arasındaki tekrarlanma aralığı 438 yıldır. Bulgular, İznik fayında varlığı bilinen 1419 depremindeki yüzey faylanması Gemlik fayının da dahil olduğunu ve bu depremde en az 95 km uzunluğunda çok segmentli yüzey faylanması geliştiğini göstermektedir. 5 mm/yıllık kayma hızına göre KAF'nın İznik Gölü ile Dokurcun vadisi arasında kalan kesiminde 595 yılda biriken yer değiştirme miktarı yaklaşık 3 metre olarak hesaplanmaktadır. Buna göre Kuzey Anadolu Fayı'nın Güney kolunun da en az Kuzey kol kadar büyük deprem üretme potansiyeline sahip olduğu söylenebilir.

### ABSTRACT

Keywords:  
North Anatolian  
Fault-Southern  
Branch, Gemlik Fault,  
paleoseismology.

The North Anatolian Fault (NAF), which is an intra-continental transform fault, is divided into two branches as Northern and Southern branches in Marmara Region. The southern branch which separates from each other by rightward stepovers between Bandırma and Dokurcun valley is formed by three main fault segments as Geyve, İznik and Gemlik from East to West. The length of fault segments ranges between 40 and 57 km and GPS data in Southern branch propose a 5 mm/year slip rate. Two surface faulting events were observed during paleoseismological excavations which had been carried out on 40 km long Gemlik segment and these can be correlated with earthquakes that occurred in 1857 and 1419. The recurrence interval between the last two earthquakes in Gemlik Fault is 438 years. Findings indicate that Gemlik fault was also included into surface faulting of the earthquake in 1419 which its presence is known in İznik fault. At least 95 km long multi-segment surface faulting developed in this earthquake. Based on 5 mm/years slip rate, the cumulative offset amount slip rate of NAF was approximately estimated as 3 meters in 595 years in region between İznik Lake and Dokurcun Valley. Accordingly; it can be stated that the southern branch of the North Anatolian Fault has a potential to trigger a large earthquake as well as the Northern branch.

\* Başvurulacak yazar : S. ÖZALP, [selim.ozalp@mta.gov.tr](mailto:selim.ozalp@mta.gov.tr)

## 1. Giriş

Kuzey Anadolu Fayı (KAF), yaklaşık 1.600 km uzunluğunda, sağ yanal doğrultu atımlı, kıta içi transform fay olup, Anadolu plakasının Avrasya'ya göre batıya doğru hareket etmesini sağlamaktadır (Şekil 1) (Ketin, 1957; Şengör, 1979). Bu transform fay Doğu Marmara bölgesinde kuzey ve güney olmak üzere iki ana kola ayrılmaktadır. KAF dünya deprem literatüründe, son yüzyılda meydana gelen ve doğudan batıya doğru göç eden büyük depremlerle bilinmektedir. 1939-1999 yılları arasında KAF'da gelişen dokuz büyük depremde Erzincan ile Marmara Denizi arasında toplam 1100 km uzunluğunda yüzey faylanması oluşmuştur. Bu deprem serisi içinde, her deprem segmenti batısındaki komşu segmente stres aktararak bir sonraki depremin tetikleyicisi olmuştur (Ambraseys, 1970; Toksöz vd., 1979; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Stein vd., 1996). Bunlardan 1967 depremi fayın iki kola ayrıldığı Mudurnu vadisi batısında sonlanmış, bunu izleyen 17 Ağustos 1999

İzmit (Mw: 7,4) ve 12 Kasım 1999 Düzce (Mw: 7,1) depremleri fayın kuzey kolunda meydana gelmiştir. 1999 depremleri sonrasında kuzey kolun Marmara Denizi bölümünde deprem tehlikesinin arttığı yönünde görüş birliği vardır (Stein vd., 1996; Parsons vd., 2000; Erdik vd., 2004).

Son 2000 yıllık tarihsel kayıtlar ve paleosismolojik veriler, KAF'ın kuzey kolu üzerinde son yüzyıldakine benzer deprem döngülerinin varlığını ortaya koymaktadır (Ambraseys, 1988, 2002; Ambraseys ve Finkel, 1991; Guidoboni vd., 1994; Şengör vd., 2005). Buna karşın güney kolun segment yapısı ve paleosismolojik davranışı üzerine olan veriler sınırlıdır. Bolu'nun batısında kuzey ve güney olmak üzere iki ana kola ayrılan KAF, Marmara Bölgesi'nde geniş bir zonda izlenir (Şekil 2). Güncel GPS ölçümleri, Marmara bölgesindeki levha hareketlerinin esas olarak KAF'ın Kuzey kolu tarafından karşılandığını göstermekte ve bu kolda  $24 \pm 1$  mm/yıl hız önermektedir (McClusky



Şekil 1- Türkiye'nin aktif tektonik haritası. İçi dolu üçgenli çizgiler aktif dalma-batma zonlarını, içi boş üçgenli çizgiler karadaki aktif bindirme kuşaklarını, kalın çizgili hatlar doğrultu atımlı fayları ve çentikli ince çizgiler ise normal fayları göstermektedir. Büyük koyu oklar litosferik plakaların hareket yönünü işaret etmekte olup, yanlarındaki değerler Avrasya'ya göre GPS hızlarını göstermektedir (Okay vd., 2000'den değiştirilerek alınmıştır; GPS hız değerleri Reilinger vd., 2006'dan alınmıştır).

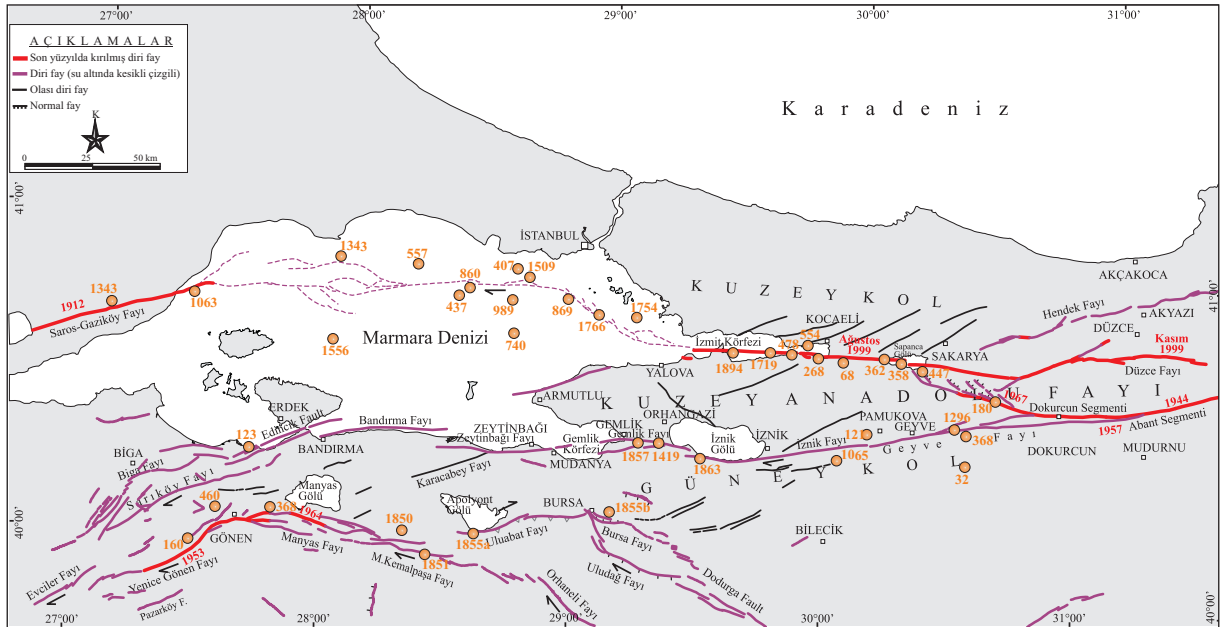
vd., 2003; Reilinger vd., 2006). GPS verilerine göre 5 mm/yıl kayma hızına sahip güney kol KAF zonundaki yatay yönlü hareketlerin  $\frac{1}{4}$ 'ünü karşılamaktadır (Meade vd., 2002). Tarihsel kayıtlar ve son yüzyıldaki aletsel dönem verileri Kuzey kol üzerinde daha yoğun bir sismisitenin varlığını gösterir (Şekil 2, Çizelge 1) (Ambraseys, 1988, 2002; Ambraseys ve Finkel, 1991; Guidoboni vd., 1994; Ambraseys ve Jackson, 2000; Taymaz, 2000; Kalafat vd., 2011). Son dört/beş milyon yılda KAF zonunda gelişmiş toplam jeolojik ötelenmeler GPS verileri ile uyumlu olup, kuzey koldaki kayma hızının güney kola göre 3-3,5 kat daha yüksek olduğunu açıklar (Sipahioğlu ve Matsuda, 1986; Şaroğlu vd., 1987; Koçyiğit, 1988; Emre vd., 1998; Armijo vd., 2002; Meade vd., 2002; Emre ve Awata, 2003; Yıldırım ve Emre, 2004).

Son yıllarda Kuzey kolda gerçekleştirilen paleosismolojik araştırmalar yüzey faylanması gelişen büyük depremlerin tekrarlanma aralığının 150 ile 300 yıl arasında olduğunu önermektedir (Toda vd., 2001; Emre vd., 2002; Rockwell vd., 2001, 2009; Hartleb vd., 2003, 2006; Kozacı vd., 2009, 2011; Özaksoy vd., 2010). Son ikibin yılda güney kol üzerinde de yıkıcı depremlerin meydana geldiği bilinmektedir (Ambraseys ve Finkel, 1991; Ambraseys ve Jackson, 2000; Ambraseys, 2002). Sınırlı sayıdaki paleosismolojik çalışmada güney kol üzerinde yüzey kırığı oluşturmuş büyük depremler tanımlanmaktadır.

Ancak bu veriler (Ikeda vd., 1989; Barka, 1992; Yoshioka ve Kuşçu, 1994; Uçarkuş, 2002; Özalp vd., 2003) güney koldaki büyük depremlerin tekrarlanma aralığını ve deprem davranışını ortaya koyacak yeterlilikte değildir. Paleosismolojik bulguya dayanmayan bazı çalışmalarda güney kol üzerinde  $M \geq 7,0$  büyüklüğündeki depremlerin tekrarlanma aralığının 600-1000 yıl olduğu ileri sürülmektedir (Utkucu vd., 2011). Dokurcun ile Bandırma arasında yaklaşık 250 km uzunluğunda olan KAF'nın güney kolu bölgenin önemli deprem kaynak zonlarından biridir. 1999 depremleri sonrasında bu zondaki deprem tehlikesinin arttığı bilinmektedir (Langridge vd., 2002). Bu çalışmada Dokurcun Vadisi ile Gemlik Körfezi arasında kalan güney kolun segment yapısı irdelenmekte, Gemlik Segmenti üzerinde yapılan hendek çalışmalarının sonuçları sunulmakta ve tarihsel depremler ile paleosismolojik veriler karşılaştırılarak güney kolun deprem tehlikesi tartışılmaktadır.

## 2. Güncel Tektonik Özellikler

Çalışma alanı Türkiye'nin sismik olarak aktif bölgelerinden biri olan KB Anadolu'da yer alır. Türkiye'nin neotektoniği Arap-Afrika levhaları ile Avrasya levhası arasında Orta-Geç Miyosen'de gerçekleşmiş kıta-kıta çarpışmasıyla başlar (McKenzie, 1972, 1978; Şengör, 1979, 1980; Jackson ve McKenzie, 1984; Şengör vd., 1985). Söz



Şekil 2- Marmara Bölgesi'nin aktif fayları ve son ikibin yılda meydana gelmiş büyük deprem ( $M_s > 6,8$ ) merkezlerinin dağılım haritası. 20. yy'da kırılmış faylar kalın kırmızı çizgi ile gösterilmiştir (Ambraseys ve Finkel, 1991; Şaroğlu vd., 1992; Emre vd., 1998; Ambraseys, 2002; Armijo vd., 2002; Tan vd., 2008).

Çizelge 1- KAF'ın güney kolu üzerinde meydana gelen büyük tarihsel depremler.

No	Tarih	Koordinat	Yer	Büyüklik (Ms)	Şiddet (I <sub>0</sub> )	Kaynaklar
1	???.?.29 veya 24.11.29 (e)	40,50K – 28,90D	İzmit, İzmit İzmit (e)	?	IX IX ≤ I <sub>0</sub> ≤ XI (e)	a, b, e
2	???.?.32	40,50K - 30,50D	İzmit	7,0 (g)	?	d, g
3	???.?.68 (g) veya ???.?.69 ???.?.121/122	40,60K – 29,90D 40,70K – 30,00D (g)	İzmit, İzmit	7,2 (g)	VII VIII ≤ I <sub>0</sub> ≤ X (e)	a, b, e, g
4	veya ???.?.120/128 (e)	40,60K – 29,90D	İzmit, İzmit	?	VII IX ≤ I <sub>0</sub> ≤ XI (e)	a, b, d, e
5	03.05.170 veya 03.05.181 (e)	40,10K – 28,00D	Bandırma, Erdek, Gemlik İzmit (e)	?	IX VIII ≤ I <sub>0</sub> ≤ X (e)	a, c, e
6	02.12.362	? 40,40K – 29,70D (c)	İzmit	?	VIII-IX	e
7	11.10.368	40,50K – 29,50D (f) 40,50K – 30,50D (g)	İzmit Persis (Geyve?) (g)	7,0 < Ms < 7,8 (f) 6,8 (g)	VII (c) IX ≤ I <sub>0</sub> ≤ XI (e)	c, d, e, f, g
8	???.?.715	40,40K – 28,90D 40,40K – 29,70D (c)	İzmit, Gemlik	?	IX	a, b, c
9	26.10.740	?	İstanbul, İzmit, İzmit	?	IX ≤ I <sub>0</sub> ≤ XI	e
10	23.09.985	40,40K – 28,90D	İzmit, Bandırma, Erdek	?	VIII	a, c
11	23.09.1064 veya ???.09.1065 (g)	40,40K – 28,90D 40,40K – 30,00D (g)	İzmit, Bandırma, Erdek	6,8 (g)	IX VIII (b)	a, b, c, g
12	01.06.1296	40,50K – 30,50D 40,50K – 30,50D	Bithynia *	7,0	VIII (c)	c, g
13	15.03.1419	40,40K – 29,30D (g) 40,20K – 29,10D (c)	Geyve ? Bursa (g)	7,0 < Ms < 7,8 7,2 (g)	?	f, g
14	11.04.1855	40,30K – 29,10D (f)	Bursa Gemlik, Mudanya (d)	6,6 (f)	X (c)	c, d, f
15	17.09.1857	?	Gemlik	?	?	d
16	04.06.1860	40,20K – 29,10D	Bursa	?	VII	c
17	06.11.1863	?	Gemlik, Umurbey, Bursa İzmit (d)	?	IX (c)	c, d
18	16.01.1895 veya 21.01.1895 (c)	40,44K – 29,70D 40,40K – 29,70D (c)	İzmit	?	V	b, c
19	14.03.1897	40,40K – 29,10D	Gemlik	?	V	c

Kaynaklar; (a) Pınar ve Lahn, 1952; (b) Ergin vd., 1967; (c) Soysal vd., 1981; (d) Ambraseys ve Finkel, 1991; (e) Guidoboni vd., 1994; (f) Ambraseys ve Jackson, 1998; (g) Ambraseys, 2002.

\* Günümüzdeki Bursa, Kocaeli, Sakarya, Bilecik, İzmit, Düzce, Yalova, Bolu, Kastamonu, Bartın ve Zonguldak illerinin bulunduğu coğrafi alanın, antik çağ ve sonrasındaki adı.

konusu kıtasal çarpışma sonucu ülkenin en büyük iki güncel tektonik yapısı olan Kuzey Anadolu (KAF) ve Doğu Anadolu (DAF) transform fay sistemleri ortaya çıkmıştır. KAF (Ketin, 1948), yaklaşık 1.600 km uzunlukta sağ yönlü doğrultu atımlı transform nitelikli aktif bir levha sınırı (Şengör, 1979, 1980) olup, Anadolu'yu D-B yönünde boydan boya katetmektedir. KAF'ın orta ve doğu kesiminde güncel deformasyonlar dar bir zonda izlenirken, Bolu'dan itibaren batıya doğru geniş zonal bir yapı kazanır (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Barka, 1992, 1997; Armijo vd., 1999). Bolu ile Marmara Denizi arasında yer alan Doğu Marmara Bölgesi'nde KAF, kuzey ve güney olmak üzere iki ana koldan oluşmaktadır. Dokurcun Vadisinde ana faydan ayrılan ve literatürde Orta kol olarak da bilinen (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988) KAF'ın güney kolu, batı ucunda KAF ile Batı Anadolu Açıklımlı Tektonik rejimi arasında büküm kinematığının etkin olduğu Güney Marmara bölgesine dahil olur (Şekil 2) (Koçyiğit ve Özacar, 2003; Emre vd., 2005; 2011a, b). Fayın bu kolundaki güncel kayma hızı ortalama 5 mm/yıldır (Meade vd., 2002).

Bandırma ile Dokurcun Vadisi arasında 250 km uzunluğunda olan güney kol doğudan batıya doğru birbirinden sağa sıçramalı yapılarla ayrılan Geyve, İznik, Gemlik, Zeytinbağı ve Bandırma fayları olarak adlanmış beş geometrik segmentten oluşmaktadır (Şekil 2). Segment uzunlukları 27 ile 57 km arasında değişmektedir. Bandırma, Gemlik, İznik Gölü ve Pamukova havzaları bu segmentler üzerinde gevşemeli yapılar şeklinde gelişmişlerdir (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Koçyiğit, 1988; Barka ve Kuşçu, 1996; Alpar ve Çizmeci, 1999; Yalıtırak ve Alpar, 2002; Doğan ve Tüysüz, 2011). Jeolojik birimler ile Sakarya Nehri'ndeki ötelenme dikkate alındığında güney kol boyunca toplam 17-26 km sağ yanal yer değiştirme önerilmektedir (Sipahioğlu ve Matsuda, 1986; Şaroğlu vd., 1987; Koçyiğit, 1988; Yıldırım ve Emre, 2004; Şengör vd., 2005). Taze fay diklikleri ve morfolojik ötelenmeler kol boyunca Holosen aktivitesinin varlığını göstermektedir (Tsukuda vd., 1988; Honkura ve Işıkara, 1991; Yoshioka ve Kuşçu, 1994; Barka, 1997). Öte yandan sismik profillerde Marmara Denizi güney şelfinde izlenen fayın Geç Kuvaterner aktivitesine ilişkin izler oldukça belirgindir (Alpar ve Çizmeci, 1999; Yalıtırak ve Alpar, 2002; Okamura vd., 2003; Kurtuluş ve Canbay, 2007; Kuşçu vd., 2009).

### 3. Depremsellik

Tarihsel ve aletsel dönemde Marmara Bölgesi'nde meydana gelen yıkıcı depremler KAF'ın her iki kolu üzerine dağılmış bir şekilde bulunmaktadır

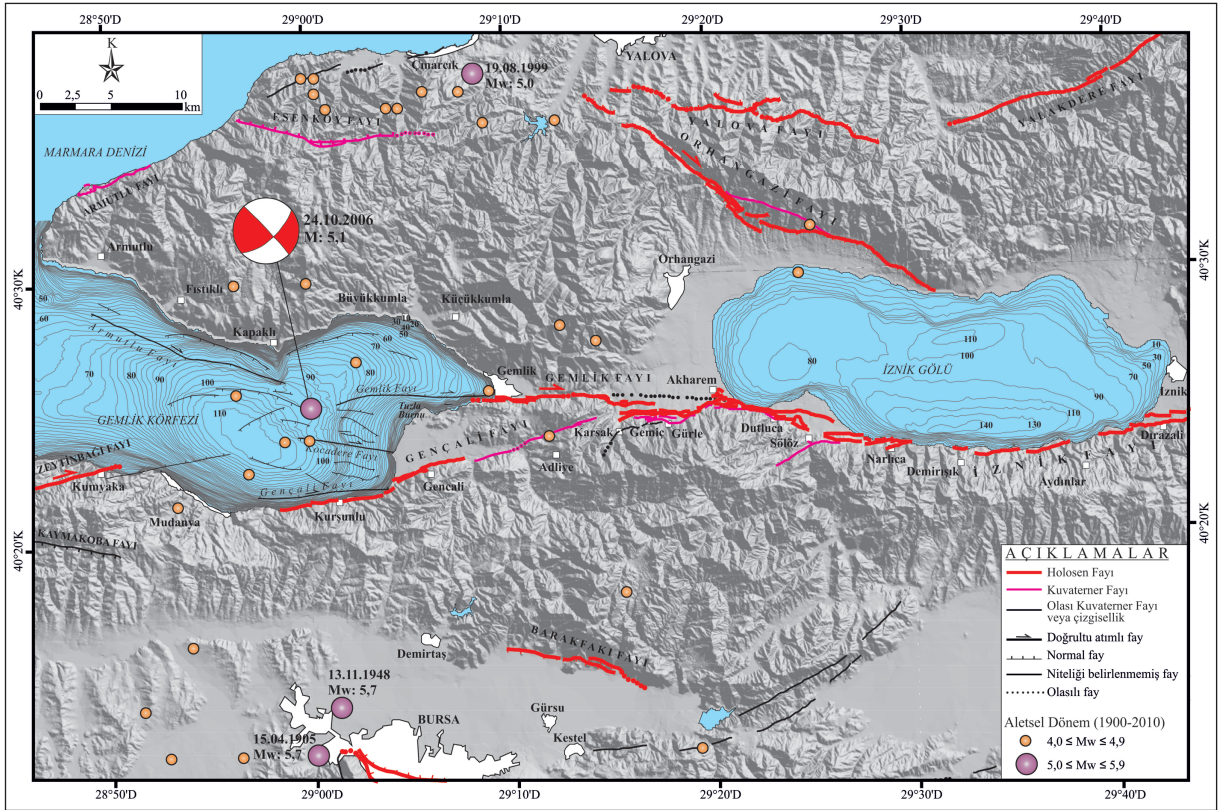
(Şekil 2). Bununla birlikte kuzey kol üzerinde daha yoğun bir depremsellik vardır. Depremler Marmara Denizi içerisinde kuzey kol üzerinde bir dizilim sunarken, güney kolun bulunduğu Güney Marmara'da dağılmış şekilde izlenmektedirler. Güney kol üzerinde son 2000 yıl içerisinde 1.-2., 4.-6., 11.-15. ve 19.-20. yüzyıllarda meydana gelmiş dört deprem dizisi tanımlanabilir (Şekil 2).

Tarihsel kayıtlara göre, güney kol üzerinde MS 32, 121, 368, 1065, 1296, 1419 ve 1857 yıllarında yıkıcı depremler meydana gelmiştir (Şekil 2). Ancak önceki paleosismolojik çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre son 2000 yılda İznik ve Geyve fayları üzerinde yüzey faylanması oluşturmuş yalnızca iki deprem tanımlanmaktadır. İznik Fayı üzerindeki son yüzey faylanması günümüzden 200 ile 500 yıl arasındaki bir dönemde meydana gelmiştir (Honkura ve Işıkara, 1991). Aynı fay üzerinde meydana gelmiş bir önceki büyük depremin ise MÖ 250 ile MS 700 yılları arasında olduğu ve MS 29 depremi ile ilişkilendirilebileceği önerilmektedir (Ambraseys ve Finkel, 1991; Barka, 1997; Ambraseys, 2002). Gemlik Segmentinin doğu kesimindeki son yüzey faylanması 19. yüzyılda meydana geldiği belirtilmektedir (Ikeda vd., 1991). Güney kolun batı kesiminde ise son 150 yıl içerisinde Bursa (1855a, 1855b), Gemlik (1857), Yenice-Gönen (1953, Ms: 7,2) ve Manyas (1964, Ms: 6,8) depremleri meydana gelmiştir (McKenzie, 1972, 1978; Taymaz vd., 1991; Taymaz, 2000; Ambraseys, 2002; Tan vd., 2008; Kalafat vd., 2011).

Aletsel dönem (1900-Günümüz) süresince KAF'ın Gemlik-Dokurcun kesiminde izlenen sismik aktivite oldukça düşüktür (Üçer vd., 1997; Ito vd., 2002; Tan vd., 2008; Kalafat vd., 2011). Şekil 3, İznik Gölü ile Gemlik Körfezi arasında son yüzyılda meydana gelen  $M > 4,0$  depremleri göstermektedir (Ergin vd., 2000; Eyidoğan vd., 2000; Özalaybey vd., 2002; Tan vd., 2008; Kalafat vd., 2011). Gemlik fayı ile ilişkilendirilebilecek orta büyüklükteki en son deprem olan 24 Ekim 2006 depremine ( $M_w$ : 5,1) ilişkin fay düzlemi çözümü sağ yönlü doğrultu atımlı kırılma mekanizmasını işaret etmekte olup, odak derinliği 14,3 km olarak önerilmiştir (Şekil 3) (Kalafat vd., 2011).

### 4. Güney Kolun Doğu Kesiminin Geometrisi ve Segment Özellikleri

KAF'ın güney kolu Dokurcun Vadisinde fayın ana kolundan ayrılır. Dokurcun-Gemlik Körfezi arasında Güney kol yaklaşık 160 km uzunluğundadır. Armutlu bloğunu güneyden sınırlar. Pamukova, İznik



Şekil 3- Gemlik ve dolayının Neotektonik dönem fayları. Karadaki faylar Emre vd. (2011b), Gemlik Körfezi'ndeki faylar ve batimetri haritası Kuşçu vd. (2009), İznik Gölü'nün batimetri haritası Ikeda vd. (1991) ve sismolojik veri Kalafat vd. (2011)'den alınmıştır.

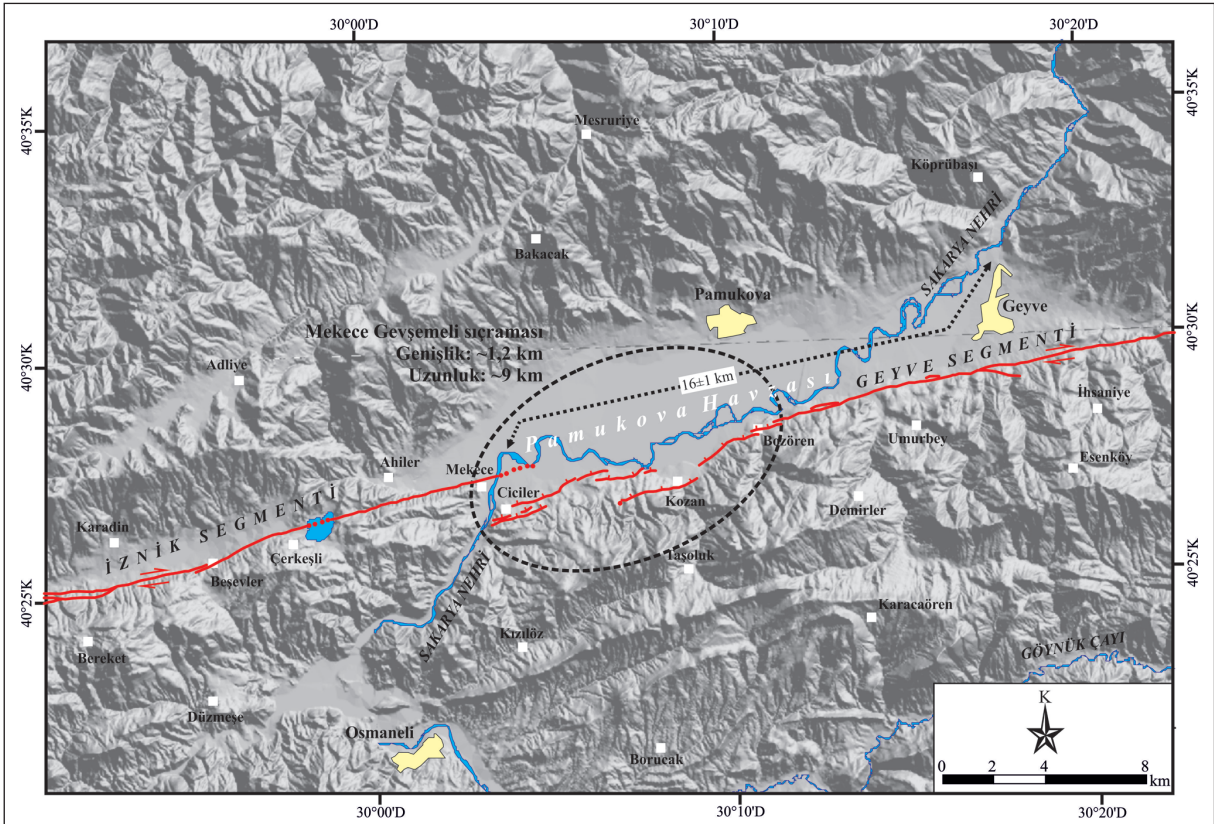
Gölü ve Gemlik körfezi bu kol üzerinde gelişmiş çek-ayır havzaları niteliğindedir. Bu üç havza fay boyunca gelişmiş morfolojik oluklarla birbirine bağlıdır. Dokurcun-Gemlik arasında Güney kol çek-ayır havzaların gelişmiş olduğu sağa sıçramalı sekmelerle birbirinden ayrılan üç fay segmentinden oluşur. Doğudan batıya doğru bunlar Geyve, İznik ve Gemlik fayları olarak adlanmıştır (Şekil 2, 3 ve 4). Fay segmentlerinin uzunlukları 40-57 km arasında değişir.

#### 4.1. Geyve Fayı

Güney kolun en doğudaki segmenti konumunda olup, 57 km uzunluğunda ve yaklaşık K70-80°D genel doğrultuludur. Fayın doğuda Dokurcun vadisi ile Pamukova havzası arasında kalan 25 km'lik kısmı dağlık bir alandan geçmektedir. Batı kesiminde ise fay morfolojik olarak Pamukova havzasını güneyden sınırlandırmaktadır (Şekil 4). Pamukova havzası batısında Geyve ve İznik fayları yaklaşık 1,2 km genişliğinde ve 9 km uzunluğunda Mekece gevşemeli sıçraması (jog) ile birbirinden ayrılır. Bu sıçramada Ciciler ile Bozören köyleri arasında Geyve fayının batı ucu sağ yönlü aralı-aşmalı sıçramalarla

birbirinden ayrılan alt parçalardan oluşur. Bu alt faylar normal eğim atımlı bileşenlidir (Şekil 4). Pamukova havzası Geyve ve İznik segmentleri arasındaki açılmalı sekmede gelişmiş bir çek-ayır havzası olarak şekillenmiştir (Koçyiğit, 1988). Havza tabanı Sakarya nehrinin Kuvaterner çökelleri ile doldurulmuştur. Geyve fayı çek-ayır havzayı güneyden sınırlar. Fay boyunca gözlenen taze fay sarplıkları, kapatan sırtlar ve sağ yönlü drenaj ötelenmeleri oldukça net bir şekilde izlenebilmektedir (Şaroğlu vd., 1987; Yoshioka ve Kuşçu, 1994). Pamukova havzasının GD'sunda yapılan paleosismolojik hendek kazılarında fay üzerinde Geç Holosen'de yüzey faylanması geliştiği gözlenmiştir (Yoshioka ve Kuşçu, 1994).

Pamukova havzasında Sakarya Nehri, Geyve Fayı tarafından sağ yönde ötelenmiştir. Önceki çalışmalarda yapılan değerlendirmelere göre burada, nehir yatağında 22-26 km arasında değişen değerlerde toplam ötelenme önerilmektedir (Sipahioğlu ve Matsuda, 1986; Şaroğlu vd., 1987; Koçyiğit, 1988; Barka, 1992; Şengör vd., 2005). Biz ise bu çalışmada fayın her iki bloğunda Sakarya Nehri'nin içerisine yerleşmiş olduğu boğazın fay ile olan geometrik ilişkisini dikkate alarak Geyve Fayı boyunca Sakarya



Şekil 4- İznik ve Geyve segmentleri arasındaki Mekece gevşemeli sıçramasının geometrisi ve Pamukova havzası içerisindeki Sakarya Nehri'nde izlenen sağ yanal yer değiştirme.

Nehri yatağında toplam  $16\pm 1$  km ötelenme değeri elde ettik (Şekil 4). Sakarya nehri drenajının ilksel yerleşim yaşının Geç Pliyosen (~3.000.000-3.500.000 yıl) olduğu bilinmektedir (Tanoğlu ve Erinc, 1956; Bilgin, 1968; Emre vd., 1998).  $16\pm 1$  km'lik toplam yerdeğiştirme miktarı Güney kol üzerinde jeomorfolojik olarak Geç Pliyosen-Günümüz zaman aralığı için ortalama 5,3-4,5 mm/yıl kayma hızı önermekte olup, bu değer GPS verileri (Meade vd., 2002) ile uyumludur.

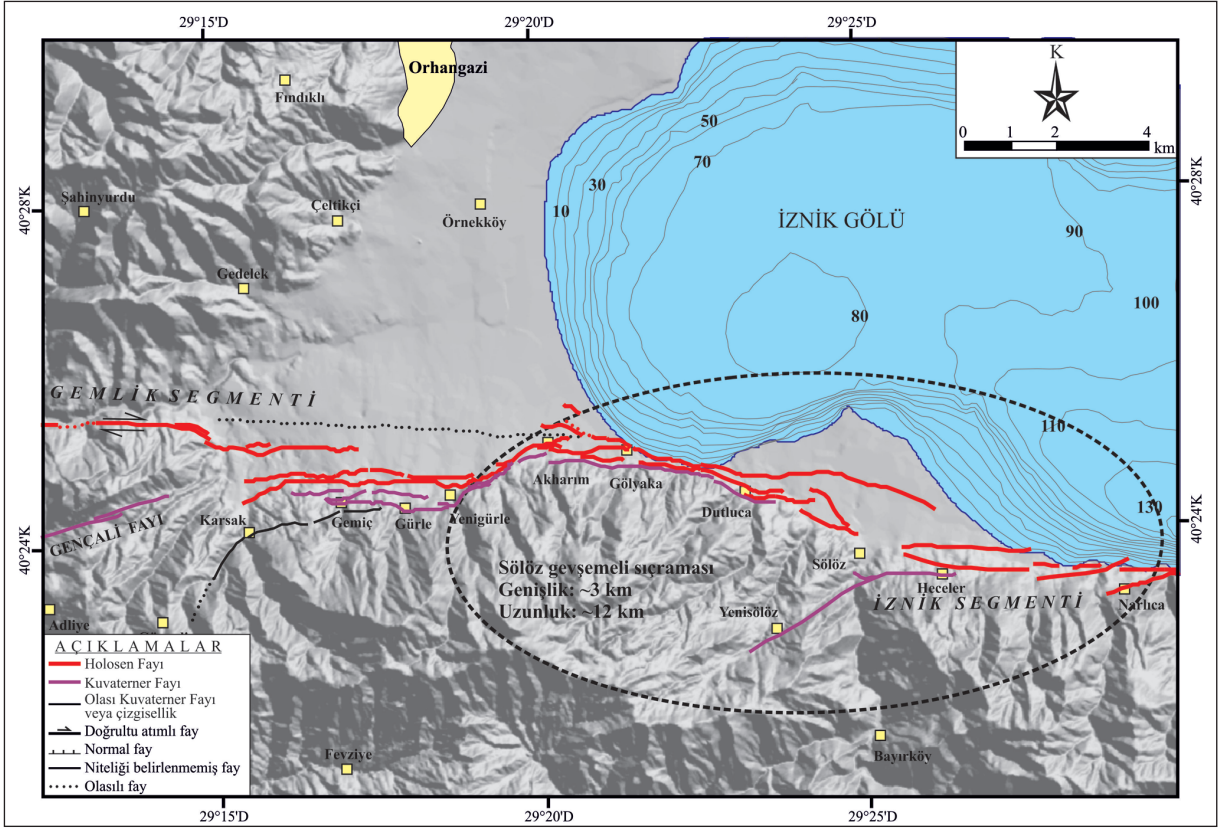
#### 4.2. İznik Fayı

Pamukova havzası ile İznik Gölü arasında yer alan İznik fay segmenti 56 km uzunluğundadır. Doğuda  $K80^{\circ}-85^{\circ}D$ , batıda ise D-B doğrultusunda uzanır. Her iki ucunda çek-ayır havzaları tarafından sınırlanır. Fay zonu boyunca ötelenmiş drenaj, fay gölcükleri (sag-ponds), taze fay diklikleri, kapatan sırtlar fayın Kuvaterner-Holosen aktivitesini belirleyen morfolojik oluşumlardır (Tsukuda vd., 1988; Honkura ve Işıkkara, 1991). Fay, Mekece ile İznik Gölü arasında Kuvaterner çökelleri tarafından doldurulmuş ve doğrultu atım morfolojisi baskın olan bir oluşun güney kenarını izler. Fay zonu İznik Gölü'nün güney kenarı boyunca

sağa sıçramalı bir geometride alt bölümlere ayrılır. Bir çek-ayır havza içerisinde kurulmuş göl çöküntü alanı Gemlik ile İznik segmentleri arasında gevşemeli bir sıçramada oluşmuştur (Şekil 3) (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Koçyiğit, 1988; Emre vd., 1998). Öztürk vd. (2009)'nde fayın İznik Gölü içerisinde, bu havzanın güney kenarını izlediği açıklanmaktadır. İznik ve Gemlik fay segmentleri gölün GB'sındaki gevşemeli bir sıçrama ile birbirinden ayrılır. Sölöz gevşemeli sıçraması olarak adlanan bu jog yapısı yaklaşık 3 km genişliğinde ve 12 km uzunluğundadır (Şekil 5). Bu kesimlerde göl çevresinde üç taraça yüzeyi tanımlanmıştır (Tanoğlu ve Erinc, 1956; Bilgin, 1968). Gölün güney sahili boyunca uzanan bu taraçalar, fayın bu kesimdeki normal bileşeni nedeniyle kuzey kıyından daha yüksekte bulunan fayın güney bloğu üzerinde yer alırlar. Bu durum İznik Gölü güneyinde fayın eğim atım bileşenli olduğunu doğrular (Ikeda vd., 1991).

#### 4.3. Gemlik Fayı

Gemlik fay segmenti İznik Gölü ve Gemlik Körfezi çek-ayır havzaları arasında yer alır (Şekil 3). Yaklaşık D-B doğrultulu olan fayın karadaki bölümü



Şekil 5- Gemlik ve İznik segmentleri arasındaki Söğöz gevşemeli sıçramasının geometrisi. İznik Gölü'nün batimetri haritası Ikeda vd. (1991)'den alınmıştır.

15 km uzunluğunda olup, sualtı kesimiyle birlikte (Kuşçu vd., 2009) 40 km'ye ulaşır (Şekil 3).

Doğu kesiminde Gemlik-İznik kara yoluna paralel olarak uzanan fay sarplığı morfolojide oldukça belirgindir. Alüvyal yelpazeleri kesen alanlarda fayın kuzey bloğu morfolojik olarak güney bloktan daha aşağıdadır. Güney blokta geriye eğimlenmeler (back tilting) ve fleksür morfolojisi gözlenmiştir (Ikeda vd., 1989). Fay sarplığının yüksekliği batıdan doğuya doğru artmakta olup, doğuda Akharem köyü yakınlarında 5 metreye ulaşır. Sarplık boyunca doğrultu atımlı faylanmaya ilişkin morfolojik bulgular sınırlıdır. Karsak deresindeki bir yarmada fay zonunun kültür katına kadar eriştiği net olarak izlenmektedir.

Fay zonu Karsak deresindeki metamorfik kayalar boyunca bir dağ geçidi konumundadır. Bu vadi İznik Gölü'nün bir ayağı şeklinde kapılma ile açılmıştır (Tanoğlu ve Erinç, 1956). Vadi boyunca kuzey bloktaki erozyonel taraçalar doğuya doğru eğim kazanmıştır. Güney blok morfolojik olarak daha yukarıdadır ve fay boyunca dik yamaçlar şeklinde yüksek bir topoğrafya sunar. Morfoloji nedeniyle bu kesimde fayın ters atım bileşeni olabileceği varsayılmaktadır.

En batıda, fay Gemlik ovasını güneyden morfolojik olarak sınırlar. Ovanın güneydoğu kesiminde, fay alüvyon ile temel kayalar arasında dokanak oluşturan bir dizi normal faydan oluşmaktadır. Bunlardan bazıları seramik parçaları içeren Geç Holosen yaşlı alüvyal yelpaze çökellerini kesmektedir. Gemlik güneyinde, fayın Karsak deresi taşkın ovası çökellerini kestiği 2 km uzunluğundaki bölümünde fay boyunca kaplıcaların dizildiği gözlenmiştir. Bu kesimde orijinal topoğrafya insan etkisi nedeniyle değişmiş olduğundan, fay haritalamasında 1950'lerde çekilmiş hava fotoğrafları kullanılmıştır. Buna göre fayın kuzey bloğu morfolojik olarak daha aşağıdadır. Ancak Terme kazı alanındaki hendekte düşey bileşen net olarak gözlenememiştir. Fay, Gemlik batısında Marmara Denizi'ne girmektedir. Gemlik Körfezi'nin GB kıyıları çizgisel bir topoğrafyaya sahiptir. Özellikle Tuzla Burnu yakınlarında, bu çizgisellik alüvyon ile Eosen yaşlı temel kayalar arasında oldukça açık olarak izlenmektedir. Yüksek ayrımlı sığ-sismik veriler, Gemlik ovası güney kenarındaki bu çizgiselliğin körfez ortalarına kadar aynı doğrultuda uzandığını göstermektedir (Özalp vd., 2002; Okamura vd., 2003; Kuşçu vd., 2009).



## 5. Paleosismoloji Çalışmaları

Gemlik Segmenti üzerinde paleosismolojik değerlendirmeler yapmak üzere Terme Kaplıcası'nın olduğu alanda hendek çalışması gerçekleştirilmiştir. Hendek yerinin seçiminde hava fotoğrafları kullanılarak eski depremlere ilişkin yüzey kırığı olabilecek fay sarplıkları esas alınmıştır. Terme alanı Gemlik ilçesinde segmentin orta kesiminde yer alır (Şekil 6).

Terme kaplıcasındaki hendek stratigrafisini ve yüzeyleyen birimlerin yaşlarını daha net olarak ortaya koyabilmek için bu hendekten Hızlandırıcı Kütle Spektrometresi (AMS: Accelerator Mass Spectrometer)'nde C14 analizi yaptırılmak üzere 7 adet kömür ve kavkı örneği alınmıştır. Analizler Massachusetts (ABD)'teki Geochron Laboratuvarına yaptırılmıştır. Tüm yaşlar OxCal 3.10 (Bronk Ramsey, 1998) ve CALIB Rev. 5.0.1 (Stuiver ve Reimer, 1993) bilgisayar programları kullanılarak kalibre edilmiştir.

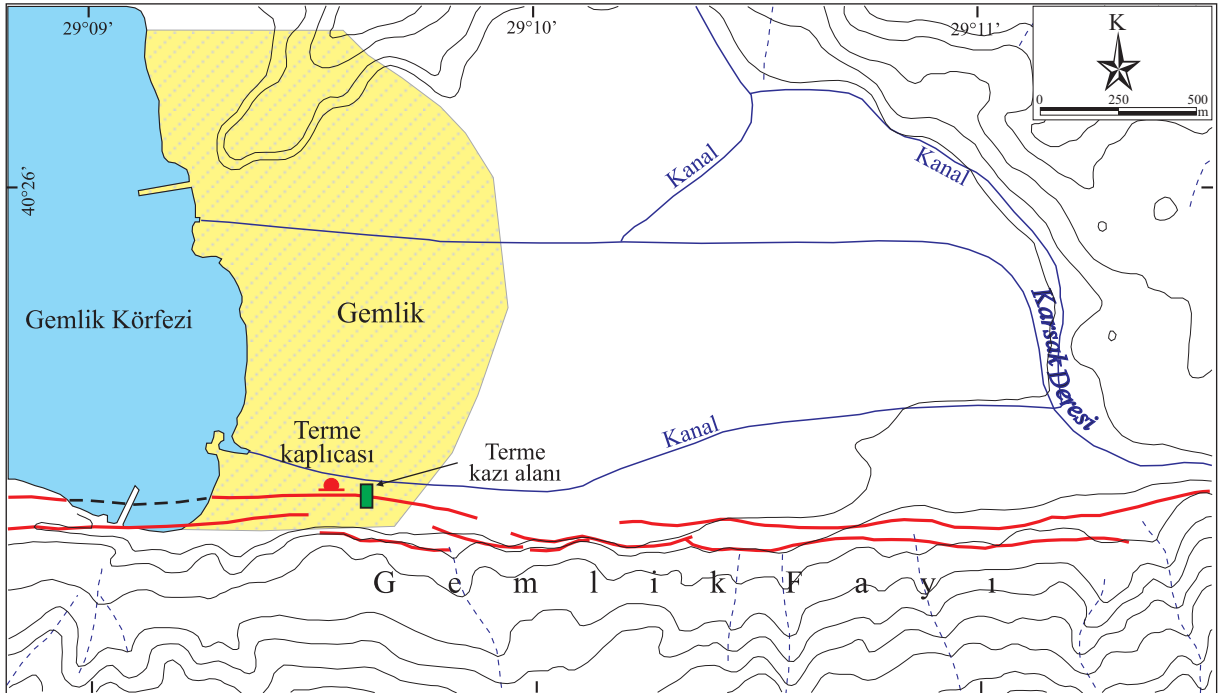
### 5.1. Terme Hendeği

Terme Hendeği, Gemlik fay segmenti üzerinde açılmıştır. Hendek lokasyonu Orhangazi-Bursa karayoluna bitişik Eski Gemlik Devlet Hastanesi bahçesinin doğusunda kazılmıştır (Şekil 6). Hendek lokasyonu ile batıdaki Gemlik körfezi arasında kalan kesiminde fay kentsel yerleşme alanını kateder ve çok sayıda bina ve Eski Devlet Hastane binası

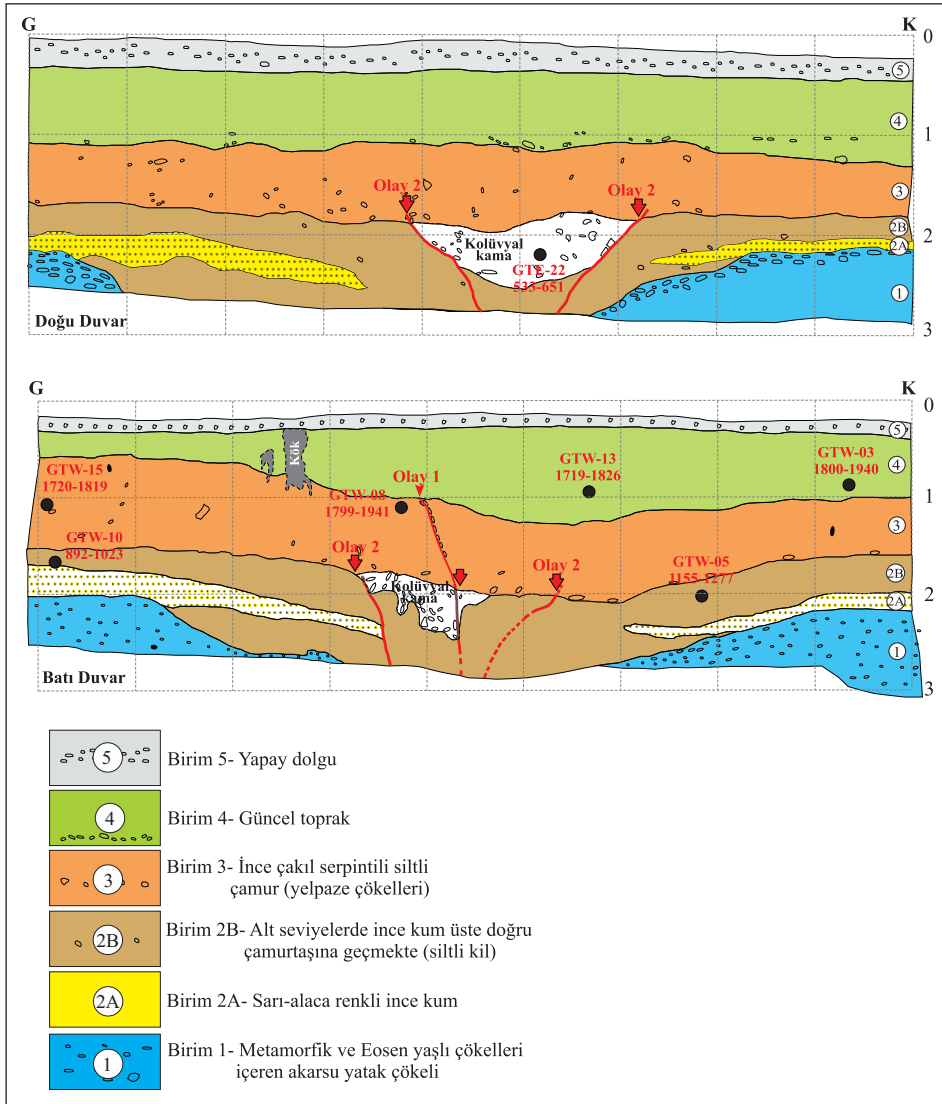
fay zonu üzerine inşa edilmiştir. İnsan etkinliği nedeniyle hendek alanı ve yakın çevresinin ilksel morfolojisi bozulmuştur. Bu nedenle hendek alanında fay hava fotoğraflarından haritalanabilmiştir. Hava fotoğraflarında fay izi oldukça belirgin olup güney blok topografik olarak yüksektir. Kazı alanı yakın çevresinde fay sağa sıçramalı alt parçalardan oluşan zonal bir yapı sergiler. Bu faylar Holosen alüvyon yelpazelerini keser. Terme hendeği faya dik olarak 10 m uzunluğunda ve 2 m genişliğinde açılmış ve hendekte alüvyon yelpazesi ve akarsu çökellerini kesen faylanmalara rastlanmıştır. Yer altı su seviyesinin yüksek olması nedeniyle hendek derinliği 2,80 metrede bırakılmıştır (Şekil 7).

#### 5.1.1. Hendek Stratigrafisi

Hendek duvarlarında üstte yelpaze altta ise akarsu çökelleri izlenmiştir. Hendek stratigrafisinde üstteki yapay dolgu hariç beş stratigrafik birim ayrılanmıştır (Şekil 7). Birimler arasında dört erozyonel yüzey bulunmaktadır. Tabanda, Karsak deresinin akarsu kanal çökelleri niteliğindeki kaba çakıl, çakıl, kaba kum ve kumdan oluşan Birim 1 yüzeyler. Derenin güncel kanalı, kazı alanının yaklaşık 50 metre kuzeyinde bulunmaktadır. Kuzey bloktaki hâkim litoloji çakıl olup, malzeme boyutu güney bloğa göre daha iridir. Güney bloкта ise kaba kum ve kum egemen olup, bu seviyeler seyrek olarak küçük kiremit ve tuğla parçaları içerir. Birimin üst yüzeyi aşınım oluğu şeklinde olup, en çukur bölümü fay çizgisine



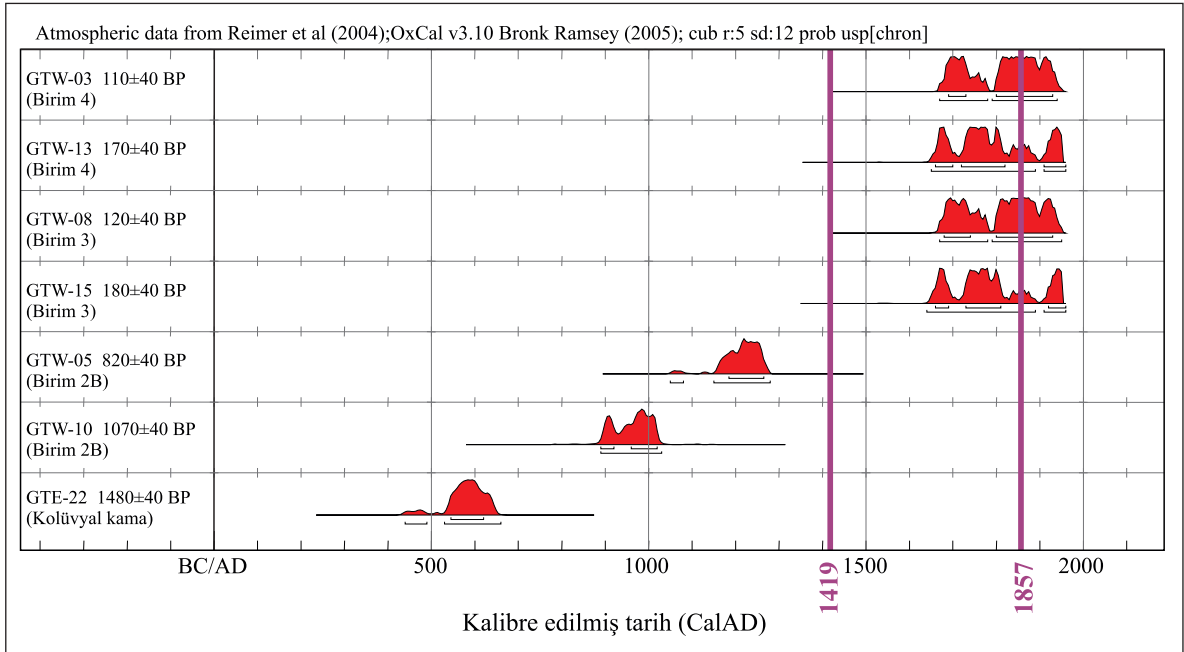
Şekil 6- Gemlik ve dolayının diri fay haritası ve Terme kazı alanının yeri (kontur aralığı 20 m'dir).



Şekil 7- Terme hendeğine ait loglar. Doğu duvar logu karşılaştırma amaçlı ters çevrilmiştir.

karşılık gelmektedir. Bu oluk olasılıkla çökelim sonrası akarsuya bağlı olarak gelişmiş bir erozyon kanalı olmasına rağmen en derin kesimi fay zonuna rastlamaktadır (Şekil 7). Birim 2, alttaki çakıllı seviye üzerine aşınımsal uyumsuzlukla gelir. Genelde silt ve siltli kilden (çamur) oluşan bu birimin tabanında sarı alacalı renkli iyi boylanmış orta-ince kum seviyesi yer alır. Kum seviyesi her iki duvarda da birimin hâkim litolojisi olan siltler içerisinde mercceklenir. Ancak batı duvarda fay tarafından kesilir. Siltli seviyeler seyrek olarak yarı yuvarlanmış küçük çakıllar ile az oranda küçük odun kömürü parçaları içerir. Birimin kumlu seviyesi akarsu yatağı, siltli bölümleri ise taşkın çökeli şeklinde depolanmıştır. Birimin üst seviyesinden alınan iki kömür örneğinden yapılan yaş tayini  $820 \pm 40$  (GÖ: Günümüz öncesi) ve  $1070 \pm 40$  (GÖ) sonuçlarını vermiştir (Çizelge 2, Şekil 8).

Bunlardan en genç örneğin kalibre edilmiş yaşı MS 1155 ile 1277 arasındadır (Çizelge 2). Her iki duvarda da Birim 2 ile 3 arasında gözlenen ve fay zonunda gelişmiş olan kolüvyal kama, doğu duvarında oluk şeklinde bir taban üzerinde yer alırken, batı duvarında çok düzensiz taban yüzeyi üzerine gelmektedir (Şekil 7). Birim 2'de siltler içerisinde kaotik bir depolanma gösteren kolüvyal kama içerisindeki çakıllar çok kötü boylanmış olup, yuvarlak, yarı yuvarlak ve köşeli çakıllardan oluşmaktadır. Batı duvardaki çakılların uzun eksenleri genelde düşey yöndedir. Kolüvyal kama Birim 2'yi kesen yüzey faylanmasının oluşturduğu mikrotopoğrafya içerisinde ani depolanma yoluyla gelişmiş bir fay kamasını temsil eder. Birimden alınan bir kömür örneğinden  $1480 \pm 40$  (GÖ) yaşı saptanmıştır (Çizelge 2). Ancak Birim 2'den daha yaşlı olan bu örnek taşınmış olmalıdır.



Şekil 8- Terme alanı hendeği için OxCal 3.10 Programı (Bronk Ramsey, 1998) kullanılarak radyokarbon yaşlarından (GÖ) elde edilen kalibre edilmiş C14 yaşlarının (Çizelge 2) olasılık dağılımı.

Çizelge 2- Terme hendeğinden derlenen örneklerle ait radyokarbon yaşları.

Örnek No	Laboratuvar No	Stratigrafik Birim	Malzeme	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	C14 Yaşı (BP)	Kalibre Edilmiş Yaş Dizisi (2 $\sigma$ )
GTW-03	GX-27285-AMS	Birim 4 (toprak)	kömür	-24.7	110 ± 40	MS 1677-1765 (.33) 1772-1776 (.007) <b>1800-1940 (.65)</b> 1951-1954 (.008) MS 1655-1707 (.19)
GTW-13	GX-27288-AMS	Birim 4 (toprak)	kömür	-25.6	170 ± 40	<b>1719-1826 (.49)</b> 1832-1886 (.13) 1912-1953 (.18) MS 1676-1777 (.37)
GTW-08	GX-27287-AMS	Birim 3 (silt-çamur)	kömür	-24.8	120 ± 40	<b>1799-1941 (.62)</b> 1951-1953 (.008) MS 1649-1706 (.21)
GTW-15	GX-27289-AMS	Birim 3 (silt-çamur)	kömür	-26.0	180 ± 40	<b>1720-1819 (.50)</b> 1824-1825 (.002) 1832-1883 (.10) 1914-1953 (.18)
GTW-05	GX-27286-AMS	Birim 2B (çamurtaşı)	kömür	-22.5	820 ± 40	MS 1058-1072 (.01) <b>1155-1277 (.98)</b>
GTW-10	GX-27454-AMS	Birim 2B (çamurtaşı)	kömür	-26.1	1070 ± 40	MS <b>892-1023 (1.0)</b>
GTE-22	GX-27455-AMS	Kolüvyal kama	kömür	-27.4	1480 ± 40	MS 441-455 (.01) 460-484 (.03) <b>533-651 (.95)</b>

C14 için Libby yarılanma ömrüne (5570 yıl) göre laboratuvar tarafından bildirilen tarihler. 2 $\sigma$  hataları Calib Rev. 5.0.1 (Stuiver and Reimer, 1993)'deki olasılıklara (.97 = %97) göre verilmiştir.

Birim 2 ve kolüvyal kama; Birim 3'ün taban dokanağı tarafından uyumsuz olarak üzerlenir. Birim 3, siyah-kahverengi, ince çakıl serpintili silt çamurundan oluşan alüvyon yelpazesi çökeli niteliğindedir. Birim, tabanında yer alan Birim 2 ve kolüvyal kamadan belirgin olmayan çakıl serpintili toprak (alterasyon) zonu ile ayrılabilmiştir. Birimin üst seviyeleri taşınmış denizel kavkılar, tuğla ve çömlek parçaları içermektedir. Bu seviyeden alınan iki odun kömürü örneğinden yapılan C14 analizinde 220 yıldan daha genç ( $180 \pm 40$  (GÖ) ve  $120 \pm 40$  (GÖ)) yaşlar elde edilmiştir. Bu birim üzerinde güncel toprak örtüsünü oluşturan, koyu siyah renkli, bol organik kırıntılı ve yer yer kalın kök izleri içeren Birim 4 yer alır. En üstteki bu toprak zonu tabanından C14 yöntemi ile 210 yıldan genç iki yaş ( $170 \pm 40$  (GÖ) ve  $110 \pm 40$  (GÖ)) elde edilmiştir (Çizelge 2).

### 5.1.2. Faylanma Olayları ve Yorumlanması

Henek duvarlarındaki tektono-stratigrafide iki faylanma olayı saptanmıştır. Fay geometrisi ve deformasyon yapıları faylanmanın doğrultu atımlı olduğunu açıklar. Ancak iki boyutlu olması nedeniyle hendekte bu iki faylanmaya ilişkin yanal yerdeğiştirme miktarı belirlenememiştir. Fayın doğrultusu hendek içerisinde D-B olup, yaklaşık 4 m genişlikte bir deformasyon zonu izlenmektedir. En son deprem (Olay 1) izi yalnızca hendeğin batı duvarında Birim 3 ile 4 arasında gözlenirken, doğu duvarda bu depreme ilişkin herhangi bir bulgu yoktur (Şekil 7). Bu durum doğu duvarın bir sıçrama alanına karşılık geldiğine yorumlanmıştır. Batı duvarda gözlenen Olay-1'e ilişkin faylanma bir önceki depremde gelişmiş kolüvyal kama ile Birim 2 ve 3'ü kesmekte ve en üstte yer alan güncel toprak tarafından örtülmektedir (Şekil 7). Fay tarafından ikiye ayrılan kolüvyal kamada fay izi net olarak gözlenmektedir. Bu olaya ilişkin faylanma Birim 2 ve 3 içerisinde makaslama zonuna yerleşmiş irili ufaklı çakıl dizilimi ile tanımlanabilmektedir. Kalibre edilmiş C14 yaşları bu olaya ilişkin fay tarafından kesilen Birim 3'ün üst seviyelerinin 18. ile 19. yüzyıllar arasında çökeldiğini göstermektedir (Şekil 7 ve 8, Çizelge 2). Buna göre, son depremin bu dönem içerisinde meydana geldiği söylenebilir. Bu sonuç, Gemlik Fayı'nın doğu kesimindeki son deprem için önerilen seramik parçalarından elde edilen arkeolojik yaşla (18. yüzyılın ortaları) uyumludur (Ikeda vd., 1991). Bu yüzey faylanması makrosismik olarak Gemlik yöresinde meydana geldiği önerilen 1857 (M:?) tarihsel depremi ile denestirilebilmektedir.

Bir önceki depreme (Olay 2) ilişkin faylanma ise hendeğin her iki duvarında izlenmiştir. Henek

stratigrafisinde bu olaya ilişkin faylar en alttaki iki birimi kesmekte, Birim 2 ile 3 tarafından ise üzerlenmektedir. Dolayısıyla birim 2 ve 3 arası olay horizonu olarak tanımlanmıştır. Fay zonunda her iki duvarda da gözlenen kolüvyon kaması gelişmiştir. Olay horizonu hendek stratigrafisinde erozyonal bir yüzeye karşılık gelir. Bu olaya ilişkin faylar ve kolüvyonal fay kaması erozyon yüzeyi tarafından aşındırılmıştır. Bu depremde gelişen deformasyon zonunun genişliği üstte 2 m dir ve alta doğru daralır. Güney duvarda bu olaya ilişkin faylar Birim 2'nin tabanında referans seviye konumundaki kum tabakasında belirgindir. Birim 2'den alınan en genç karbon örneğinden  $820 \pm 40$  (GÖ) yaşı elde edilmiştir. Kalibre edilmiş bu yaş takvim yılına göre MS 1155 ile 1277 yılları arasına tarihlenebilmektedir (Şekil 8, Çizelge 2). Yukarıda belirttiği gibi üstte yer alan Birim 3 ise 18-19. yüzyıla tarihlenmektedir. Kalibre edilmiş C14 yaşlarına göre bir önceki deprem (Olay-2) MS 13. ile 19. yüzyıllar arasına tarihlenebilmektedir.

Olay-2, makrosismik olarak KAF'nın Güney kolunun Gemlik Körfezi ile Dokurcun Vadisi arasında kalan kesiminde olduğu yorumlanan 1419 depremi ile karşılaştırılabilir (Ambraseys ve Finkel, 1991; Ambraseys ve Jackson, 1998; Ambraseys, 2002). 1419 depremine ilişkin yüzey faylanması Güney kolun İznik Segmenti üzerinde de paleosismolojik olarak kanıtlanmıştır (Honkura ve Işıkkara, 1991). Gemlik fayı üzerinde 13-18. yüzyıllar arası 1419 depremi dışında herhangi bir yıkıcı depreme ilişkin kayıt yoktur. Dolayısıyla Terme hendeğinde belirlenen Olay-2'ye ait yüzey faylanması 1419 depremi ile denestirilebilmektedir.

## 6. Tartışma ve Sonuçlar

Dokurcun Vadisinde KAF'nın ana kolundan ayrılan güney kol, Gemlik Körfezi'ne kadar yaklaşık 160 km uzunluğundadır. Bu alanda KAF'nın güney kolu Pamukova ve İznik çek-ayır havzalarının gelişmiş olduğu sağa sekmeli sıçramalar ile birbirinden ayrılan üç alt fay segmentinden oluşmaktadır. Uzunlukları 40 ile 57 km arasında değişen bu segmentler doğudan batıya doğru Geyve, İznik ve Gemlik faylarıdır. Gemlik segmenti üzerinde gerçekleştirilen Terme hendek çalışmalarının sonuçları ışığında tarihsel depremler ile paleosismolojik veriler birlikte değerlendirilmiş ve Güney kolun deprem tehlikesi yorumlanmıştır.

Terme hendek kazısından elde edilen bulgular 13. yüzyıl-Günümüz zaman aralığını kapsayan 600 yıllık zaman dilimi içinde Gemlik fayı üzerinde yüzey faylanması ile sonuçlanmış iki büyük deprem

meydana geldiğini açıklar. Radyometrik yaşlar fay üzerindeki en son yüzey faylanmasının 18-19, ikincisi yüzey faylanmasının ise 13-18 yüzyıllar arasına tarihlenmektedir. GTW-05 nolu örnek MS  $1216 \pm 61$  yılından sonra, GTW-15 nolu örnek ise MS  $1770 \pm 50$  yılından önce meydana gelmiş bir depremi işaret etmektedir. Bu veriye göre bir önceki depremin bu iki tarih arasında meydana geldiği söylenebilir. Tarihsel kayıtlara göre KAF'nın Güney kolunda bu dönemde 1296 ve 1419 tarihsel depremleri meydana gelmiştir (Çizelge 1). Soysal vd. (1981) ve Ambraseys (2002)'e göre 1296 depremi Geyve Segmentinden kaynaklanmıştır. İznik Segmenti üzerinde paleosismolojik kazılarda bu tanımlanan en son yüzey faylanması günümüzden 200-500 yıl arasına tarihlenmiş ve 1419 depremine karşılık geldiği yorumlanmıştır (Honkura ve Işıkkara, 1991). Gemlik fayında bu çalışmada tanımlanan Olay-1'e ilişkin yüzey faylanması da 1419 depremi ile deneştirilebilmektedir. Bu deneştirme 1419 depreminde İznik ve Gemlik faylarının her ikisinde de yüzey faylanmasının gelişmiş ve faylanmanın yaklaşık 95 km uzunlukta olduğunu açıklar. Yüzey kırığı uzunluğu ile deprem büyüklüğü arasındaki görgül (ampirik) bağıntılar kullanılarak 1419 depremi büyüklüğünün yaklaşık  $M_w: 7,3$  olduğu söylenebilmektedir (Wells ve Coppersmith, 1994). Bu yaklaşıma uyumlu olarak Ambraseys (2002), 1419 depreminin büyüklüğünü  $M_s: 7,2$  olarak vermektedir.

Terme hendeğinde belirlenen en son deprem, tarihsel kayıtlarda 19. yüzyılda Kemalpaşa-Bursa-Gemlik-İznik yöresinde 1850-1863 yılları arasında beş yıkıcı depremden oluşan deprem serisi içinde değerlendirilebilir. Bu deprem serisi Güney Marmara bölgesindeki aktif faylar üzerinde batıdan doğuya doğru ilerleyen bu seri 19 Nisan 1850, 28 Şubat 1855, 11 Nisan 1855, 17 Eylül 1857 ve 6 Kasım 1863 depremlerinden oluşur (Ambraseys ve Finkel, 1991; Ambraseys, 2002). Hasar dağılımına göre (Ambraseys ve Finkel, 1991), 19 Nisan 1850 depreminin Kemalpaşa, 28 Şubat 1855 depreminin Uluabat ve 11 Nisan 1855 depreminin ise normal fay nitelikli Bursa Fayı'ndan kaynaklanmış olması muhtemeldir. 1857 depremi hasarları ise Gemlik Fayı boyunca yoğunlaşmıştır. 1855 depremine kaynaklık eden Bursa fayı güneye içbükey bir aktif fay sisteminin apeksinde yer alır (Emre vd. 2011a, 2013). Gemlik fayı bu fayın tavan bloğunu yapısal olarak kuzeyden sınırlar. Bu ilişki nedeniyle Gemlik fayı üzerinde gelişen 1857 depreminin Bursa fayı üzerinde meydana gelmiş olan 1855 depremi tarafından tetiklenmiş olması muhtemeldir.

Gemlik Fayı'ndaki son iki deprem arasındaki tekrarlanma süresi 438 yıldır. En son depremden günümüze geçen süre ise İznik segmentinde 595, Geyve segmentinde ise 717 yıldır (Ikeda, 1988; Yoshioka ve Kuşçu, 1994). Bu durum KAF'nın güney kolu üzerindeki fay segmentlerin birbirlerinden farklı deprem dönüş periyotlarına sahip olduğunu açıklar. Ancak, 1419 depremi bu fay segmentlerinin aynı depremde birlikte kırılabildiklerini göstermektedir. Bu nedenle güney koldaki fay segmentlerinin karakteristik deprem davranışına sahip olmadıkları ileri sürülebilir. 5 mm/yıllık kayma hızı ve en son depremlerden günümüze geçen süre dikkate alındığında Geyve fayı üzerinde yaklaşık 3,5 m, İznik fayı üzerinde ise 3,0 m yerdeğiştirmeye karşılık gelen yamulma gerilimi olduğu söylenebilmektedir. 1999 depremleri sonrasında, KAF'da son yüzyıldaki doğudan batıya doğru deprem göçünün ana fay niteliğindeki Kuzey kol üzerinde devam edeceği öngörüsü ile Marmara Denizi kesiminde deprem tehlikesinin arttığı üzerine görüş birliği vardır. Ancak bu çalışmadaki bulgular KAF'nın Güney kolundaki fay segmentlerinin dönüş periyodu düzenli olmayan büyük depremler ürettiğine ve Güney kolun Kuzey kolda gelişen depremlere yakın veya eşdeğer büyüklükte deprem üretme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

### Katkı Belirtme

Bu çalışma, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından desteklenmiştir. Hendek kazılarında ve hendek sularının tahliyesinde Gemlik Belediyesi lojistik destek sağlamıştır. Adı geçen kurumlara ve yetkilileri ile makalenin geliştirilmesi yönünde yaptıkları eleştiri ve katkıları için hakemlere teşekkür ederiz.

Geliş Tarihi: 10.12.2012

Kabul Tarihi: 06.08.2013

Yayınlanma Tarihi: Aralık 2013

### Değinilen Belgeler

- Alpar, B. ve Çizmeçi, S. 1999. Seismic hazard assessment in the Gemlik Bay region following the 17 August Kocaeli Earthquake. *Turkish Journal of Marine Sciences* 5 (3), 149-166.
- Ambraseys, N.N. 1970. Some characteristic features of the North Anatolian Fault. *Tectonophysics* 9, 143-165.
- Ambraseys, N.N. 1988. Engineering seismology. *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 17, 1-105.
- Ambraseys, N.N. 2002. The seismic activity of the Marmara Sea region over the last 2000 years. *Bulletin of the Seismological Society of America* 92 (1), 1-18

- Ambraseys, N.N., Finkel, C.F. 1991. Long term seismicity of İstanbul and of the Marmara region. *Terra Nova* 3, 527-539.
- Ambraseys, N.N., Jackson, J.A. 1998. Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. *Geophysical Journal International* 133, 390-406.
- Ambraseys, N.N., Jackson, J.A. 2000. Seismicity of the sea of Marmara (Turkey) since 1500. *Geophysical Journal International* 141, F1-F6.
- Armijo, R., Meyer, B., Hubert, A., Barka, A. 1999. Westward propagation of the North Anatolian fault into the northern Aegean: Timing and kinematics. *Geology*, 27(3), 267-270.
- Armijo, R., Meyer, B., Navarro, S., King, G., Barka, A. 2002. Asymmetric slip partitioning in the Sea of Marmara pull-apart: a clue to propagation processes of the North Anatolian Fault? *Terra Nova* 14 (2), 80-86.
- Barka, A.A. 1992. The North Anatolian Fault. *Annales Tectonicae* 6, 174-195.
- Barka, A.A. 1997. Neotectonics of the Marmara region. In: Schindler, C., Pfister, M. (Eds.), Active Tectonics of Northwestern Anatolia-The Marmara Poly-Project, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 55-87.
- Barka, A.A., Kadinsky-Cade, K. 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics* 7 (3), 663-684.
- Barka, A.A., Kuşçu, İ. 1996. Extents of the North Anatolian Fault in the İzmit, Gemlik and Bandırma bays. *Turkish Journal of Marine Sciences* 2, 93-106.
- Bilgin, T. 1968. Samanlı Dağları. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları 50, 196 s.
- Bronk Ramsey, C. 1998. Radiocarbon Calibration and Analysis of Stratigraphy: the OxCal Program. *Radiocarbon*, 37, 425-430.
- Doğan, B., Tüysüz, O. 2011. Kuzey Anadolu Fay Sistemi Güney Kolunun Geyve-Gemlik arasındaki kesiminin tektonostratigrafik evrimi. *İtüdergisi/d, Mühendislik*, 10/4, 107-118.
- Emre, Ö., Awata, Y. 2003. Neotectonic characteristics of the North Anatolian Fault System in the eastern Marmara region. In: Emre, Ö., Awata, Y., Duman, T.Y. (Eds.), Surface Rupture Associated with the August 17, 1999 İzmit Earthquake. *General Directorate of Mineral Research and Exploration of Turkey, Special Publication Series: 1*, 31-39, Ankara.
- Emre, Ö., Erkal, T., Tchepalyga, A., Kazancı, N., Keçer, M., Ünay, E. 1998. Neogene-Quaternary evolution of the Eastern Marmara Region, Northwest Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 120, 119-145.
- Emre, Ö., Sugai, T., Doğan, A., Özalp, S., Okuno, M., Yıldırım, C., Masaaki, Y. 2002. Paleoseismological findings on the penultimate faulting of the Arifiye segment; 1999 İzmit earthquake, North Anatolian Fault. *Eos Transactions AGU* 83 (47), Fall Meet. Suppl., F1015.
- Emre, Ö., Doğan, A., Yıldırım, C., Şaroğlu, F. 2005. Active fault pattern and bend kinematics in NW Anatolia. International Symposium on the Geodynamics of Eastern Mediterranean: *Active Tectonics of the Aegean Region*, 15-18 June 2005, Kadir Has University, Abstracts, p. 98, İstanbul, Turkey.
- Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, S., Yıldırım, C. 2011a. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Bandırma (NK 35-11b) Paftası. *MTA 1:250.000 Ölçekli Diri Fay Haritaları Serisi*, Seri No: 3, 55 s., Ankara.
- Emre, Ö., Doğan, A., Duman, T.Y., Özalp, S. 2011b. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Bursa (NK 35-12) Paftası. Seri No: 9, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F., 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası, Ölçek 1:1.250.000, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi: 30*, 89 s., Ankara.
- Erdik, M., Demircioğlu, M., Sesetyan, K., Durukal, E., Siyahi, B. 2004. Earthquake hazard in Marmara Region. Turkey. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 605-631.
- Ergin, K., Güçlü, U., Uz, Z. 1967. Türkiye ve civarının deprem kataloğu (Milattan Sonra 11 yılından 1964 sonuna kadar). *İTÜ, Maden Fakültesi, Arz Fiziği Enstitüsü Yayınları*, No: 24, 169s.
- Ergin, M., Özalaybey, S., Aktar, M.T., Tapırdamaz, C., Yörük, A., Biçmen, F. 2000. Aftershock analysis of the August 17, 1999 İzmit, Turkey, Earthquake. In: Barka, A., Kozacı, Ö., Akyüz, S., Altunel, E. (Eds.), The 1999 İzmit and Düzce earthquakes: preliminary results, *İstanbul Technical Univ. Press*, İstanbul, pp. 171-178.
- Eyidoğan, H., Haessler, H., Polat, O., Cisternas, A., Gürbüz, C., Frogneux, M., Aktar, M., Üçer, B., Bouchon, M., Comte, D., Philip, H., Kaypak, B., Ergin, M., Karabulut, H., Akıncı, A., Kuleli, S., Yörük, A. 2000. August 17, 1999, Kocaeli (İzmit) Earthquake: before, during and after. In: Barka, A., Kozacı, Ö., Akyüz, S., Altunel, E. (Eds.), The 1999 İzmit and Düzce earthquakes: preliminary results, *İstanbul Technical Univ. Press*, İstanbul, pp. 161-169.
- Guidoboni, E., Comastri, A., Traina, G. 1994. Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th century. Istituto Nazionale di Geofisica, Roma, 502 pp.
- Hartleb, R.D., Dolan, J.F., Akyüz, H.S., Yerli, B., 2003. A 2000-Year-Long Paleoseismologic Record of Earthquakes along the Central North Anatolian Fault, from Trenches at Alayurt, Turkey. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93, 5, 1935-1954.
- Hartleb, R.D., Dolan, J.F., Kozacı, Ö., Akyüz, H.S., Seitz, G.G., 2006. A 2500-yr-long paleoseismologic record of large, infrequent earthquakes on the North Anatolian fault at Çukurçimen, Turkey. *GSA Bulletin*, 118, 7/8, 823-840.

- Honkura, Y., Işıkara, A.M. 1991. Multidisciplinary research on fault activity in the western part of the North Anatolian Fault Zone. *Tectonophysics*, 193, 347-357.
- Ikeda, Y. 1988. Geomorphological observations of the North Anatolian fault, west of Mudurnu. In: Honkura, Y., Işıkara, A.M. (Eds.), Multidisciplinary research on fault activity in the western part of the North Anatolian fault zone. Tokyo Institute of *Technology*, Tokyo, pp. 6-14.
- Ikeda, Y., Suzuki, Y., Herece, E. 1989. Late Holocene activity of the North Anatolian fault zone in the Orhangazi plain, Northwestern Turkey. In: Honkura, Y., Işıkara, A.M. (Eds.), Multidisciplinary research on fault activity in the western part of the North Anatolian fault zone (2). Tokyo Institute of *Technology*, Tokyo, pp. 16-30.
- Ikeda, Y., Suzuki, Y., Herece, E., Şaroğlu, F., Işıkara, A.M., Honkura, Y. 1991. Geological evidence for the last two faulting events on the North Anatolian Fault Zone in the Mudurnu Valley, Western Turkey. *Tectonophysics*, 193, 335-345.
- Ito, A., Üçer, B., Barış, S., Nakamura, A., Honkura, Y., Kono, T., Hori, S., Hasegawa, A., Pektaş, R., Işıkara, A.M. 2002. Aftershock activity of the 1999 İzmit, Turkey, earthquake revealed from microearthquake observations. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92 (1), 418-427.
- Jackson, J., McKenzie, D.P. 1984. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey and Pakistan. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 77, 185-264.
- Kalafat, D., Güneş, Y., Kekovalı, K., Kara, M., Deniz, P., Yılmaz, M. 2011. Bütünleştirilmiş Homojen Türkiye Deprem Kataloğu (1900-2010);  $M \geq 4.0$ . Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Yayın No: 1049, 640 s., Bebek-İstanbul.
- Ketin, İ. 1948. Über die tektonisch-mechanischen Folgerungen aus den grossen anadoluischen Erdbeben des letzten Dezenniums. *Geol. Rundsch.*, 36, 77-83.
- Ketin, İ. 1957. Kuzey Anadolu Deprem Fayı. *İTÜ Derg.*, 15, 49-52
- Koçyiğit, A. 1988. Tectonic setting of the Geyve basin: age and total displacement of Geyve fault zone. *METU Pure Appl. Sci.*, 21, 81-104.
- Koçyiğit, A., Özacar, A.A. 2003. Extensional Neotectonic Regime through the NE edge of the outer Isparta Angle, SW Turkey: new field and seismic data. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 12 (1), 67-90.
- Kozacı, Ö., Dolan, J.F., Finkel, R.C., 2009. A late Holocene slip rate for the central North Anatolian fault, at Tahtaköprü, Turkey, from cosmogenic  $^{10}\text{Be}$  geochronology: Implications for fault loading and strain release rates. *Journal of Geophysical Research*, 114, B01405.
- Kozacı, Ö., Dolan, J.F., Yönlü, Ö., Hartleb, R.D., 2011. Paleoseismologic evidence for the relatively regular recurrence of infrequent, large-magnitude earthquakes on the eastern North Anatolian fault at Yaylabeli, Turkey. *Lithosphere*, 3, 37-54.
- Kurtuluş, C., Canbay, M.M. 2007. Tracing the middle strand of the North Anatolian Fault Zone through the southern Sea of Marmara based on seismic reflection studies. *Geo-Mar Lett*, 27, 27-40.
- Kuşçu, İ., Okamura, M., Matsuoka, H., Yamamori, K., Awata, Y., Özalp, S. 2009. Recognition of Active Faults and Stepover Geometry in Gemlik Bay, Sea of Marmara, NW Turkey. *Marine Geology*, 260, 90-101.
- Langridge, R. M., Stenner, H. D., Fumal, T. E., Christofferson, S. A., Rockwell, T. K., Hartleb, R. D., Bachhuber, J., Barka, A. A. 2002. Geometry, slip distribution, and kinematics of surface rupture on the Sakarya fault segment during the 17 August 1999 İzmit earthquake, Turkey. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 92, 1, 107-125.
- McClusky, S., Reilinger, R., Mahmoud, S., Ben Sari, D., Tealeb, A. 2003. GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motions. *Geophys. J. Int.*, 155, 126-138.
- McKenzie, D. 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109-195.
- McKenzie, D. 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt: The Aegean Sea and surrounding regions. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 55, 217-254.
- Meade, B.J., Hager, B.H., McClusky, S.C., Reilinger, R.E., Ergintav, S., Lenk, O., Barka, A., Özener, H. 2002. Estimates of seismic potential in the Marmara region from block models of secular deformation constrained by GPS measurements. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 92(1), 208-215.
- Okamura, M., Matsuoka, H., Kuşçu, İ., Özalp, S., Kinjo, S., Yamamori, K., Awata, Y. 2003. Submarine faults activities in the Gulf of İzmit and Gemlik Bay, NW Turkey: high-resolution shallow seismic survey and earthquake recurrence studies. *Eos Transactions AGU* 84 (46), Fall Meet. Suppl., F1367.
- Okay, A.İ., Kaşlılar-Özcan, A., İmren, C., Boztepe-Güney, A., Demirbağ, E., Kuşçu, İ. 2000. Active faults and evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, northwest Turkey: a multichannel seismic reflection study. *Tectonophysics*, 321, 189-218.
- Özaksoy, V., Emre, Ö., Yıldırım, C., Doğan, A., Özalp, S., Tokay, F., 2010. Sedimentary record of Late Holocene seismicity and uplift of Hersek restraining-bend along the North Anatolian Fault in the Gulf of İzmit. *Tectonophysics*, 487, 33-45.
- Özalaybey, S., Ergin, M., Aktar, M., Tapırdamaz, C., Biçmen, F., Yörük, A. 2002. The 1999 İzmit earthquake sequence in Turkey: Seismological and tectonic aspects. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92 (1), 376-386.
- Özalp, S., Kuşçu, İ., Okamura, M., Matsuoka, H., Yamamori, K., Nakaido, T., Özer, C., Emre, Ö.

2002. Gemlik Körfezindeki Aktif Faylar-Ön Bulgular. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu Altıncı Toplantısı* (ATAG-6), 21-22 Kasım 2002, Bildiri Özleri, s.63, Ankara.
- Özalp, S., Doğan, A., Emre, Ö. 2003. The last two faulting events on the southern strand of the North Anatolian Fault Zone, NW Turkey. *Eos Transactions AGU* 84 (46), Fall Meet. Suppl., F1003.
- Öztürk, K., Yaltrak, C., Alpar, B. 2009. The Relationship Between the Tectonic Setting of the Lake İznik Basin and the Middle Strand of the North Anatolian Fault. *Turkish J. Earth Sci.*, 18, 209–224.
- Parsons, T., Toda, S., Stein, R.S., Barka, A., Dieterich, J.H. 2000. Heightened Odds of Large Earthquakes Near Istanbul: An Interaction-Based Probability Calculation. *Science*, 288, 661-665.
- Pınar, N., Lahn, E. 1952. Türkiye depremleri izahlı kataloğu. *Bayındırlık Bakanlığı, Yapı ve İmar İşleri Reisliği Yayınları*, 6, 36, 153s, Ankara.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrova, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G. 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research*, 111, B05411.
- Rockwell, T., Barka, A., Dawson, T., Akyüz, S., Thorup, K., 2001. Paleoseismology of the Gaziköy-Saros segment of the North Anatolia fault, northwestern Turkey: Comparison of the historical and paleoseismic records, implications of regional seismic hazard, and models of earthquake recurrence. *Journal of Seismology*, 5, 433-448.
- Rockwell, T., Ragona, D., Seitz G., Langridge, R., Aksoy, M.E., Uçarkuş, G., Ferry, M., Meltzner, A.J., Klinger, Y., Meghraoui, M., Şatır, D., Barka, A., Akbalık, B. 2009. Palaeoseismology of the North Anatolian Fault near the Marmara Sea: implications for fault segmentation and seismic hazard. In: Reicherter, K., Michetti, A.M. & Silva, P.G. (eds) Palaeoseismology: Historical and Prehistorical Records of Earthquake Ground Effects for Seismic Hazard Assessment. *The Geological Society, London, Special Publications*, 316, 31–54.
- Sipahioğlu, S., Matsuda, T. 1986. Geology and Quaternary fault in the İznik-Mekece area. In: Işıkara, A.M., Honkura, Y., (Eds.), *Electric and Magnetic Research on Active Faults in the North Anatolian Fault Zone*. Tokyo Institute of Technology, Tokyo, pp. 25-41.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok, Y. 1981. Türkiye ve çevresinin tarihsel deprem kataloğu, M.Ö. 2100 – M.S. 1900. TÜBİTAK Proje No. TBAG 341, İstanbul, 87s.
- Stein, R.S., Dieterich, J.H., Barka, A.A. 1996. Role of stress triggering in earthquake migration on the North Anatolian Fault. *Phys. Chem. Earth*, 21 (4), 225-230.
- Stuiver, M., Reimer, P.J. 1993. Extended 14C database and revised CALIB radiocarbon calibration program. *Radiocarbon*, 35, 215-230.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A. 1987. Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri. *MTA Genel Müdürlüğü*, Rapor No: 8174, Ankara, 394s (yayımlanmamış).
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ. 1992. Türkiye Diri Fay Haritası. *MTA Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Şengör, A.M.C. 1979. The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance. *J. Geol. Soc. London*, 136, 269–282.
- Şengör, A.M.C. 1980. Türkiye'nin neotektoniğinin esasları. *Türkiye Jeol. Kur. Yayl.*, 40s.
- 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 *Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation*, edited by K. T. Biddle and N. Christie-Blick, *Spec. Publ. Soc. Econ. Paleontol. Mineral.*, 37, 227–264.
- Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakınç, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X., Rangin, C. 2005. The North Anatolian Fault: A new look. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 33, 37-112.
- Tan, O., Tapırdamaz, M.C., Yörük, A. 2008. The earthquake catalogues for Turkey. *Turk. J. Earth Sci.*, 17, 405-418.
- Tanoğlu, A., Erinc, S. 1956. Garsak Boğazı ve Eski Sakarya. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 4 (7), 17-30.
- Taymaz, T. 2000. Seismotectonics of the Marmara region: Source characteristics of 1999 Gölçük-Sapanca-Düzce earthquakes. In: Barka, A., Kozacı, Ö., Akyüz, S., Altunel, E. (Eds.), *The 1999 İzmit and Düzce earthquakes: preliminary results*. *İstanbul Technical Univ. Press*, İstanbul, pp. 79-97.
- Taymaz, T., Jackson, J.A., McKenzie, D. 1991. Active tectonics of the North and Central Aegean Sea. *Geophysical Journal International*, 106, 433-490.
- Toda, S., Tsutsumi, H., Duman, T.Y., Emre, Ö., Okuno, M., Özalp, S., Doğan, A., Haraguchi, T., Kondo, H., Sugito, N., Nakamura, T., Parlak, O., Çıplak, R. 2001. Recurrence Interval of the İzmit-Type Earthquakes along the Western North Anatolian. *Eos Transactions AGU* 82 (47), *Fall Meet. Suppl.*, F929.
- Toksöz, M.N., Shakal, A.F., Michael, A.J. 1979. Space-time migration of earthquakes along the North Anatolian Fault zone and seismic gaps. *Pure and Applied Geophysics*, 117, 1258-1270.
- Tsukuda, E., Herece, E., Kuşçu, İ. 1988. Some geological evidence on activity of the western North Anatolian fault, Geyve, İznik, Gemlik area, research on Quaternary crustal movement and earthquake



- prediction. *Report of International Research and Development Cooperation ITIT Project*, 8513, Tokyo, pp. 69-91.
- Uçarkuş, G. 2002. Gemlik Fay Zonu'nun Aktif Tektoniği. İstanbul Teknik Üniv., Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 82 s.
- Utkucu, M., Budakoğlu, E., Durmuş, H. 2011. Marmara Bölgesinde (KB Türkiye) Depremsellik ve Deprem Tehlikesi Üzerine Bir Tartışma. *Yerbilimleri*, 32 (3), 187-211.
- Üçer, B., Eyidoğan, H., Gürbüz, C., Barka, A., Barış, Ş. 1997. Seismic investigations of Marmara region. In: Schindler, C., Pfister, M. (Eds.), *Active Tectonics of Northwestern Anatolia-The Marmara Poly-Project*, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, pp. 89-99.
- Wells, D., Coppersmith, K. 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 974-1002.
- Yaltrak, C., Alpar, B. 2002. Evolution of the middle strand of North Anatolian Fault and shallow seismic investigation of the southeastern Marmara Sea (Gemlik Bay). *Marine Geology*, 190 (1-2), 307-327.
- Yıldırım, C., Emre, Ö. 2004. Drainage evolution along the North Anatolian Fault zone, Eastern Marmara-Turkey. Geological Society of America (GSA), Denver Annual Meeting, 7-10 November 2004, Abstracts with Programs, 36 (5), 51, Denver, Colorado, USA.
- Yoshioka, T., Kuşçu, İ. 1994. Late Holocene faulting events on the İznik-Mekece fault in the western part of the North Anatolian fault zone, Turkey. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 45 (11), 677-685.