



Ganos Fayı Boyunca Geç Senozoyik Yaşlı Gerilme Durumları, KB Türkiye

Late Cenozoic Stress States along the Ganos Fault, NW Turkey

Seray ÇINAR YILDIZ¹, Süha ÖZDEN², Salih Zeki TUTKUN², Özkan ATEŞ²,
Selda ALTUNCU POYRAZ³, Sevinç KAPAN YEŞİLYURT², Öznur KARACA²

¹Kayserili Ahmet Paşa Caddesi, 27/1, Çanakkale, seraycinar@gmail.com

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 17100, Çanakkale

³Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Merkezi,
Ulusal Deprem İzleme Merkezi, Çengelköy, İstanbul

ÖZ

Son defa 1912 yılında, magnitüdü 7.3 (Ms) olan bir depremle hareket eden Ganos Fayı; K70°D doğrultulu sağ yanal doğrultu atımlı bir fay olarak, Gaziköy (Tekirdağ) ile Saros Körfezi arasında uzanmaktadır. Bu çalışmada; Ganos Fayı boyunca fay topluluklarının kinematik analizi, depremlerin odak mekanizması ters çözümleri ve uydu görüntüleri üzerinde uzaktan algılama çalışmalarıyla; Ganos Fayı ve bölgedeki Geç Senozoyik yaşlı gerilme durumları belirlenmiştir. Fay boyunca birbirleriyle uyumlu faylanma mekanizmalarıyla bir ana tektonik rejimin varlığı saptanmıştır. Bu faylanmalardan ilki, KB-GD yönlü sıkışma ve KD-GB yönlü açılma eksenini ile karakterize olan doğrultu atımlı faylanmadır. En büyük asal gerilme eksenini (σ_1) $130^\circ \pm 16^\circ$ ve en küçük asal gerilme eksenini (σ_3) $53^\circ \pm 13^\circ$ olarak belirlenmiş ve Rm oranı 0.49 olarak hesaplanmıştır. Bu faylanma ile uyumlu, eş zamanlı ve KD-GB doğrultulu açılma eksenini ile temsil edilen (σ_1 düşey yöndedir) lokal normal faylanmalar da belirlenmiştir. KD-GB yönlü açılma ile oluşan bu fayların kinematik analiz sonucunda en küçük asal gerilme eksenini (σ_3) $28^\circ \pm 18^\circ$ ile temsil edilmektedir. Ganos Fayı ve yakın çevresinde 2003-2010 yılları arasında meydana gelmiş ($M \geq 3.3$) 12 adet depremin odak mekanizması ters çözümleri yapılmıştır. Bu çözümler üzerinden yapılan ortak ters çözüme göre; KB-GD yönlü sıkışma ve KD-GB yönlü açılma eksenleri ile karakterize olan doğrultu atımlı faylanmanın günümüzde de etkin olduğu görülmektedir. Günümüzde etkin tektonik rejim için hesaplanan, en büyük asal gerilme eksenini (σ_1) ve en küçük asal gerilme eksenini (σ_3) sırasıyla $276^\circ \pm 7^\circ$ ve $6^\circ \pm 6^\circ$ dir. Rm oranı da 0.44 olarak hesaplanmıştır. Gerek fayların kinematik analizi, gerekse deprem odak mekanizmalarının ters çözüm işlemi sonucunda elde edilen Rm oranlarının 0.5'den küçük olması, Ganos Fayı'nın geçmişte ve günümüzde transtansiyonel bir fay olarak çalıştığını göstermektedir. Uzaktan algılama yöntemiyle uydu görüntüleri üzerinde yapılan çizgisellik analizi çalışmalarında; 223 adet çizgisellik belirlenmiş ve bu çizgiselliklerin çoğunlukla Ganos Fayına paralel oldukları gözlenmiştir; Ganos Fayı; aktif sağ yanal doğrultu atımlı bir faydır ve Geç Pliyosen'den beri çalışmaktadır.

Anahtar Kelimeler: 1912 Mürefte depremi, deprem odak mekanizması, Ganos fayı, kinematik, ters çözüm, uzaktan algılama.

ABSTRACT

The Ganos Fault, has a big earthquake (Ms:7.3 in 1912), as a right-lateral strike-slip fault, a segment of the northern strand of the North Anatolian Fault is elongated a N70°E trend in west of the Marmara Sea between Gaziköy (Tekirdağ) and Saros Gulf. This study reveals at late Cenozoic stress states by the fault kinematic analysis, inversion of the earthquakes focal mechanism and remote sensing studies along the Ganos Fault. Result of the kinematics analysis was carried out a main tectonic regime.. First mainly strike-slip faulting developed under NW-SE trending compressional direction showing by a (σ_1) 130°±16° and a (σ_2) 53°±13° trends and Rm ration calculated as 0.49. Secondly and consistent with first faulting, a NE-SW trending concurrent extensional direction produce a local normal faulting presented by a (σ_3) 28°±18° trend in horizontal plane. Furthermore, between 2003 and 2010 years, bigger than M=3.3, 12 earthquakes on Ganos Fault and its vicinity, determined the focal mechanisms and inversion analysis results indicate that a strike-slip faulting is active along the fault. In the inversion of the earthquakes, a strike-slip faulting presented a (σ_1) N 276°±7° and (σ_2) N 6°±6° trends and Rm ration calculated as 0.44. This result is consistent with the results of fault kinematic analysis and offer as a transtensional character along the fault. According to rose diagram that was generated by remote sensing lineament analysis. Determined 223 lineaments have mainly parallel to the Ganos Fault. The stress states from remote sensing studies are consistent both fault kinematic analysis and inversion of the earthquakes focal mechanism results. Ganos Fault is an active strike-slip fault by the transtensional character since Late Pliocene.

Keywords: 1912 Mürefte earthquake, focal mechanism, Ganos fault, inversion, kinematics, remote sensing.

GİRİŞ

Yerkabuğu ölçeğinde uzanan aktif faylar boyunca gelişen deformasyonlar, o bölge ve yakın civarında gelişen bölgesel tektonik rejimlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu rejimlerin türleri, zamanları ve zamansal değişimleri; faylar boyunca mostra koşullarının izin verdiği yerlerde ölçülen fay düzlemleri ve deprem verilerinden elde edilebilmektedir. Bununla birlikte aktif fayların gidişleri; detaylı haritalama ve uydu görüntülerinden elde edilen çizgiselliklerle de belirlenebilmektedir. Ganos Fayı boyunca; Kuzey Anadolu Fayı'nın en batı segmentinin geçtiği bölgenin, Geç Senozoyik'ten günümüze kadar olan davranış biçimini belirlemek için birden çok metod birlikte kullanılarak yapılan bu çalışmada;

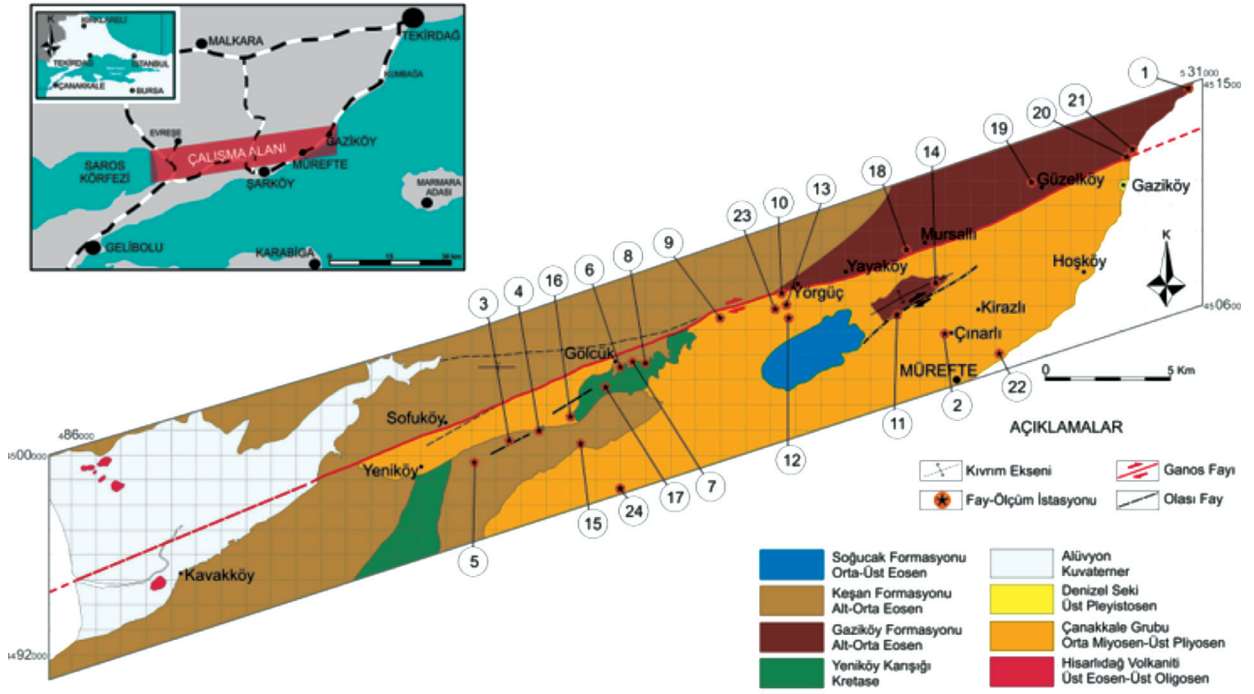
haritalama, fay topluluklarının kinematik analizi, depremlerin odak mekanizması ters çözümleri ve uydu görüntülerinden elde edilen çizgisellikler kullanılmıştır.

ÇALIŞMA SAHASININ JEOLJİSİ, AKTİF TEKTONİĞİ VE DEPREMSELLİĞİ

Çalışma sahası jeolojik olarak Trakya Havzası'nın güney kesiminde yer almaktadır (Şekil 1). Bölgede temeli, Kretase yaşlı ofiyolitik, metaofiyolitik ve metamorfik kayalarla temsil edilen Yeniköy Karışığı (Şentürk ve Okay, 1984; Erol, 2003) oluşturmaktadır. Bu temel üzerine bir açısız uyumsuzlukla, Istranca Dağları güney eteklerinden başlayarak mostra veren ve hemen hemen

tüm Trakya bölgesini kapsayan, bir Tersiyer istif gelirken, yaklaşık 9000 m. kalınlığa erişmektedir (Kopp vd., 1969; Saltık, 1974; Kasar vd., 1983; Turgut vd., 1983, 1991; Saner, 1985; Sümengen vd., 1987; Sümengen ve Terlemez, 1991; Ercan, 1992; Yaltrak, 1995; Görür ve Okay, 1996; Tapırdamaz ve Yaltrak, 1996; Tüysüz vd., 1998; Turgut ve Eseller, 2000, Siyako, 2006). İstif, Alt-Orta Eosen yaşlı türbiditik çökellerin oluşturduğu Gaziköy Formasyonu (Turkse Shell, 1972) ile başlamaktadır. Bu birim, Alt-Orta Eosen yaşlı türbiditik çökellerden meydana gelen Keşan Formasyonu (Gökçen, 1967) tarafından üzerlenmektedir. Orta-Üst Eosen yaşlı kireçtaşlarının oluşturduğu Soğucak Formasyonu (Holmes, 1961) ile devam eden çökeller, Üst Eosen-Üst Oligosen yaşlı andezitik bileşimli volkanik kayalardan oluşan Hisarlıdağ Volkanitleri (Sümengen vd., 1987) tarafından kesilmektedir. Paleojen dönemine ait bu kayalar üzerinde açılmal uyumsuzlukla yer alan, Neojen yaşlı Gazhanedere ve Kirazlı Formasyonlarının (Saltık, 1974; Şentürk ve Karaköse, 1987) oluşturduğu Çanakkale Grubu, Orta-Üst Miyosen yaşlı kumtaşı, çakıltası, kıltaşı ve çamurtaşlarıyla gelmektedir. Bu çalışmada; Kirazlı Formasyonunda gözlenen *Avimactra venjukovi* (Andrussow), *Avimactra ososkovi* (Andrussow), *Avimactra karabugasica* (Andrussow), *Avimactra subcaspia* (Andrussow) türleri ile Geç Pliyosen (Akçagiliyen) yaşı öngörülmüştür. Buna göre Çanakkale Grubu'nun, Orta Miyosen-Üst Pliyosen yaş aralığını temsil ettiği söylenebilir. İstif, Üst Pleyistosen yaşlı Denizel Taraçalar (Gutzwiller, 1923; Sakıncı ve Yaltrak, 1997) ve Kuvaterner yaşlı Alüvyon ile son bulmaktadır (Şekil 1).

Çalışma sahasının Kretase'den günümüze kadar olan yapısal evrimi, asıl olarak sıkışma rejimi altında gelişmiştir. Bunun sonucu olarak, Eosen yaşlı birimlerde büyük ölçekli kıvrımlar ve doğrultu atımlı faylar gelişmiştir (Şekil 1). Kuzey Anadolu Fayının kuzey kolunun en batı segmentini oluşturan Ganos Fayı, Kretase'den Kuvaterner'e kadar olan tüm birimleri keserken, yaklaşık K70°D doğrultu olarak uzanmaktadır (Şengör, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör vd., 1985; 2004; Barka, 1992; Şaroğlu vd., 1992; Yaltrak vd., 1998; Yaltrak ve Alpar, 2002; Herece ve Akay, 2003; Altunel vd., 2004). Gaziköy'den itibaren karada gözlenen Ganos Fayı; Güzelköy, Mursallı, Yayaköy ve Yörgüç köylerinin güneyinden geçerek Gölcük'e uzanmaktadır. Gölcük içerisinde batıya doğru Sofuköy'ün güney yamaçlarından, Demirci Göleti'ne kadar devam etmektedir. Demirci Göleti, bir çöküntü gölü (sag pond) görünümündedir. Göletin batısında benzer doğrultuda gözlenen Ganos Fayı, buradan Saros Körfezi'ne ulaşmaktadır (Şekil 1). Armijo vd. (1999), Marmara Denizi'nin batısından Saros Körfezi'ni kat eden Ganos Fayı'ndaki toplam atımı, 70-85 km olarak saptamışlar ve yer değiştirmenin başlaması ile ilgili 5-7 milyon yıllık bir yaş önermişlerdir. Yaltrak vd. (2000) palinspastik olarak bölgeyi modellerken GPS vektörlerini yapı denetimli olarak dikkate alarak Ganos Fayı'nın son aktivitesine ait başlangıç yaşını; 3,4-3,7 milyon yıl arasında, Ganos Fayı boyunca belirlenen GPS hızlarına göre beklenmesi gereken atımı ise, 57-63 km arasında değişen bir miktarda olduğunu öne sürmüşlerdir.



Şekil 1. Çalışma sahasının jeoloji haritası ve fay ölçüm istasyonları.

Figure 1. Geological map of the study area and fault measurement sites.

Biga Yarımadası ile özelde Ganos Fayı ve çevresi, depremsellik açısından aktif bir alanı oluşturmaktadır (Ergin vd., 1967; McKenzie, 1978; Kalafat, 1989; Siyako vd., 1989; Ambraseys and Finkel, 1991; Taymaz vd., 1991). Bu bölgede tarihsel deprem kayıtları açısından KAF'ın kuzey kolu üzerindeki etkinliğe bağlı olarak oldukça çok deprem vardır. Tarihsel dönem verilerine göre; 542, 824, 1063, 1343, 1344, 1354, 1542 ve 1766 yıllarındaki depremler ($M > 6$) bölgenin aktivitesine işaret etmektedir (Ambraseys ve Finkel, 1987; 1991; Ambraseys, 2002). Ganos Fayı üzerinde yapılan son paleosismolojik çalışmalara göre; büyük deprem tekrarlanma aralığı, 323 ± 142 yıl civarındadır (Meghraoui vd., 2012) ve bölgede 17-18 mm/yıllık bir hareket hızı saptanmıştır (Rockwell vd., 2001; Meghraoui vd., 2012). Fay boyunca mikrotopografya çalışmaları sonucu, batıdaki bir dere yatağında $10,75 \pm 0,5$ m sağ yanal

öteleme ölçülürken, fay tarafından biçilen bir sırtta 29 ± 1 m sağ yanal öteleme tespit edilmiştir (Aksoy vd., 2010).

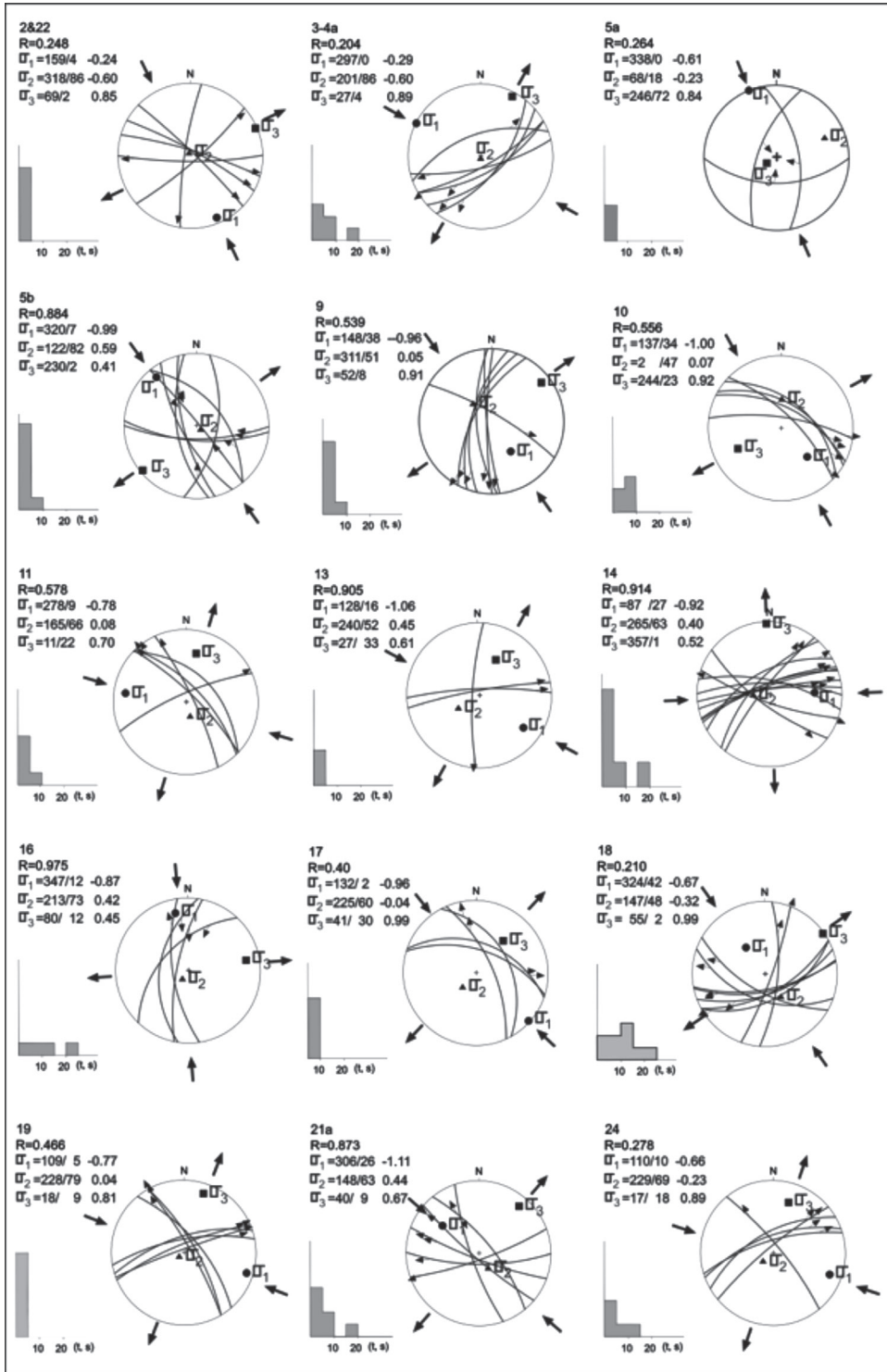
Tarihsel depremlerin yanı sıra, aletsel dönemde kaydedilen depremler de aktif hatları izlemektedir. Aletsel dönemde ise bölgede meydana gelen en önemli deprem, 9 Ağustos 1912 tarihli Mürefte-Şarköy depremidir. 26-27 Temmuz 1912 (1328) tarihinde, gece saat 3'te meydana gelen deprem, Mürefte ve Şarköy civarı ile Tekirdağ, Gelibolu ve Çanakkale'yi etkilemiştir. Bu depremin sebep olduğu hasarlar ve can kayıpları, Doktor Yüzbaşı M. Sadi tarafından 28 Ağustos 1912 (1328) tarihinde yazılan, "Marmara Havzası'nın 26-27 Temmuz 1328 (1912) hareket-i arzının esbabı" adlı yazısında yer almaktadır. Bu yazıda, deprem esnasında kuvvetli uğultu ile gürültülerin olduğu ve minarelerin, evlerin, saat kulelerinin yıkıldığı ve yangınların çıktığı

aktarılmaktadır. Artçı depremlerin bir buçuk ay süreyle devam ettiği belirtilmiştir. Mürefte-Şarköy köylerinde bulunan dağlar arasındaki vadilerde 50 cm genişliğinde, 20-30 m uzunluğunda bir çok yarık olduğu yazar tarafından gözlenmiştir. Yazıda bir de Fransızca İstanbul Gazetesi'nin haberine yer verilerek, Mürefte Köyü'nde 400 m uzunluğunda ve 5 m derinliğinde bir çatlağın geliştiği aktarılmaktadır. 1912 depremiyle birlikte Marmara'daki heyelanlar boyunca Tsunami de oluştuğu tespit edilmiştir (Altınok vd., 2003). Bu depremde, 3.736 adet evin 3.382 tanesi yıkılmış, 22.705 kişiden 707 kişi hayatını kaybetmiş ve 343 kişi ağır yaralanmıştır. Aynı zamanda İstanbul'da bulunan Haydarpaşa Garı'nın saat kulesi ile Çanakkale sahilinde bulunan Yunan Konsolosluğu'nda da hasar meydana geldiği tespit edilmiştir. 9 Ağustos 1912 (Mw=7.4) ve 13 Eylül 1912 (Mw=6.8) depremlerinin, 1.5-5.5 m arasında değişen yer değiştirmeleri olduğu belirlenirken, kosismik fay atımları ve fay segmentasyonu ile tarihsel sismik kayıtların beraber analizleri

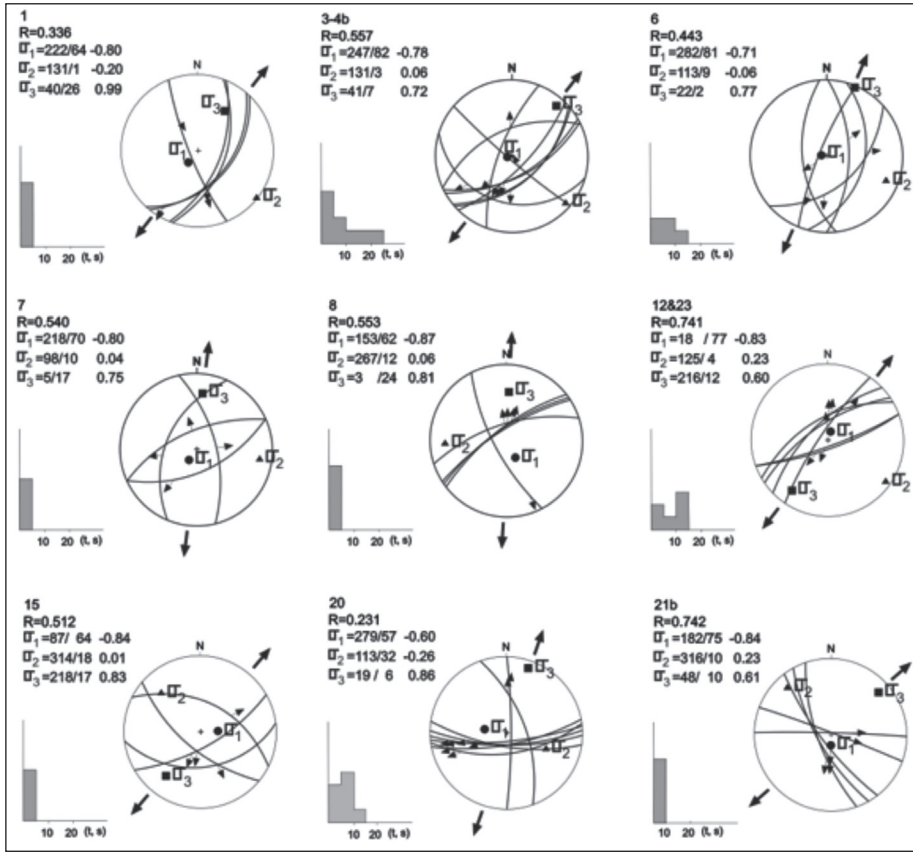
sonucunda, iki deprem için toplam yüzey kırığı uzunluğu, 150 ± 30 km olarak hesaplanmıştır (Aksoy vd., 2010).

FAY TOPLULUKLARININ KİNEMATİK ANALİZİ

Ganos Fayı boyunca sahada ölçülen fay düzlemlerinden hareketle gerçekleştirilen fay topluluklarının kinematik analizi sonucunda Geç Senozoyik'te etkin olan gerilme durumları ortaya konulmuştur. Fay boyunca yüzlek koşullarının uygun olduğu yerlerde ve özellikle genç birimlerde gözlemlenen fay düzlemlerinden, faya ait parametreler (doğrultusu, eğim miktarı, eğim yönü, sapma açısı, fayın türü) ölçülüp, ardından sayısal olarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; 24 istasyonda, 138 adet fay düzlemi ölçülerek her bir istasyonun analizi ayrı olarak yapılmıştır (Şekil 2 a-b).



Şekil 2a. Fay Topluluklarının kinematik analiz sonuçları. Sıkışma rejimi sonucu oluşan doğrultu atımlı deformasyon verilerinin stereografik projeksiyon alt yarım küresi üzerindeki gösterimleri ve sonuçları.
Figure 2a. Fault Kinematic analysis results. Strike-slip deformation results showing on lower hemisphere of stereographic projection developed under compressional tectonic regime.



Şekil 2b. Fay Topluluklarının kinematik analiz sonuçları. Yersel açılma rejimi sonucu oluşan normal faylanma verilerinin stereografik projeksiyon alt yarım küresi üzerindeki gösterimleri ve sonuçları.

Figure 2b. Fault Kinematic analysis results. Normal faulting deformation results showing on lower hemisphere of stereographic projection developed under local extension tectonic rejime.

Metodoloji

Bu çalışmada fay topluluklarının kinematik analizi için kullanılan sayısal analiz yöntemi, ilk defa Carey ve Brunier (1974) ve Carey (1976; 1979) tarafından uygulanan ve daha sonra Carey & Gauthier (1987) tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Buna göre;

1. Kaya kütlesi bir tektonik faz, tek bir homojen stres tensörü ile karakterize edilmektedir.

2. Bu tektonik faz için malzemenin izotopik ve homojen olduğu, her bir fay düzlemi üzerinde gelişen atımın kayma (S_f) çizgisi bu fay

düzlemi üzerinde etkim çözümlenmiş makaslama gerilmesinin (τ_f) doğrultusunda ve yönünde olduğu kabul edilir.

3. Faylarla ayrılmış bloklar arasında sürekli deformasyonun olmadığı, deformasyon sırasında fay düzlemi rotasyonlarının olmadığı ve kayma çizikleri üzerindeki atımın bağımsız ve fay genişliğinden küçük olduğu kabul edilmektedir. Böylece kaya kütesinin deformasyonu, faylar boyunca rijit blokların görelî yer değiştirmesiyle meydana gelmektedir. Makaslama tensöründeki fark, blokların hareketine neden olan çözümlenmemiş gerilme tensöründen sorumludur.

Yukarıdaki koşullar sağlandığında bir tektonik faz ile ilişkili gerilme tensörü, bu fazın sonunda ortaya çıkan bağımsız kayma çizgilerinden elde edilebilir (Wallace, 1958; Both, 1959; Price, 1966; Arthaud, 1969; Pegoraro, 1972; Angelier ve Mechler, 1977).

Her bir çözülmüş kayma çizgisi (1) için bir fay düzlemine uygulanan gerilme (σ_1), $\sigma_1 = \sigma_{ni} + \tau$ olarak belirlenir. Yukarıda belirtilen hipotezi, öngörülen atım vektörü (τ_i) ile gözlenen atım vektörü (s_i) arasındaki açının sifıra yaklaştığını gösterir. (τ_i) bileşenleri dört parametrenin fonksiyonudur. Bunlar bir coğrafik referans noktasına göre üç ana gerilme doğrultusu ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) ve $[R = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\sigma_3 - \sigma_1)]$ bağıntısı ile ifade edilen ana gerilmeleri arasındaki R oranıdır (Carey, 1976; Carey-Gailhardis ve Mercier, 1987). $\sigma_2, \sigma_1, \sigma_3$, sırasıyla sıkışma, ortaç gerilme ve genişleme olmak üzere üç ana gerilme değerini vermektedir. R değeri 1 ($\sigma_2 = \sigma_3$) ve ($\sigma_1 = \sigma_2$) arasında değişmektedir. Dört değer (τ_i, s_i) $\rightarrow 0$ ile uyumlu olması ve bu nedenle aşağıdaki fonksiyonun minimum olduğu durumda dört değer ile belirlenmektedir.

$$F = -\sum_{i=1}^N k_i \cos^2(\tau_i, s_i)$$

Burada N, fay düzlemlerinin sayısını ifade ederken, eğer $(\tau_i, s_i) < 90$ ise $k_i = 1$, $(\tau_i, s_i) > 90$ ise $k_i = -1$ dir. Pratikte, indirgenme matematiksel olarak, (τ_i, s_i) açısı 20° 'den küçük olduğunda iyi sonuç vermektedir (Carey, 1979). Çünkü histogram üzerindeki dağılım daha yakın bir aralıkta ve benzer faylar için bu sonucu verebilir. Pratikte, (τ_i, s_i) açılarının %80'i 20° 'den küçük olması durumunda da sonuç güvenilir olarak kabul edilir. Açı arttıkça, çözümün doğruluğu ve ikinci minimum daha da uzaklaşmaktadır. Birden fazla tektonik faza karşılık gelen verilerin ayrılmasında daha karmaşık hesaplamalar kullanılır (Carey, 1979; Etchecopar vd., 1981). Bu metod, seçilmiş

sismik fay düzlemlerinin odak mekanizması ters çözümlerine de uygulanabilmektedir (Temiz, 1994; Över, 1999).

Fay Topluluklarının Kinematik Analizi Sonuçları

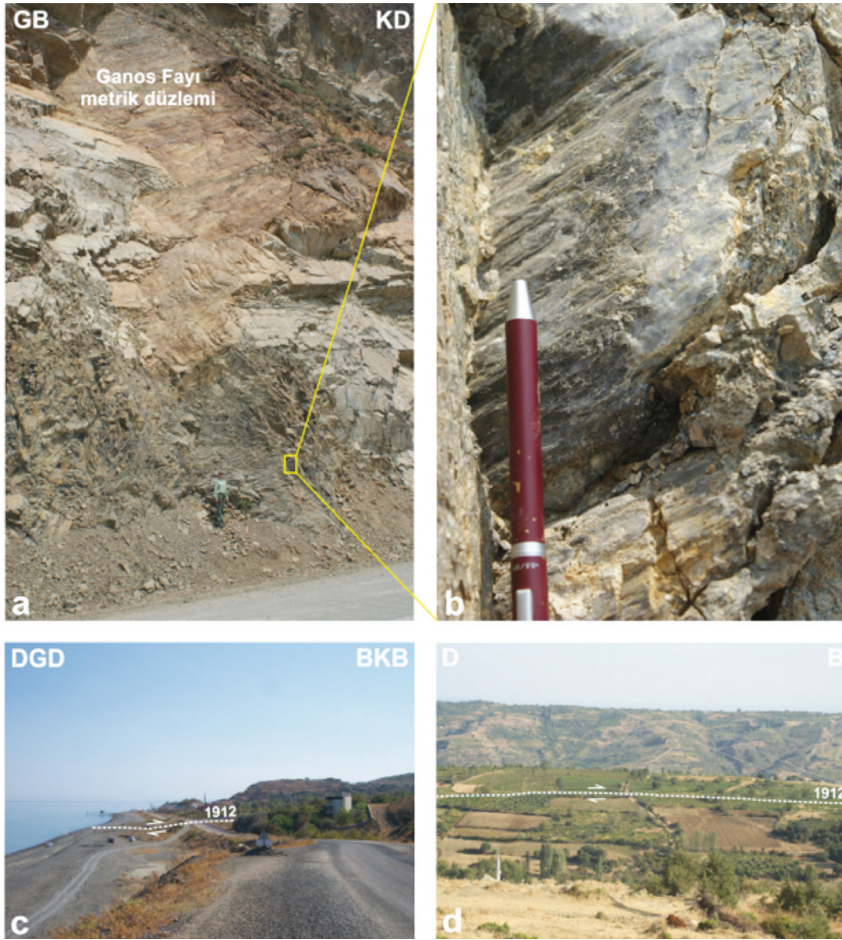
Bu çalışmada, Ganos Fayı boyunca bir ana tektonik rejim içerisinde doğrultu atımlı ve normal faylanma durumları tespit edilmiştir.

KB-GD doğrultulu sıkışma ve KD-GB doğrultulu açılma eksenleriyle tanımlanan doğrultu atımlı faylanma durumu

Ganos Fayı boyunca; 2, 3a, 4a, 5a (ters)-5b, 9, 10, 11, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 22 ve 24 no'lu istasyonlardan elde edilen verilere göre (Şekil 1 ve Çizelge 1); en büyük asal gerilme ekseninin (σ_1) durumu $130 \pm 16^\circ$, en küçük asal gerilme ekseninin (σ_3) durumu $53 \pm 13^\circ$ olarak hesaplanmıştır. Burada en büyük asal gerilme eksenini (σ_1) ve en küçük asal gerilme ekseninin (σ_3) yatay konumda, ortaç gerilme ekseninin ise (σ_2) düşey konumda olduğu doğrultu atımlı faylanmayla karşımıza çıkan tektonik rejimdir (Şekil 2a). Rm oranı 0.49 olarak hesaplanmıştır. Yukarıdaki veriler sonucunda, bu bölgedeki sıkışma doğrultusu (σ_1) yönünde olup, $K50^\circ B$ dir. Buna karşın açılma doğrultusu (σ_3) yönünde olup, $K53^\circ D$ dur. Bu da bize Saros Körfezinde KAF'ın oluşumu ile birlikte gelişen ve çalışma sahamızda belirleyebildiğimiz günümüzdeki tektonik rejiminin, KB-GD yönlü sıkışma ve KD-GB yönlü açılma eksenleriyle karakterize olan doğrultu atımlı faylanma rejimi olduğunu göstermektedir. Rm=0.49 oranından hareketle, Rm oranının 0,50 ten küçük olması da bize bu doğrultu atımlı faylanmanın transtansiyonel bir karakterde olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bu bölgede gelişen son büyük depremin (1912) doğrultu atımlı faylanmayı

vermesi, elde etmiş olduğumuz sonucu destekler niteliktedir. Çalışma sahasında Ganos Fayı ve 1912 depreminin geçtiği bölgeler oldukça belirgin bir şekilde görülebilmektedir (Şekil 3a-b). Bu veriler, Anadolu'nun Neotektonik dönemdeki yapılarından birisi olan KAF'nın, Ganos Fayı ve yakın civarında güncel sağ yanal doğrultu atımlı deformasyonunu da açıklamaktadır (Özden vd., 2008a; Janssen vd., 2009). KAF'nın batı, orta ve doğu kesimi üzerinde daha önce yapılan kinematik

çalışmalarda ise (Över, 1999; Bellier vd., 1997; Özden vd., 2002; Okay vd., 2004; Özden vd., 2008b), KAF'nın gelişiminin transpresyonel (ters bileşenli doğrultu atımlı rejim) karakterde başlayıp, transtansiyonel (normal bileşenli doğrultu atımlı rejim) bir karaktere Kuvaterner'de dönüştüğü ve bu rejimin de günümüzde etkin olduğu vurgulanmaktadır. Buna göre bölgede günümüzde etkin olan tektonik rejim, doğrultu atımlı faylanmayı (transtansiyonel) vermektedir.



Şekil 3a. Çalışma sahasında belirlenen deformasyonlara ait örnekler. Ganos Fayının, Gaziköy civarında ve Miyosen yaşlı birimleri kesen ana fay düzleminin uzaktan (a) ve yakından (b) görünümü. 1912 depremi yüzey kırığının (c) Gaziköy'de ve (d) Mursallı civarında geçtiği yerlerin görünümü.

Figure 3a. Main fault plane of the Ganos Fault (a) metric plane (b) detail view of the fault plane. 1912 surface rupture passing (c) Gaziköy and (d) Mursallı village.

KD-GB doğrultulu lokal açılma eksenile tanımlanan normal faylanma durumu

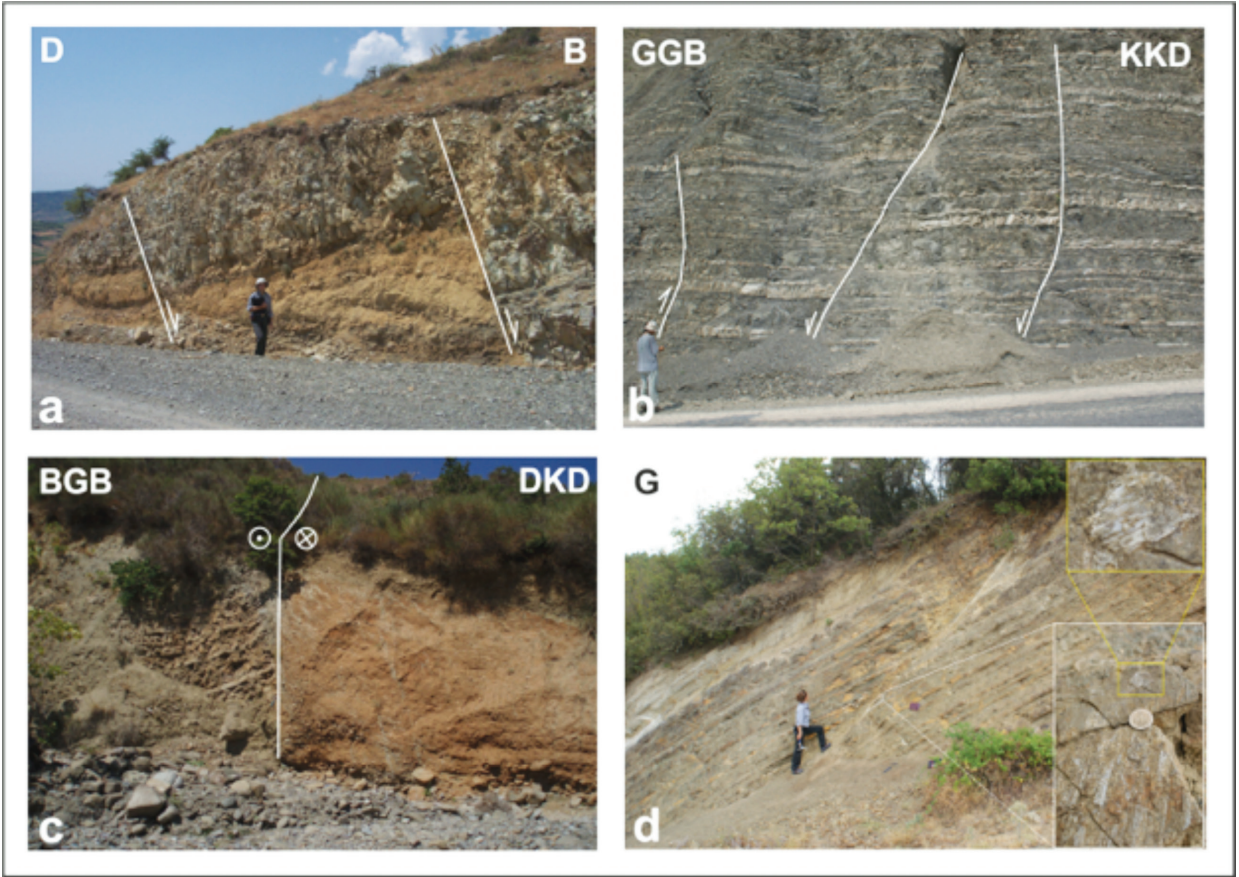
Ganos Fayı boyunca; 1, 3b, 4b, 6, 7, 8, 12, 15, 20, 21 ve 23 no'lu istasyonlardan (Şekil 1 ve Çizelge 1) elde edilen verilere göre; en büyük asal gerilme ekseninin (σ_1) durumu $67\pm 66^\circ$, en küçük asal gerilme ekseninin (σ_3) durumu $28\pm 8^\circ$ olarak hesaplanmıştır. Burada ortaç asal gerilme eksenini (σ_2) ve en küçük asal gerilme ekseninin (σ_3) yatay konumda, en büyük gerilme ekseninin ise (σ_1) düşey konumda olduğu normal faylanma durumudur (Şekil 2b). Yukarıdaki veriler sonucunda, bu bölgedeki açılma doğrultusu (σ_3)

yönünde olup, $K28^\circ D$ dur. Ganos Fayı boyunca elde edilen KD-GB doğrultulu açılma gerilmesi ile ilişkili oluşan normal fayların, sağ yanal doğrultu atımlı bir fay olan Ganos Fayı üzerinde bu fayı oluşturan KB-GD doğrultulu sıkışma ve KD-GB yönlü açılma ile uyumlu yersel (lokal) bir açılmayı temsil ettiğini göstermektedir. KAF'ın batı, orta ve doğu kesimi üzerinde daha önce yapılan kinematik çalışmalarda (Bellier vd., 1997; Över vd., 1999; Özden vd., 2002, Okay vd., 2004; Özden vd., 2008b) bu türden yersel açılmayla ilişkili normal faylar saptanmıştır. Bu veriler, doğrultu atımlı ve özellikle transtansiyonel çalışan faylarda çok genç havzaların oluşumunu da denetlemektedirler.

Çizelge 1. Çalışma sahasından elde edilen fay düzlemlerinin ölçüldüğü istasyonlara ait veriler.

Table 1. *Fault plane data in measurement sites from study area.*

İst. No	Enlem (N)	Boylam (E)	Yükseklik (m.)	Yaş	Litoloji	Formasyon
1	4514923	35 T 0530926	3	Eosen	Kumtaşı	Gaziköy
2	4504125	35 T 0523219	5	Miyo.-Pli.	Kumtaşı	Kirazlı
3	4500988	35 T 0504798	310	Eosen	Kumtaşı	Keşan
4	4500457	35 T 0503654	300	Eosen	Kumtaşı	Keşan
5	4499768	35 T 0502187	265	Eosen	Kumtaşı	Keşan
6	4503531	35 T 0508005	150	Eosen	Kumtaşı	Keşan
7	4503822	35 T 0508504	130	Eosen	Kumtaşı	Keşan
8	4503861	35 T 0509108	160	Eosen	Kumtaşı	Keşan
9	4505685	35 T 0512191	220	Miyo.-Pli.	Kumtaşı	Gazhanedere
10	4506425	35 T 0514597	350	Miyo.-Pli.	Kumtaşı	Gazhanedere
11	4505792	35 T 0519230	270	Eosen	Kumtaşı	Gaziköy
12	4505927	35 T 0514435	400	Miyo.-Pli.	Kumtaşı	Gazhanedere
13	4505927	35 T 0514457	380	Miyo.-Pli.	Kumtaşı	Gazhanedere
14	4506805	35 T 0520409	200	Eosen	Kumtaşı	Gaziköy
15	4500428	35 T 0506455	180	Eosen	Kumtaşı	Keşan
16	4501536	35 T 0506158	270	Kretase	Serpantinit	Yeniköy Karışığı
17	4502750	35 T 0507486	190	Kretase	Serpantinit	Yeniköy Karışığı
18	4508330	35 T 0519419	275	Eosen	Kumtaşı	Gaziköy
19	4510924	35 T 0524538	340	Eosen	Tüf	Gaziköy
20	4511863	35 T 0528285	10	Eosen	Kumtaşı	Gaziköy
21	4511845	35 T 0528313	30	Eosen	Kumtaşı	Gaziköy
22	4504936	35 T 0521144	280	Miyo.-Pli.	Kumtaşı	Kirazlı
23	4506508	35 T 0514713	370	Miyo.-Pli.	Kumtaşı	Gazhanedere
24	4498343	35 T 0508116	50	Miyo.-Pli.	Kumtaşı	Gazhanedere



Şekil 3b. (a) Güzelköy'ün kuzeyinde (Tekirdağ yolu), Gaziköy Formasyonu'nda görülen normal faylar, (b) Gaziköy'ün 1 km. kuzeyinde Ganos Fay zonunda yer alan faylar, (c) Armutluk Tepe'nin kuzeyinde Gaziköy Formasyonu ile Çanakkale Grubu birimleri arasındaki dokanağı sınırlandıran Ganos Fayının görünümü (d) Derman Çeşme mevkiinde bir normal fayın doğrultu atımlı fayı üzerlediği lokasyon.

Figure 3b. (a) Normal faults in Gaziköy Formation at Güzelköy (on Tekirdağ main road), (b) Faults determined in Ganos Fault zone at 1 km of the Gaziköy, (c) A Ganos Fault scarp showing contact between Gaziköy Formation and Çanakkale Group Formation at north of Armutlu Hill, (d) A normal faulting overlap a strike-slip fault as the chronological at Derman fountain.

DEPREMLERİN ODAK MEKANİZMASI ÇÖZÜMLERİ

Ganos Fayı'nın günümüzdeki davranış biçimini ortaya çıkarmak amacıyla, Boğaziçi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nün 2003-2010 yılları arasındaki verileri arasından seçilen 12 adet depremin ($M \geq 3.3$) odak mekanizması çözümlenmeleri, üç bileşen dalga formu modellemesi yöntemiyle (Dreger, 2002)

yapılmış, ardından Carey-Gailhardis (1987) tarafından geliştirilen sayısal analiz yöntemiyle ters çözümleri yapılmıştır. Daha sonra çözümden yardımcı düzlemler çıkarılarak daha sağlıklı bir sonuç elde edilmiştir.

Metodoloji

Odak mekanizması çözümlerinde Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü

Ulusal Deprem İzleme Merkezinde (UDİM) uygulanan ZSACWin programı kullanılmıştır. Programda temel olarak deprem parametrelerinin hesaplanmasında HYPO71, CMT (Centroid Moment Tensor) çözümleri için TDMTINV (Time Domain Moment Tensor Inversion) kodları esas alınarak çözümlenmeler yapılmıştır. Çalışmada kullanılan moment tensör ters çözüm yöntemi (Dreger, 2002), geniş bantlı deprem istasyonlarından kaydedilen üç bileşen sayısal verileri kullanarak yakın alan ve bölgesel sismik olayların kaynak parametrelerini belirlemeye yönelik olarak geliştirilmiştir. Programda moment tensör bileşenleri kullanılarak sismik moment ve fay parametreleri (doğrultu, atım, kayma) hesaplanabilmektedir.

Çözüme girecek verilerin üç bileşenli geniş bantlı (broad-band) kayıtlarla kaydedilmiş olması gerekmektedir. Gözlemsel veri ile yapay verilerin aynı örnekleme aralığında ve aynı birimde olması gerekmektedir. Kullanılan yazılım çözüm işlemlerini genel olarak: (a) üç bileşen hız verilerinin yer değiştirmeye dönüştürülmesi, (b) verilen kabuk modeli için yapay sismogramların üretilmesi ve (c) yapay veriyi gerçek veriye yakınsatacak en iyi kaynak biçimini belirlenmesi olmak üzere üç ana aşamada gerçekleştirir. Yapay veriler kullanıcı tarafından üretildiği için gerek örnekleme aralığı gerekse birimi denetim altındadır. Çalışmada, yapay sismogramlar yer değiştirmenin fonksiyonu olarak üretilmişlerdir ve genlikler cm olarak tanımlanmıştır. Depremin olası büyüklüğüne (M) bağlı olarak yüksek frekansları atmak üzere izleyen frekans aralıkları önerilmiştir. Bu çalışmada, $3.5 \leq M < 4.0$, 0.02-0.10 Hz (10-50 s); $4.0 \leq M \leq 5.0$, 0.02-0.05 Hz (20-50 s) ve $M > 5.0$, 0.01-0.05 Hz (20-100) değerlerine

karşılık gelmektedir. Ters çözüm işlemi yapılırken kullanılan kabuk yapısı Kalafat vd. (1987) tarafından geliştirilen ve halen UDİM’de kullanılan kabuk yapısıdır. Sonuçların iyileştirilmesi amacı ile ilksel derinlik ve koordinatlar belirli aralıklarla değiştirilerek varyans düşümünün en düşük olduğu derinlik ve koordinatlar yinelemeli olarak hesaplanır. Bu uygulamada derinlik artışları 2 km, koordinat artışları ise 2.5 km olarak seçilmiş ve ilksel derinlik ve koordinat bilgilerinin $9 \times 9 \times 9 = 729$ düğüm noktası içeren bir kübün merkezinde yer aldığı varsayılarak işlemler yapılmıştır. 729 ayrı düğüm noktası için hesaplanan kaynak parametrelerinin içinden, varyans düşümü en yüksek olan düğüm noktası, depremin gerçek odağı olarak varsayılmıştır (Altuncu vd., 2007).

Depremlerin Odak Mekanizması Çözüm Sonuçları

Bu çalışmada çözümü yapılan 3.3’den büyük 12 adet deprem, doğrultu atımlı faylanmayı vermektedir (Şekil 4, Çizelge 2). Bu çözümlerden yola çıkılarak yapılan ortak ters çözüme göre ise; en büyük asal gerilme eksenini (σ_1) ve en küçük asal gerilme ekseninin (σ_3) yatayda ve dış yayda; ortaç gerilme ekseninin ise merkezde ve düşey konumda olduğu bir doğrultu atımlı gerilme rejimini ifade etmektedir (SFM). Bu eksenlerin durumuna baktığımızda; en büyük asal gerilme ekseninin (σ_1) durumu $276^\circ \pm 7^\circ$, en küçük asal gerilme ekseninin (σ_3) durumu $6^\circ \pm 6^\circ$ olarak hesaplanmıştır. Rm oranının da 0.44 olduğu dikkate alınırsa Ganos Fayı’nın günümüzde KB-GD doğrultulu bir sıkışma rejimi altında gelişen sağ yanal doğrultu atımlı transtansiyonel bir fay olarak çalıştığı depremlere göre de belirlenmiştir.

Çizelge 2. Çalışma sahası ve yakın civarında 2003-2010 yılları arasındaki ($M \geq 3.5$) depremlere ait parametreler.
Table 2. Parameters of the selected earthquakes ($M \geq 3.5$) between 2003 and 2010 years in the investigated area.

No	Tarih (gün.ay.yıl)	Zaman- GMT (sa.dk.sn)	Enlem (N)	Boylam (E)	M_w	h (m)	1. Düzlem			2. Düzlem		
							Doğrultu	Eğim	Dalım	Doğrultu	Eğim	Dalım
1	05.07.2003	21:58:29	40.4652	26.0653	4.0	8	238	81	-151	143	61	-10
2	06.07.2003	19:10:28	40.4155	26.2088	5.5	10	170	85	6	80	84	174
3	06.07.2003	20:10:13	40.5005	26.0483	5.1	16	246	83	159	153	69	7
4	06.07.2003	22:05:47	40.4688	25.9523	4.3	10	30	42	-150	277	70	-52
5	31.01.2004	03:09:14	40.7893	27.3005	3.3	12	87	75	-155	350	66	-16
6	15.06.2004	12:02:36	40.4512	25.7523	4.9	12	339	74	19	244	72	163
7	13.08.2004	15:13:44	40.8271	26.4106	3.9	10	285	86	-36	18	54	-175
8	04.04.2005	05:25:31	40.4156	26.3528	3.6	12	155	83	18	63	72	172
9	04.11.2005	20:12:08	40.7040	27.2861	3.9	16	72	72	-146	331	59	-20
10	28.12.2008	22:58:58	40.3995	25.8176	5.1	12	340	89	34	249	56	179
11	27.04.2009	19:03:07	40.7383	27.5560	3.9	8	96	78	-115	343	28	-26
12	03.11.2010	02:51:27	40.4283	26.3372	5.4	15	243	84	-165	152	75	-6

UZAKTAN ALGILAMA ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada; Ganos Fayı boyunca günümüze yakın dönemde etkin olan tektonik rejimle bağlantılı olarak gelişen çizgisellikler, radar görüntüsü üzerinde yapılan uzaktan algılama çalışmaları ile tespit edilip sayısal olarak analiz edilmiştir.

Metodoloji

Çizgisellik terimi ilk kez Hobbs (1904) tarafından kullanılmış ve daha sonra farklı araştırmacılar tarafından (Novak ve Soulakellis, 2000; Dehandschutter, 2001; Madani, 2001; Hung vd., 2002; Bensekhria, 2012) değişik şekillerde tanımlanmış olmakla birlikte; genel olarak çizgisellik, uydu görüntülerinde ve kabartı haritalarında gözlemlenmiş tamamıyla jeolojik kökenli çizgisel unsurlar olarak tanımlanabilir. Çizgisellikler, bölgedeki tektonizma hakkında bilgi vermekle birlikte, birçok araştırmada da

temel olarak kullanılabilir. Örneğin; tektonik deformasyonlar, jeolojik yapının karakterizasyonu, mineralizasyon, jeolojik özelliklerin haritalanması, petrol araştırmaları vb. çalışmalar yapılmaktadır (Dehandschutter, 2001; Hung vd., 2002; Ölgen, 2004; Kaya vd., 2004; Över vd., 2004).

Bu çalışma kapsamında, amaca uygun olarak aktif sistemlere dahil olan (L) bandında 1.27 GHz frekansında Alos-Palsar (Level-4.1) uydu görüntüsü kullanılmıştır. Görüntü (Fine Mode) tipinde olup Single (HH) polarizasyondur. Uzaktan algılama yöntemiyle çizgisellik analizinde kullanılan görüntü üzerinde, incelemelerin yapılabilmesi için öncelikle iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Görüntünün inceleme alanını içerisine alan kısmı kesilerek, sadece çalışılan alanlarda çizgisellik belirleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Radar görüntülerinin özelliği sayesinde, gökyüzünden

bakılınca bitki örtüsü veya hava şartları gibi çeşitli nedenlerden dolayı görülme imkanı olmayan topografya görülebilmektedir. Gerçekleştirilen görüntü iyileştirme çalışmaları neticesinde yeryüzeyine yakın olan çizgisel yapıları görme imkanı bulunabilmekte, ayrıca yansımalarındaki zıtlıklardan yararlanılarak jeolojik birimler de ayırt edilebilmektedir. Görüntünün analizi için Erdas 9.1 görüntü işleme programı kullanılmıştır. Bu işlemler; görsel yorumlama, geliştirme çalışması (enhance), parazitlerin ortadan kaldırılması (speckle suppression) ve kenar belirleme (edge detection) olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Görüntü çıplak gözle incelendiğinde göze çarpan en belirgin yapılar, yüksek tepeler ve derin vadilerdir. Yükseltilerin tepe noktaları parlak ve beyaza yakın açık yeşil tonlarında görülmektedir. Bununla birlikte drenaj ağları da parlak yeşil tonlarda renk verirken oldukça belirgindir. Baraj gölleri ve göletler ise siyaha yakın tonlarda koyu

mor renkli olarak görülmektedir. Morfolojik bu yapıların yanı sıra, KAF'ın kuzey kolu olan ve yaklaşık K70°D doğrultulu Ganos Fayı, Marmara Denizi ile Ege Denizi arasında, Gaziköy'den Saros Körfezi'ne kadar uzanan bir çizgisellik olarak net olarak görülmektedir (Şekil 5). Erdas 9.1 programı ile çeşitli filtreler uygulanarak görüntüdeki parazitler en aza indirilmeye çalışılmıştır. Uygulanan filtreler içerisinde en yüksek kalite, Lee-Sigma filtresi kullanıldığında elde edilmiştir. Radar görüntüsü üzerinde kenar belirleme işlemleri yapılırken, farklı yönlerden ışık kullanılarak çizgisellikler ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır. Kuzeybatıdan verilen ışık ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 5). Bunun dışında, filtreler sayesinde diğer yönlerden verilen ışıklar sayesinde de farklı yönlerdeki çizgisellikler tespit edilmiştir. Alos-Palsar radar görüntüsünde tespit edilen çizgisellikler kullanılarak bölgeye ait gül diyagramı hazırlanmıştır (Şekil 5).

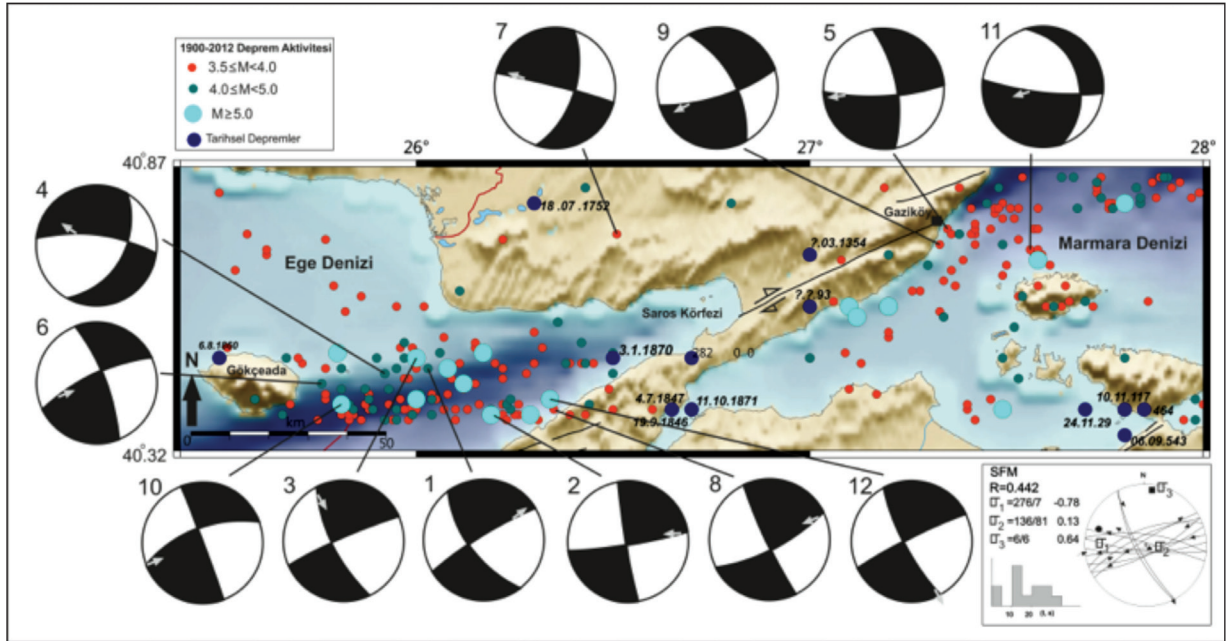
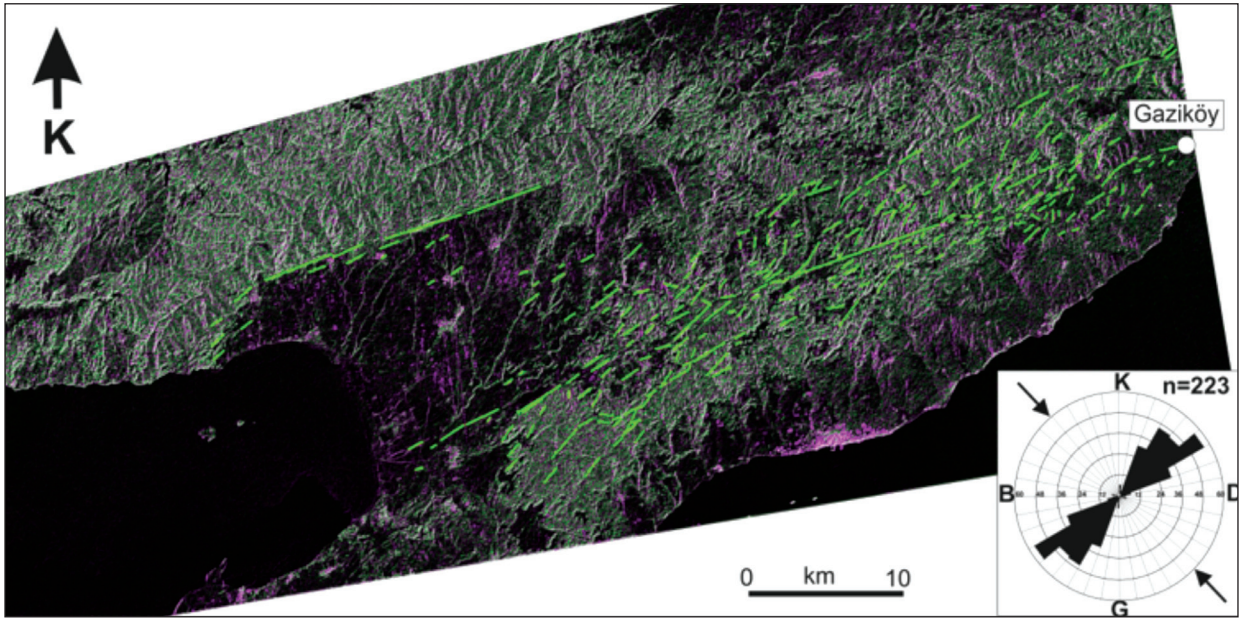


Figure 4. Seismotectonic map of the study area and surroundings, focal mechanism results and inversion of the selected earthquakes.



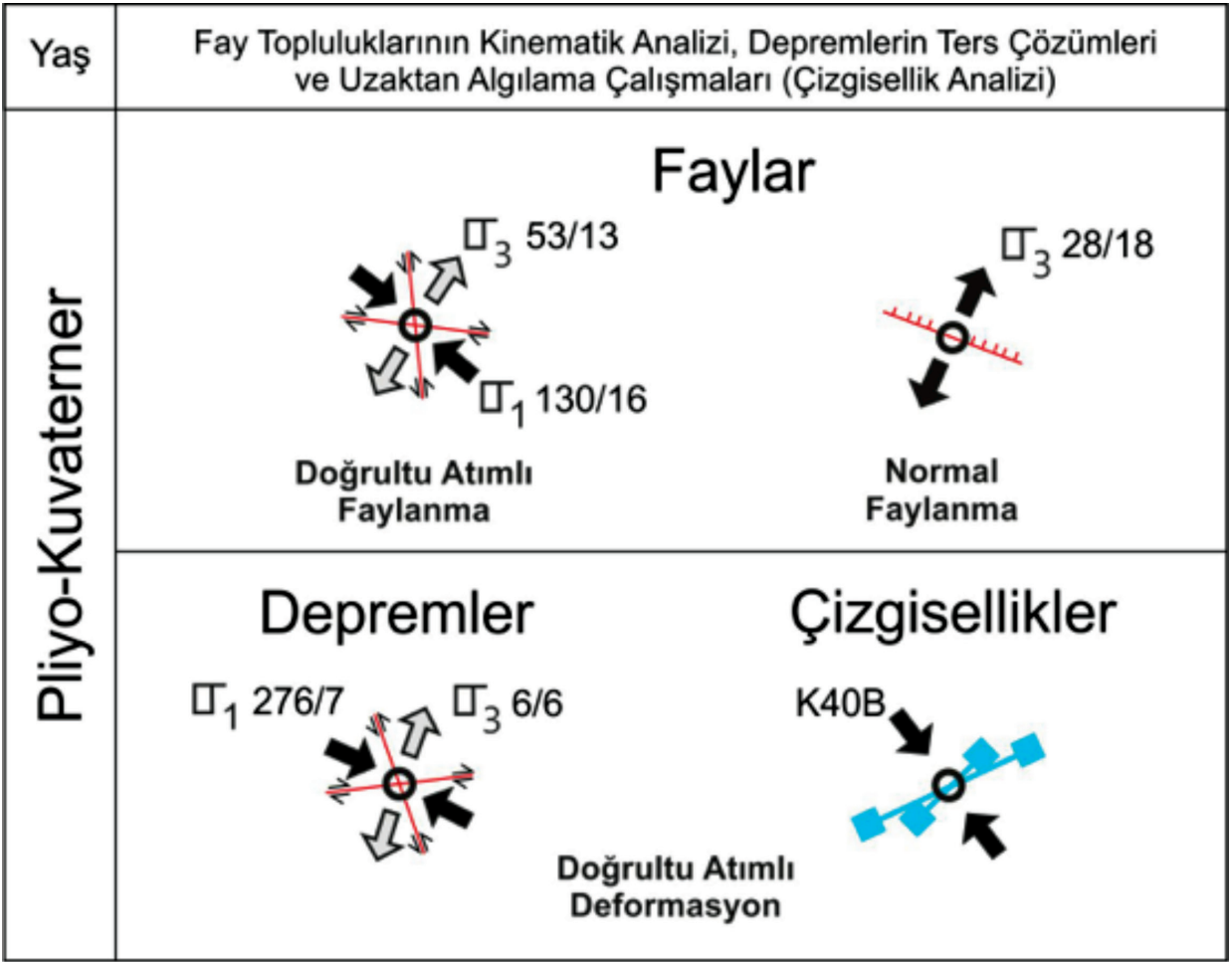
Şekil 5. Ganos Fayı boyunca Alos-Palsar görüntüsünden elde edilen çizgisellikler ve sayısal analiz sonuçları.

Figure 5. Lianement analysis and rose diagram on the Alos-Palsar image along the Ganos Fault.

Uzaktan Algılama Çalışmalarının Sonuçları

Radar görüntüsünden elde edilen 223 adet çizgiselliğin çoğunlukla, bu bölgede, BGB-DKD doğrultularında yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 5). Bu yapısal unsurların (aktif fay çizgisellikleri, uzamış sırtlar, fay sarplıkları vb.) bölgedeki aktif Ganos Fayının doğrultusuna paralel geliştikleri anlaşılmaktadır. Bu çizgiselliklerin bu bölgede

etkin olan KB-GD doğrultulu sıkışma rejimi altında gelişen Ganos Fayı'nın oluştuğu rejim altında geliştikleri düşünülmektedir. Çizgisellikleri oluşturan kuvvet yönlerinin, fayların kinematik analizi çalışmalarının sonuçları ve depremlerden elde edilen odak mekanizması sonuçlarıyla da uyumlu oldukları ve onları destekler nitelikte oldukları görülmüştür (Şekil 6).



Şekil 6. Ganos Fayı ve yakın civarındaki geç Senozoyik yaşlı gerilme durumları.

Figure 6. Late Cenozoic stress state around Ganos Fault and surroundings.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Kuzey Anadolu Fayının en batı segmentinin ve karadaki son uzanımının olduğu yeri temsil eden Ganos Fayının, Geç Senozoyik yaşlı gerilme durumları ve davranış biçimi araştırılmıştır. Bu çalışmamızda, Ganos Fayı boyunca mosta koşullarının izin verdiği yerlerde yüzlek veren fay düzlemi parametreleri ölçülmüş ve sayısal olarak analiz edilmiştir. Buna göre, Ganos Fayı, KB-GD doğrultulu sıkışma rejimi altında gelişen, sağ yanal doğrultu atımlı bir fay olarak çalışmıştır. Transtansiyonel bir karaktere sahip olup, fay boyunca KD-GB doğrultulu

açılmayla ilişkili lokal normal faylanmaların da varlığı saptanmıştır. Ganos Fayı boyunca ve bu fayın hareketiyle gelişen son on yıldaki ($M \geq 3.5$) depremlerin odak mekanizması çözümleri, fayın davranış biçiminin günümüzde de doğrultu atımlı olarak devam ettiğini göstermektedir. Ayrıca, radar görüntüleri üzerinden belirlenen çizgiselliklerin, fayın gidişi ile büyük bir uyum sağladığı, çoğunlukla aktif yapısal unsurlardan oluşan bu çizgiselliklerin aktif faya paralel oldukları gözlenmiştir. Ganos Fayı, üzerinde birden çok tarihsel depremin varlığı, bölgede son yıllarda yapılan paleosismolojik çalışmalar,

GPS ölçümleri, mikrotopoğrafya çalışmaları ve saha gözlemleri ile detaylı olarak belirlenmiştir. Son yüzyılda meydana gelen 1912 depremi ve bu deprem üzerine yapılan çalışmalar, Ganos Fayının; Anadolu bloğunun batıya doğru olan hareketinin, GB Anadolu'dan farklı olarak, KB Anadolu'da etkin (McClusky vd., 2000) olarak devam ettiğini göstermektedir. Fay boyunca belirgin saha verilerinin bulunması ve fay üzerinde son yüzyılda büyük bir depremin olması dikkate alındığında, Ganos Fayı, geçmişte olduğu gibi (M=7'den) büyük deprem üretme potansiyeli taşımaya devam etmektedir. Son yüzyılda Ganos Fayı, her iki ucunda, Ege ve Marmara Denizlerinde yoğun sismisite sunuyor olmasına karşın, karadaki ana segmenti üzerindeki sismik aktivitesinin azlığı dikkat çekmektedir. Karadaki ana segmentin farklı yöntemler kullanılarak araştırılması ve modellenmesi, fayın davranış biçimini daha iyi anlamak açısından büyük önem arz etmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, ÇOMÜ BAP 2009-23 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

EXTENDED SUMMARY

The Ganos Fault, as a right-lateral strike-slip fault, both a segment of the northern strand of the North Anatolian Fault and which is one of the important structure of neotectonic period, is elongated in west of the Marmara Sea between Gaziköy (Tekirdağ) and Saros Gulf. In instrumental period, a big earthquake (Ms:7.3) has been occurred on the Ganos Fault in 1912.

The Ganos Fault approximately has a N 70° trend all in its lineament. The eastern limit of fault line in continent is beginning at just north of Gaziköy in western Marmara Sea. From Gaziköy to west, the fault trace easily shown at south of

the Güzelköy, Mursallı, Yayaköy and Yörgüç villages. In western most of the fault segment were determined south of Sofu village, Demirci Lake and Saros Gulf.

Cretaceous aged Yenikoy Melange constitutes the basement geological unit along the Ganos Fault. This unit is overlain uncomformably by the Tertiary sequences that includes Lower–Middle Eocene aged Gaziköy, Lower–Middle Eocene aged Kesan and Middle–Upper Eocene aged Soğucak Formations. Also, Upper Eocene–Upper Oligocene aged andesites that belongs to Hisarlidağ Volcanics are in this Tertiary sequences. In Neogene, Eocene units overlaine with time gap and angular uncomformably by Middle–Upper Miocene aged Canakkale Group. This group contains Late Pliocene (Aktshagylian) aged was predicted for sandstones based some Avimactra forms: Avimactra venjukovi (Andrussow), Avimactra ososkovi (Andrussow), Avimactra karabugasica (Andrussow), Avimactra subcaspia (Andrussow). Çanakkale Group has a Middle Miocene-Late Pliocene aged. In the region, this group is overlain by Upper Pleistocene aged marine terrace and Quaternary Alluvium overlies all the units.

By the fault kinematic analysis, late Cenozoic stress states determined on the measured fault-slip data along the Ganos Fault. Result of the kinematics analysis was carried out a main tectonic regime with two faulting. First mainly strike-slip faulting developed under NW-SE trending compressional regime (transtensional) and, a secondly and consistent with first faulting, a NE-SW trending extensional direction produce a local normal faulting. In strike-slip faulting, stress states showing by a maximum stress axis (σ_1) N 130°±16° and a minimum stress state (σ_3) N 53°±13° trends as in horizontal plane and Rm ration calculated as 0.49. This data presented a

strike-slip faulting deformation occurred under NW (σ_1) trending compressional tectonic regime. And also, the Ganos Fault has a transtensional character from Rm ration in strike-slip deformation in Saros region. A consistent normal faulting presented by a maximum stress axis (σ_1) N $67^\circ \pm 66^\circ$ trend in vertical plane and a minimum stress state (σ_3) $28^\circ \pm 18^\circ$ trend in horizontal plane. These normal faults developed under NE (σ_3) trending extensional direction

Furthermore, between 2003 and 2010 years, 12 earthquakes on Ganos Fault and its vicinity, determined the focal mechanisms and inversion analysis results indicate that a strike-slip faulting is active along the fault. In the inversion of the earthquakes, a maximum stress axis (σ_1) N $276^\circ \pm 7^\circ$ and a minimum stress state (σ_3) N $6^\circ \pm 6^\circ$ trends take place in horizontal plane and Rm ration calculated as 0.44. This result is consistent with the results of fault kinematic analysis and offer as a transtensional character along the fault.

According to rose diagram that was generated by remote sensing lineament analysis (in Erdas 9.1) on radar images (ALOS-PALSAR HH+HV polarise, Level 4.1). These lineaments have mainly parallel to the Ganos Fault and segments probably occurred as a fault line under a NW-SE compressional regime were identified. The stress states from remote sensing studies are consistent both fault kinematic analysis and inversion of the earthquakes focal mechanism results.

DEĞİNİLEN BELGELER

Aksoy, M.E., Meghraoui, M., Vallée, M., ve Çakır, Z., 2010. Rupture characteristics of the A.D. 1912 Mürefte (Ganos) earthquake segment of the North Anatolian fault (western Turkey), Geological Society of America, Geology, 38,11, 991–994.

- Altunok, Y., Alpar, B., ve Yaltrak, C., 2003. Şarköy-Mürefte 1912 Earthquake's Tusunami, extension of the associated faulting in the Marmara Sea, Turkey, Journal of Seismology, 7, 329-346.
- Altuncu Poyraz, S., Yilmazer, M., Kalafat, D., ve Pinar, A., 2007, ZSacWin Algoritmasını kullanarak 2004 Gökova deprem etkinliğinin incelenmesi, 15.Yıl Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu, 14-16 Kasım 2007 Isparta, 62-68.
- Altunel, E., Meghraoui, M., Akyüz, H.S. ve Dikbaş, A., 2004. Characteristics of the 1912 co-seismic rupture along the North Anatolian Fault Zone (Turkey): implications for the expected Marmara earthquake, Terra Nova, 16, 198-204.
- Ambraseys, N.N., 2002. The seismic activity of the Marmara Sea Region over the last 2000 years, Bull. Seism. Soc. Am., 92, 1-18.
- Ambraseys, N.N. ve Finkel, C.F., 1987, The Saros Marmara Earthquake of 9 August 1912: Earthquake, Eng. and Structural Dynamikes, 15, 189-211.
- Ambraseys, N. ve Finkel, C., 1991. Long-term seismicity of Istanbul and of the Marmara Sea region, Terra 3, 527-539.
- Angelier J. ve Mechler P., 1977. Sur Methode Graphique de Recherche des Contraintes Principales Egalement Utilisable en Tectonique et en Sismologie: La Methode Diédre Droit. Bulletin de la Société Géologique de France, 19: 1309-1318.
- Armijo, R., Meyer, B., Hubert, A., ve Barka, A., 1999. Westward propagation of the North Anatolian fault into the northern Aegean: Timing and Kinematics, Geology, 27, 3, 267-270.
- Arthaud, F., 1969. Méthode De Détermination Graphique Des Directions de Raccourcissement, D'allongement et intermédiaire D'une Population de Failles. Bull. Soe. Géol. France, 11:729-737.
- Barka, A.A., 1992. The North Anatolian Fault Zone, Ann. Tectonicae, 6, 164-195.
- Bellier, O., Över, S., Poisson, A., ve Andrieux, J., 1997. Recent temporal change in stress state and modern stress field along the North Anatolian Fault Zone (Turkey). Geophys. J. Int., 131 : 61-86.
- Bensekhria, A., 2012. Tectonic Deformations based on Lineaments Analysis of Mechtat Ain El Beida (Bou Arif Mountain) North East of Algeria. Asian Journal of Applied Sciences, 5: 117-124.
- Bott, M. H. P., 1959. The Mechanism of Oblique Slip Faulting. Geol. Mag. 96: 109–117.
- Carey, E. ve Brunier, B., 1974. Analyse theorique et numerique d'une modele mecanique elementaire applique à l'etude d'une

- population des failles, C. R. Hebd. Acad. Sci, Lett.270 : 891-894.
- Carey, E., 1976. Analyse numérique d'un mod' ele mécanique élémentaire appliqué à l'étude d'une population de failles: Calcul d'un tenseur moyen des contraintes à partir des stries de glissement: Unpublished PhD thesis, Tectonique Générale, Univ. Paris-Sud, Orsay, 138p.
- Carey E., 1979. Recherche des Directions Principales de Contraintes Associées au Jeu D'une Population de Failles, Revue Geological Dynamic and Géography Physic. 21: 57-66.
- Carey-Gailhardis E. ve Mercier J.L., 1987. A numerical method for determining the state of stres using focal mecanism of earthquake populations, Earth Planet. Sci Lett. 82 : 165-179.
- Dehandschutter, B., 2001, Study of the recent structural evolution of continental basins in Altai-Sayan (Central Asia), Phd. Thesis, 211p.
- Dreger, D. S., 2002. Manual of the Time-Domain Moment Tensor Inverse Code (TDMT-INVC), Release 1.1, Berkeley Seismological Laboratory, Berkeley, p. 18.
- Ercan, T., 1992. Trakya'daki Senozoyik volkanizması ve bölgesel yayılımı, JMO, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 41, s: 37-50.
- Ergin, K., Güçlü, U. ve Uz, Z., 1967. Türkiye ve civarında deprem katalogu, İTÜ Maden Fakültesi, Arz Fiziği Enstitüsü Yay. 24, 169 s.
- Erol, K., 2003. Yeniköy Karışığının (GB Trakya) Metamorfik Evrimi, Türkiye Jeoloji Bülteni Cilt 46, Sayı 2, 53-61.
- Etchecopar, A., Vasseur, G., ve Daigneries, M., 1981. An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensors from fault striation analysis: J. Struct. Geol., v.3 : 51-65.
- Gökçen, L.S., 1967. Keşan bölgesinde Eosen-Oligosen sedimantasyonu, Güneybatı Türkiye Trakyaası, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi, 69, 1-10.
- Görür, N. and Okay, A.I., 1996. Fore-arc origin of the Thrace basin, northwest Turkey, Geologische Rundschau, 85, 662-668.
- Gutzwiller, O., 1923. Beitrage zur Geologie der Umgebung von Merfete (Mürefte) am Marmara Meer, Basel Üniv., 25 s.
- Herece, E. ve Akay, E., 2003. Kuzey Anadolu Fayı Atlası. M.T.A. Yayını, Ankara.
- Hobbs, W.,H., 1904. Lineaments of The Atlantic Border Region. Geological Society American Bulletin, 15, 483-506 p.
- Hung, L.Q., Dinh, N.Q., Batelaan, O., Tam, V.T. ve Lagrou, D., 2002, Remote sensing and GIS based analysis of cave development in the Suoimuoi Catchment (Son La-NW Vietnam), Journal of Cave and Karst Studies, 64 (1), 23-33.
- Holmes, A.W., 1961. A stratigraphic review of Thrace. Turkish Petroleum Corporation unpubl techn rep 368, pp 1-56.
- Janssen, C., Bohnhoff, M., Vapnik, Y., Görgün, E., Bulut, F., Plessen, B., Pohl, D., Aktar, M., Okay, A.I., ve Dresen, G., 2009. Tectonic evolution of the Ganos segment of the North Anatolian Fault (NW Turkey).
- Kalafat, D., 1989. Son yıllarda olmuş bazı depremlerin odak mekanizması açısından irdelenmesi, Deprem Araştırma Bül., 66, 6-20.
- Kalafat, D., Gürbüz, C., ve Üçer, S.B., 1987. Batı Türkiye'de Kabuk ve Üst Manto Yapısının Araştırılması, Deprem Araştırma Bülteni, (59), 43-64
- Kasar, S., Burkan, K.A., Siyako, M., ve Demir, O., 1983. Tekirdağ-Şarköy-Keşan-Enez bölgesinin jeolojisi ve Hidrokarbon olanakları, TPAO rap., 1171 (Yayımlanmamış).
- Kaya, S., Müftüoğlu, O., ve Tüysüz, O., 2004. Tracing the geometry of an active fault using remote sensing and digital elevation model: Ganos segment, North Anatolian Fault Zone, Turkey, Int. J. Remote Sensing, Vol. 25, No. 19, 3843-3855.
- Kopp, K.O., Pavoni, N. ve Schindler, C., 1969. Geologie Thrakiens IV: Das Ergene-Becken, Beih zum Geol. Jahrb., Heft 76, 136 s., Hannover.
- Madani, A.A., 2001, Selection of the optimum Landsat Thematic Mapper bands for automatic lineaments extraction, Wadi Natash area, South Eastern Desert, Egypt, 22nd Asian Conference on Remote Sensing, Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing (CRISP), National University of Singapore; Singapore Institute of Surveyors; Asian Association on Remote Sensing.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gürkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksoz, M.N., Veis, G., 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. Journal of Geophysical Research 105, B3, 5695-5719.
- 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.
- Meghraoui, M., Aksoy, M.E., Akyüz, H.S., Fery, M.A., Dikbaş, A., ve Altunel, E., 2012. Paleosismology of the North Anatolian Fault at Güzelköy (Ganos segment, Turkey): Size and recurrence time of Earthquake ruptures west of the sea

- of Marmara, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, doi:10.1029/2011GC003960.
- Novak, I.D., ve Soulakellis, N., 2000, Identifying geomorphic features using LANDSAT-5/TM data processing techniques on Lesbos, Greece, *Geomorphology*, 34, 101-109.
- Okay, A., Tuysuz, O., ve Kaya, S., 2004. From transpression to transtension: change in morphology and structure around a bend on the North Anatolian Fault in the Marmara region, *Tectonophysics*, 391, 259-282.
- Ölgen, M. K., 2004. Determining Lineaments and Geomorphic Features Using Landsat 5-TM Data on the Lower Bakırçay Plain, Western Turkey. *Ege Coğrafya Dergisi*, 13 (2004), 47-57, İzmir.
- Över, S., Bellier O., Poisson A., ve Andrieux J., 1999. Late Cenozoic stress state changes along the central North Anatolian Fault Zone (Turkey). *Annales Tectonicae*, Vol. XI, no. 1-2, 75-101.
- Över, S., 1999. Kuzey Anadolu fay zonunun orta ve batı kesiminde bölgesel gerilme durumlarının incelenmesi. *T.J. Bülteni*, 42, 1, 85-96.
- Över, S., Kavak, K.Ş., Bellier, O., ve Özden, S., 2004, Is the Amik Basin (SE-Turkey) a Triple Junction Area? Analyses of SPOT XS Imagery and Seismicity, *International Journal of Remote Sensing*, Volume: 25, Number: 19, 3857-3872.
- Özden, S., Över, S., ve Ünlügenç, U.C., 2002. Quaternary stress regime change along the eastern North Anatolian Fault Zone, Turkey. *International Geology Review* Vol. 44, No. 11, pp. 1037-1052.
- Özden, S., Bekler, T., Tutkun, S. Z., Kürçer, A., Ateş, Ö., Bekler, F., Kalafat, D., Gündoğdu, E., Bircan, F., Çınar, S., Çağlayan, Ö., Gürgen, M., İşler, H., ve Yalçınöz, A., 2008a, Biga Yarımadası ve Marmara Denizi Güneyinin Sismotektoniği ATAG-12, *Bildiri Özleri Kitapçığı*, Sayfa 48-49, Akçakoca, Türkiye.
- Özden, S., Över, S., Kavak, K. Ş., ve İnal Dünder, Ş. S., 2008b. Late Cenozoic stress states around Bolu Basin along the North Anatolian Fault, NW Turkey. *Journal of Geodynamics*, 46, 1-2, 48-62.
- Pegoraro, O., 1972. Application de la Microtectonique a une Etude de Neotectonique sur le Golfe Maliaque (Gece centrale): These de 3 cycle, Montpellier.
- Price, N.J., 1966. *Fault and joint development in brittle and semi-brittle rock*, New York, Pergamon Press, 176 p.
- Rockwell, T., Barka, A., Dawson, T., Akyüz, S., ve Thorup, K., 2001. Paleoseismology of the Gaziköy-Saros segment of the North Anatolian Fault, northwestern Turkey: comparison of the historical and paleoseismic records, implications of regional seismic hazard, and models of earthquake recurrence, *J. Seismol.* 5, 433-448.
- Sadi, M., (Doktor Yüzbaşı) 1912. Marmara havzası'nın 26-27 Temmuz 1328 (1912) hareket-i arzının esbabı. *Tarih ve Düşünce dergisi*, İstanbul. S: 42-53.
- Sakıncı, M. ve Yaltrak, C., 1997. Güney Trakya Sahillerin Denizel Pleyistosen Çökelleri ve Paleocoğrafyası, *MTA Dergisi*, 119, 43-62.
- Saltık, O., 1974. Şarköy-Mürefte sahaları jeolojisi ve petrol olanakları, TPAO Arama Grubu Arşivi, Teknik Rapor, 879, 24 s. (Yayımlanmamış).
- Saner, S., 1985. Saros Körfezi dolayının çökme istifleri ve tektonik yerleşimi, *Kuzeydoğu Ege Denizi, Türkiye, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 28, 1-10.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve Kuşcu, I., 1992. Türkiye Diri Fay Haritası. M.T.A., Ankara.
- Şengör, A.M.C., 1979. The North Anatolian Transform Fault. its age offset and tectonic significance, *J. Geol. Soc. Lond*, 136, 269-282.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. ve Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, *Soc. Ecol. Paleontol. Mineral. Spec. Publ.*, 37, 227-264.
- Şengör A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X., ve Rangin, C., 2004. The North Anatolian Fault: A New Look, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 37-112.
- Şentürk, K. ve Karaköse, C., 1987. Çanakkale Boğazı ve dolayının jeolojisi. *MTA Rap. no: 9333*, (yayımlanmamış).
- Şentürk, K. ve Okay, A.İ., 1984. Saros Körfezi doğusunda yüksek basınç metamorfizması, *MTA Dergisi*, 97/98, 152-155.
- Siyako, M., Bürkan, K.A. ve Okay, A.I., 1989. Biga ve Gelibolu yarımadalarının Tersiyer jeolojisi ve hidrokarbon olanakları (with English abstract), *Bull. Turk. Assoc. Pet. Geol.* 1, 183-199.
- Siyako, M., 2006, Trakya Bölgesi Litostratigrafi birimleri, *Stratigrafi Komitesi Litostratigrafi Birimleri Serisi 2*, Ankara, 70 s.
- Sümengen, M., Terlemeç, İ., Şentürk, K., Karaköse, C., Erkan, E., Ünay, E., Gürbüz, M., Atalay, Z., ve Şentürk, K., 1987. Gelibolu Yarımadası ve Güneybatı Trakya Tersiyer Havzasının Stratigrafisi, Sedimentolojisi ve Tektoniği, *MTA Rap: 8128*. (Yayımlanmamış).

- Sümengen, M. ve Terlemez, İ., 1991. Güneybatı Trakya yöresi Eosen çökellerinin stratigrafisi, Maden Tetkik Arama Dergisi, 113, 17-30.
- Tapırdamaz, C. ve Yaltrak, C., 1997. Trakya'da Senozoyik volkaniklerinin paleomanyetik özellikleri ve bölgenin tektonik evrimi, MTA Dergisi, 119, 27-42.
- Taymaz, T., Jackson, J.A., ve McKenzie, D., 1991. Active tectonics of the north and central Aegean Sea, Geophysical Journal International, 106, 433-490.
- Temiz H., 1994. Fay Topluluklarının Analiz Yöntemleri. Doktora Semineri II. Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 27 s., Sivas.
- Turgut, S., ve Eseller, G., 2000. Sequence stratigraphy, tectonics and depositional history in eastern Thrace Basin, NW Turkey, Mar. Petrol. Geol., 17, 61-100.
- Turgut, S., Siyako, M., ve Dilki, A., 1983. Trakya havzasının jeolojisi ve hidrokarbon olanakları, Türkiye Jeoloji Kongresi Bülteni, 4, 35-46.
- Turgut, S., Türkaslan, M., ve Perinçek, D., 1991. Evolution of the Thrace sedimentary basin and its hydrocarbon prospectivity. In: Spencer, A.M. (Ed.), Generation, Accumulation, and Production of Europe's Hydrocarbons. Spec. Publ. Euro. Ass. Petrol. Geoscient. 1, 415-437.
- Turkse Shell, N.V., 1972. I no'lu Marmara petrol bölgesinde AR/NTS/832, 833, 835, 836, 997, 998 hak sıra no'lu arama ruhsatlarına ait terk raporu. TPAO Arama Grubu Arşivi, yayınlanmamış teknik rapor, 769.
- Tüysüz, O., Barka, A., ve Yiğitbaş, E. 1998. Geology of the Saros Graben: its implications on the evolution of the North Anatolian Fault in the Ganos-Saros region, NW Turkey. Tectonophysics 293, 105-126.
- Wallace R. E., 1958. Geometry of Shearing Stres and Relation to Faulting. J. Geol. 59: 118.
- Yaltrak, C., 1995. Gaziköy-Mürefte Arasının Sedimentolojisi ve Tektoniği, TPJD Bülteni, 6: 1, 93-112.
- Yaltrak, C., 1996. Ganos Fay Sisteminin tektonik tarihi, TPJD Bülteni, 8, 137-156.
- Yaltrak, C., Alpar, B., ve Yüce, H., 1998. Tectonic elements controlling the evolution of the Gulf of Saros (northeastern Aegean Sea, Turkey), Tectonophysics, 300, 227-248.
- Yaltrak, C., Sakıncı, M., ve Oktay, F.Y., 2000. Westward propagation of North Anatolian fault into northern Aegean: Timing and kinematics, Comment, Geology, 28, 2, 187-188.
- Yaltrak, C., ve Alpar, B., 2002. Kinematics and evolution of the northern branch of the North Anatolian Fault (Ganos Fault) between the Sea of Marmara and the Gulf of Saros, Mar. Geol., 190, 352-366.

Makale Geliş Tarihi : 18 Mart 2013
Kabul Tarihi : 19 Nisan 2013

Received : 18 March 2013
Accepted : 19 April 2013