



Hatay bölgesinde etkin gerilme durumları

The stress states acting in the Hatay region

Semir ÖVER

Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, SİVAS

Ulvi Can ÜNLÜGENÇ

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 01106, ADANA

Süha ÖZDEN

Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, SİVAS

ÖZ

Bu çalışmada, Doğu Akdeniz bölgesinin kuzeydoğu ucunda yer alan Hatay bölgesinde Pliyo-Kuvaterner'den günümüze kadar etkin olan gerilme durumları saptanmıştır. Günümüzde etkin olan gerilme durumu, bölgede meydana gelen sığ odaklı depremlerin odak mekanizmalarının ters çözüm işlemi sonucunda elde edilmiştir. Ters çözüm işlemi, KD-GB gidişli σ_3 eksenini ile temsil edilen bir açılma rejiminin Hatay bölgesinde etkin olduğunu göstermektedir. Diri fay düzlemleri üzerinde ölçülen kayma vektörlerinin ters çözüm işlemi de, güncel açılma rejiminin etkin durumda olduğunu doğrulamaktadır. Gerek fayların kinematik analizi, gerekse kayma vektörleri arasındaki kronolojik ilişkiler Hatay bölgesindeki gerilme durumunda bir değişimin varlığını göstermektedir. Bu değişim, doğrultu atımlı rejimden açılma rejimine doğrudur. Her iki gerilme rejimi KD-GB gidişli σ_3 eksenini ile temsil edilmektedir. Doğrultu atım ile açılma rejimi arasındaki değişim olasılıkla geç Kuvaterner'de gerçekleşmiştir. KB-GD yönlü açılma eksenine (σ_3) sahip her iki rejim, Doğu Anadolu ile Ölü Deniz Fay Zonları üzerinde sol yönlü bir hareketi sağlamaktadır. Hatay bölgesinde oluşan etkin gerilme durumları, bu bölgenin güneybatısında yer alan yitim zonu (Kıbrıs yayı) ile kuzeydoğusunda uzanan bindirme zonu (Bitlis kenet zonu) boyunca gelişen levha kenarı kuvvetlerin etkileşiminden kaynaklanmış olabilir. Bununla birlikte, yazarlar, yitim sürecinin Hatay bölgesindeki KD-GB yönlü açılma rejiminin oluşumunda daha çok etkili olduğu kanısındadır.

Anahtar kelimeler : Doğrultu atım/açılma rejimi, gerilme durumu, kayma vektörü, kinematik, ters çözüm.

ABSTRACT

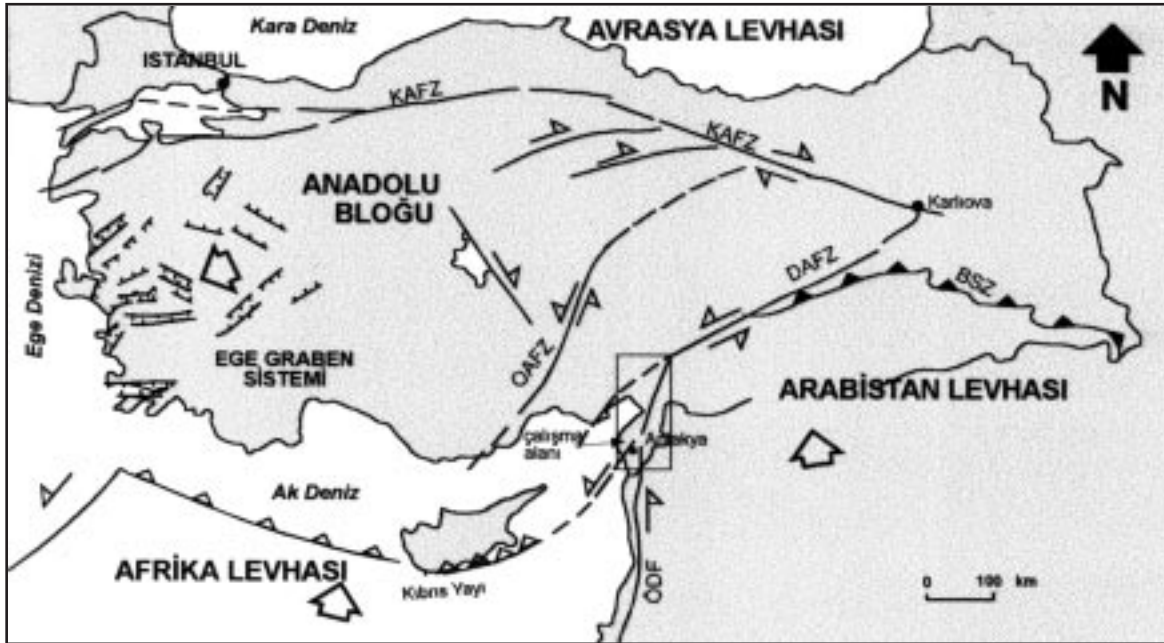
In this study, the Plio-Quaternary to present-day stress regimes, acting in the Hatay region, which is located at the northeastern corner of East Mediterranean region, were determined. The modern stress state is obtained from inversion of focal mechanism solutions of shallow earthquakes. The inversion provides that the present-day stress field is dominantly extensional stress regime with NE-trending σ_3 axis. The stress regime determined by inversion of slip-vectors measured on active fault planes confirms that the present-day stress regime is extensional in the study area. Both the fault kinematic analysis and the chronology between slip-vectors show that the stress state changed from old strike-slip to younger extensional stress regime consistent with NE-trending σ_3 axis. The change between strike-slip and extensional stress regime probably occurred during Quaternary time. The both stress regimes, consistent with NE-trending extensional axis (σ_3), induce left lateral displacement on East Anatolian Fault and Dead Sea Fault directions. The stress regimes prevailing in the Hatay region, result probably from the co-eval influence of the boundary forces due to subduction i.e., Cyprus arc, in the southwest and to the thrust zone (Bitlis suture zone) in the northeast. However, we assume that subduction process played a dominant role to occurrence of NE-SW extensional stress regime in the Hatay region.

Key words : Strike-slip/extensional regimes, stress state, slip-vector, kinematics, inversion.

GİRİŞ

Antakya ile Kahramanmaraş illeri arasındaki kesimi kapsayan Hatay bölgesi, Doğu Akdeniz bölgesinin en doğu ucunda yer almaktadır. Tektonik açıdan bu bölge, sol yanal Ölü Deniz fay zonuunun en kuzey segmenti ile yine sol yanal Doğu Anadolu Fay Zonunun en güney segmenti arasında yer almaktadır (Şekil 1). Bu deformasyon zonları Arap-Afrika levhaları ile Anadolu bloğunun birbirleriyle olan göreceli hareketlerine bağlı olarak gelişmiştir (Mc Kenzie, 1972, 1978; Şengör, 1979; Le Pichon ve Angelier, 1979; Jackson ve Mc Kenzie, 1988; Dewey vd., 1986). Doğu Anadolu Fay Zonu, daha çok sismolojik gözlemlerle tanımlanmış olup (Mc Kenzie, 1972, 1978; Jackson ve Mc Kenzie, 1984, Şaroğlu vd., 1992) yaklaşık olarak 500 km uzunluğa sahiptir. Bu fay zonuunun uzantısı, güneybatı kesiminde yer alan Kahramanmaraş ilinden itibaren değişik araştırmacılara göre farklılıklar sunmaktadır. Jackson ve Mc Kenzie (1984) bu fay zonuunu İskenderun Körfezine doğru, Perinçek ve Çemen (1990) ile Şaroğlu vd. (1992) Doğu Anadolu Fay Zonu'nu Antakya'ya doğru uzatırken, son olarak

Westaway ve Arger (1996) ile Koçyiğit ve Beyhan (1998) ise, Adana havzasının doğusundan Kıbrıs'a doğru devam ettiğini belirtmektedirler. Kahramanmaraş ile Antakya arasında yer alan ve Karasu rifti (Koçyiğit ve Beyhan, 1998) olarak tanımlanan çöküntü bölgesinin batı kesimi Amanos yükselimi ile sınırlanmıştır (Lybérís vd., 1992). KKD-GGB yönlü olan Amanos fayı Kahramanmaraş ile Antakya arasında Doğu Anadolu Fayının en güney segmentine karşılık gelmektedir (Perinçek ve Çemen, 1990). Ölü Deniz Fay Zonu ise, yaklaşık 1000 km uzunluğunda olup, güneyde Ölü Denizden kuzeyde Antakya'ya kadar uzanan bir tektonik kuşağı oluştururken, Afrika ve Arap levhaları arasında kuzeye doğru gelişen göreceli hareketi sağlamaktadır (Mc Kenzie, 1972, 1978; Jackson ve McKenzie, 1988; Lybérís vd., 1992). Arabistan'a ayrı bir levha özelliği kazandıran bu fay zonu, genelde doğrultu atımlı bir fay olarak kabul edilmektedir (Nur ve Ben-Avraham, 1978; Lovelock, 1984; Hempton, 1987; Ambraseys ve Barazangi, 1989). Hatay bölgesinin güney kesiminde her iki tektonik kuşağın etkileri de görülmektedir.



Şekil 1. Türkiye ve çevresinin ana tektonik yapıları gösteren basitleştirilmiş harita (Şengör 1979; Koçyiğit ve Beyhan, 1998'den değiştirilmiştir).

Figure 1. Simplified map showing the major structures and tectonic framework in Turkey and adjacent areas (modified after Şengör, 1979; Koçyiğit and Beyhan, 1998).

Bu iki tektonik kuşak arasında yer alan Amik Havzası, yaklaşık 30 km genişliğe sahip olup, Pliyo-Kuvaterner yaşlı (Lybérís vd., 1992) veya daha genç çökellerle temsil edilmektedir (Perinçek ve Eren, 1990). atımlı fay segmenti arasında gelişen bir çekayır tipi havza modelini savunmaktadırlar (Gülen vd., 1987; Lybérís vd., 1992). Bu görüşe karşıt olarak, Muehlberger (1981) ile Perinçek ve Çemen (1990) ise, havzanın bir çöküntü sistemi içerisinde geliştiğini vurgulamaktadırlar. Amik havzası boyunca elde edilen sismik yansıma profillerinde izlenen ve havzayı sınırlayan normal fayların varlığı da, havzanın güney-güney batıya doğru bir açılma ile oluştuğunu göstermektedir (Perinçek ve Çemen, 1990). Havzanın güney kesiminden elde edilen fay topluluklarının kinematığı, havzanın güney kesiminde KD-GB doğrultusunda bir açılma rejiminin varlığını ortaya koymaktadır (Lybérís vd., 1992). Bu bölgede yazarlar tarafından gerçekleştirilen fay kinematığı analiz çalışmaları sonucunda, havzanın KD-GB yönelimli bir açılma rejimiyle oluştuğu görüşüne varılmıştır.

Akdeniz bölgesi, dünya ölçeğinde büyük ve önemli aktiviteye sahip kuşaklardan biri olmasına ve bir yüzyıla yakın süre içerisinde Anadolu ile yakın civarını da kapsayan güncel çalışmaların (Ambraseys, 1965, 1970; Mc Kenzie, 1972, 1978; Ben-Meneham vd., 1976; Jackson ve McKenzie, 1984, 1988; Koçyiğit, 1990; Westaway, 1994; Westaway ve Arger, 1996; Koçyiğit ve Beyhan, 1998) bulunmasına karşın, fay kinematığı ve gerilme durumlarını ele alan çalışmalar bakımından hala yetersizdir. Geç Senozoyik yaşlı gerilme rejimleriyle ilgili önemli veriler ise, Batı Anadolu (Angelier vd., 1981; Hancock ve Barka, 1987; Mercier vd., 1989; Zanchi ve Angelier, 1993), Kuzey Anadolu Fay'ının orta kesimi (Över vd., 1993, 1999; Bellier vd., 1997) ve Hatay bölgesi (Lybérís, vd., 1992) ile sınırlıdır.

Bu çalışmada, Hatay bölgesinde, özellikle Antakya ili ve civarını kapsayan kesimde Pliyo-Kuvaterner'den günümüze kadar etkin olan gerilme durumlarını belirlemek için, kayma vektörlerinin ters çözüm (inversion) işlemi ile paleogerilme tensörünün saptanmasını temel alan fayların kinematik analizi Carey (1979) tarafından gerçekleştirilen sayısal analiz yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca, Antakya ile Kahramanmaraş illeri arasındaki bölgede kaydedilen dep-

remlerin ($M > 4.8$) odak çözüm mekanizmalarının ters çözüm işlemi ile günümüzdeki gerilme tensörünün saptanmasını temel alan kinematik analiz çalışmaları, Carey-Gailhardis ve Mercier, (1987) tarafından geliştirilen sayısal analiz yöntemi uygulanarak incelenmiştir.

BÖLGENİN DEPREMSELLİĞİ

Çalışmanın bu bölümünde, Hatay bölgesi ve yakın civarının depremselliği, aktif tektonik kuşaklarla birleştirilerek değerlendirilmiştir. Doğu Akdeniz, Anadolu ve Levant bölgelerindeki sismik aktivitenin durumu bir çok araştırmacı tarafından ele alınmıştır (Barazangi ve Dorman, 1969; McKenzie, 1972; Nowroozi, 1972; Comniniakis ve Papazachos, 1972; Rotstein ve Kafka, 1982). Çalışma bölgesinde, 13 Ağustos 1822 ve 3 Nisan 1872'de Antakya'yı yerle bir eden ve büyüklüğü 7.0'den fazla iki tarihsel deprem bilinmektedir (Ambraseys ve Barazangi, 1989). Bu depremlerin dış merkezleri yıldız sembolü ile Şekil 2a' da gösterilmiştir. Hatay bölgesinde 1900 ve 1997 yılları arasında oluşan, büyük lüğü 4'den fazla olan depremler, Şekil 2a' da yer almaktadır. 1990-1993 yılları arasında kaydedilen deprem verileri; USGS, ISC ve Kandilli Rasathanesi gibi farklı organizasyonlara ait deprem kataloglarından elde edilirken (Demirtaş ve Yılmaz, 1996), 1994-1997 yılları arasında kapsayan döneme ait verilerin tamamı ise Kandilli Rasathanesi kataloglarından taranmıştır. Bu depremlerin çoğu, Anadolu bloğuyla ilişkili olarak, Arap-Afrika levhalarının kuzeye doğru gelişen göreceli hareketlerine bağlıdır ve aktif fay hatları boyunca dağılım göstermektedir. Çalışma alanında gelişen sismik aktivitenin dağılımı, söz konusu tektonik kuşaklar tarafından denetlenmektedir.

DEPREM ODAK ÇÖZÜMLERİNİN KİNEMATİK ANALİZİ

Bir bölgede kaydedilmiş depremlerin odak çözüm mekanizmalarından yararlanılarak, güncel deformasyonlardan sorumlu olan bölgesel gerilme tensörü ve gerilme oranı saptanabilmektedir (Carey-Gailhardis ve Mercier, 1987; Mercier vd., 1991; Bellier vd., 1997). Deprem odak çözüm mekanizması, fay düzlemi ve yardımcı düzlem olmak üzere, birbirine dik iki düzlem içermektedir. Sismolojide bu düzlemlerin birbirinden ayırt edilmesi oldukça güçtür. Bununla birlikte, yüzey kırığı veya artçı depremlerin konumsal dağılım-

larından, gerçek fay düzlemi yardımcı düzlem- den ayırt edilebilir. Ayrıca nodal düzlemlerden hangisinin fay düzlemi olduğunu belirlemek için, bilgisayar destekli sayısal yöntemler de geliştirilmiştir (Angelier ve Mechler, 1977; Carey-Gailhardis ve Mercier, 1987). Aslında deprem odak çözümlemesinde tanımlanan iki nodal düzlem- den birisi, kayma vektörünü taşıyan ve ana gerilme doğrultuları ile uyumlu olan gerçek fay düzlemi olup, Bott (1959)'un önerdiği modele göre belirlenebilmektedir. Sismik kayma vektörü, gerilme tensörü ile uyumlu ve hesaplanan gerilme oranı $[R=(\sigma_2-\sigma_1)/(\sigma_3-\sigma_1)]$, 0 ile 1 arasında olmalıdır (Carey-Gailhardis ve Mercier, 1987). Eğer, her iki düzlem bir ana gerilme doğrultusu boyunca birbirlerini kesmiyorsa, nodal düzlemlerden sismik olanı bu koşulu sağlarken, yardımcı düzlem sağlamamaktadır. 1951-1997 yılları arasında ve büyüklükleri 4.7 ile 5.5 arasında değişen ve bu çalışmada ele alınan depremler, Çizelge 1 ve Şekil 2 a' da verilmiştir. 22 Ocak 1997 Hatay depremi hariç, bu çalışmada kullanılan deprem odak çözümleri P-dalgalarının polaritesinden yararlanılarak elde edilmiştir (Büyükaşikoğlu, 1980; Osmaşahin vd.,1986). Ancak Hatay depremi için karmaşık telesismik cisim dalgalarının ters çözümü kullanılarak odak çözüm mekanizmaları belirlenmiştir (Erdik vd., 1997). Ters çözüm işlemi ile seçilmiş sismik-fay kayma vektörü topluluklarının kinematik analiz sonuçları, Hatay bölgesinde K 51°D doğrultusunda en küçük yatay gerilme (σ_3) eksenini ile temsil edilen bir açılma rejiminin etkin olduğunu göstermektedir. Hesaplanan gerilme oranı

$R=0.21$ olup, üç eksenli bir gerilme tensörünü göstermektedir. Burada hesaplanan ortaç ana gerilme (σ_2), sıkışma karakterinde olup, düşey olan en büyük ana gerilmeden ($\sigma_1=\sigma_v$) farklıdır (Şekil 2 b).

FAYLARIN KİNEMATİK ANALİZİ

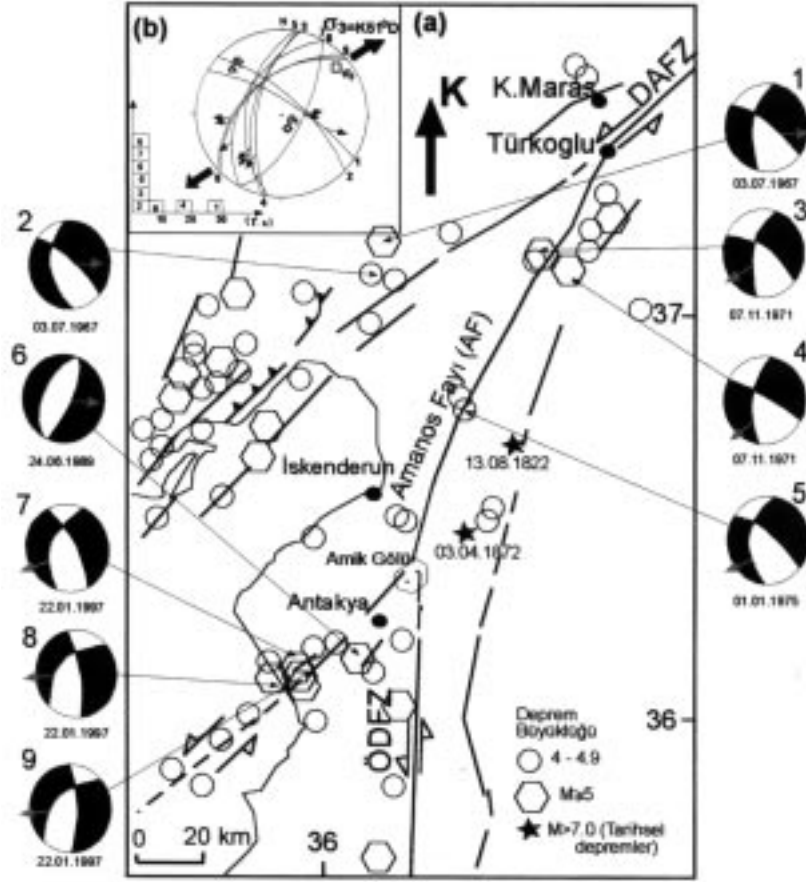
Fay topluluklarının kinematiği, aktif fay düzlemleri üzerinde ölçülen kayma vektörlerinin değerlendirilmesi sonucunda elde edilmektedir. Her bir fay düzlemi üzerindeki kayma vektörü (kayma vektörü : fay düzlemi boyunca oluşan maksimum atım vektörü) etkin çözümlenmiş makaslama gerilmesinin yönünde ise (Bott, 1959), ölçülen kayma vektörlerinin ters çözüm işlemi (inversion) ile en uygun gerilme tensörü hesaplanabilir (Carey, 1979; Angelier, 1984). Bu yöntemde, rijid bloklar arasında yer alan hareket bağımsız olduğu gibi, fay düzlemi üzerinde ölçülen kayma vektörünün (s), her bir fay düzlemi için çözümlenen etkin makaslama gerilmesine (τ) paralel ve onunla aynı yönde olduğu öngörülmektedir. Böylece ölçülen kayma vektörü (s) ve öngörülen makaslama vektörü (τ) arasındaki (τ, s) açısı (Şekil 3) minimize edilerek en uygun gerilme tensörü hesaplanır (Carey ve Brunier, 1974; Carey, 1979). Ters çözüm işlemi sonucunda, gerilme tensörünün ana gerilme eksenlerinin (σ_1, σ_2 ve σ_3 ; sırasıyla sıkışma, ortaç ve genişleme gerilmeleri) doğrultuları (azimut ve dalım) ve gerilme oranı, $R=(\sigma_2-\sigma_1) / (\sigma_3-\sigma_1)$ belirlenir.

Çizelge 1. Hatay bölgesinde kaydedilen sığ odaklı depremlerin odak mekanizmalarına ait sayısal değerler.

Table 1. Parameters of focal mechanisms of shallow earthquakes occurred along the Hatay region.

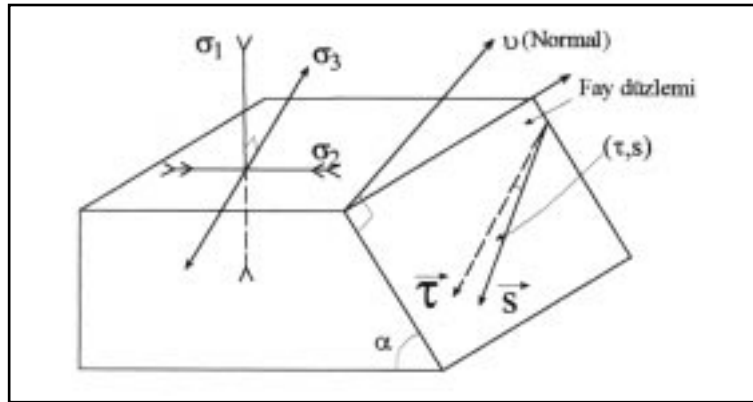
Lokasyon No	Tarih	Enlem	Boylam	Düzlem 1 Doğ./eğim°	Düzlem 2 Doğ./eğim°	T-ekseni Az/dalım	Manyitüd M _b	Derinlik (km)	Kaynak
1	7 / 04 / 1967	37.43	36.17	192 / 54	301 / 70	63 / 7	5.0 (Ms)	38	1
2	7 / 04 / 1967	37.36	36.27	312 / 64	174 / 37	352 / 21	4.9 (Ms)	32	1
3	11 / 07 / 1971	37.17	36.71	191 / 52	304 / 68	64 / 9	5.2	9	2
4	11 / 07 / 1971	36.12	36.80	189 / 58	294 / 70	59 / 7	5.2	19	1
5	1 / 01 / 1975	36.67	36.49	300 / 65	198 / 44	58 / 14	4.8	35	2
6	24 / 06 / 1989	36.28	36.13	203 / 28	27 / 62	115 / 17	5.1(Mw)	15	3
7	22 / 01 / 1997	36.23	35.85	208 / 38	331 / 68	80 / 17	5.5	33	4
8	22 / 01 / 1997	36.21	35.65	228 / 42NW	358 / 62	108 / 10	5.2	33	4
9	22 / 01 / 1997	39.21	35.92	225 / 43	355 / 64	108 / 10	5.3	33	4

(Az: Azimut, Kaynak 1: Büyükaşikoğlu, 1980; 2: Osmaşahin vd., 1986; 3:Harward çözüm kataloğu; 4: Erdik vd., 1997).



Şekil 2. (a) Hatay bölgesi ve çevresinin sismotektoniği. (sayı ile belirtilenler bu çalışmada kullanılan deprem odak çözüm mekanizmaları) ve (b) deprem odak çözüm mekanizmalarından yararlanılarak gerçekleştirilen kinematik analiz sonuçlarının eşit açılı alt yarımküre (Wulf) üzerine izdüşümü.

Figure 2. (a) Seismotectonic features of Hatay region and surroundings. (numbers outside the balloons refer to the focal mechanism labels using in this study), and (b) results of kinematic analysis, from the focal mechanisms of earthquakes, demonstrated on the Lower hemisphere stereoplote (Wulf).

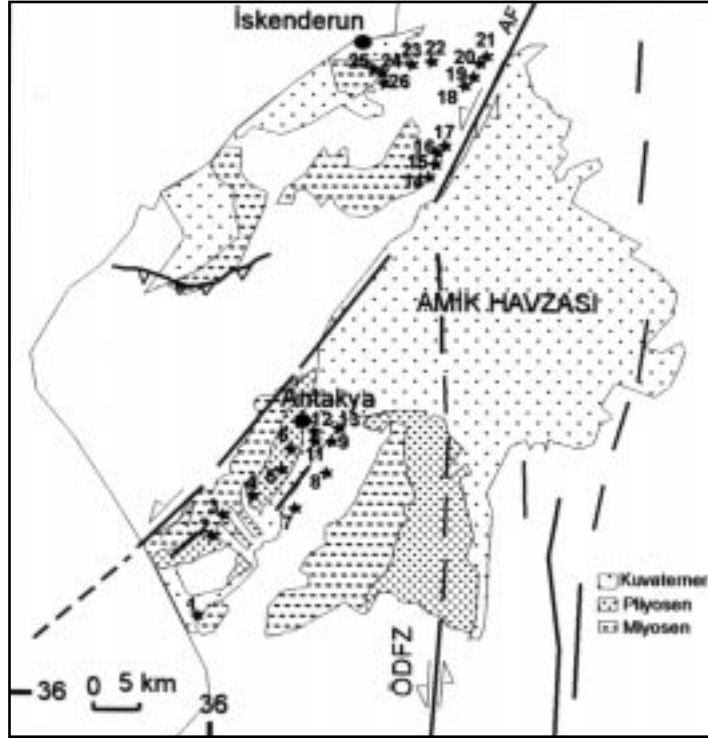


Şekil 3. Bir faya ait blok diyagram üzerinde öngörülen kayma vektörü (τ) ile ölçülen kayma vektörü (s) arasındaki açı (σ_1 , σ_2 ve σ_3 sırasıyla sıkışma, ortaç ve genişleme ana gerilme yönleri. v , düzlemin normalidir).

Figure 3. Block diagram of a fault plane. (τ , s): deviation angles between predicted slip (τ) and computed slip (s) (σ_1 , σ_2 ve σ_3 are compressional, intermediate and extensional stress axes. v : normal vector, respectively).

Uygulamada genel olarak terslenme işlemi sonucunda (τ , s) açıların % 80'i 20° den küçük ise, sonuç güvenilir olarak kabul edilmektedir. Aynı fay düzlemi üzerinde birbirini kesen iki kayma vektörü mevcut ise, gerilme tensörünün değiştiği anlamına gelmektedir (Mercier ve Ver-

gely, 1992). Burada, üzerleyen vektör daha genç gerilme rejimini temsil ederek, farklı gerilme rejimleri arasındaki zamansal ilişkiyi (kronoloji) vermektedir. Bu çalışmada, Şekil 4'de görülen tüm lokasyonlarda ölçülmüş fayların kinematik analizi yapılmıştır.



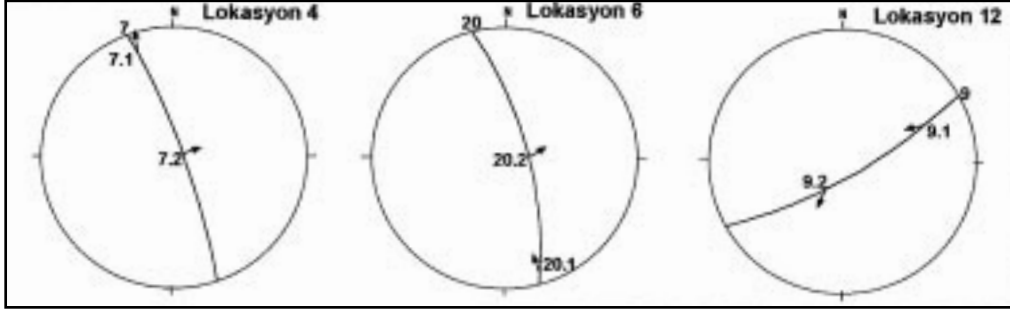
Şekil 4. Hatay bölgesinin basitleştirilmiş jeolojik haritası ve kinematik analizlerin yapıldığı lokasyonlar.
Figure 4. Simplified geological map of Hatay region and the locations of fault-slip measurement sites.

Pliyo-Kuvaterner'den günümüze kadar etkin olan gerilme rejimlerinde bir değişimin olduğu saptanmıştır. Bu değişim, doğrultu atımlı rejimden açılma rejimine doğrudur. Bir çok ölçüm noktasında doğrultu atım vektörünün, normal faylanmayı temsil eden kayma vektörü tarafından kesildiği gözlenmiştir. Şekil 5, çalışma bölgesinde gözlemlenen kayma vektörleri arasındaki zamansal ilişkiyi göstermektedir. 4, 6 ve 12 numaralı lokasyonlar doğrultu atımlı rejimi temsil eden kayma vektörü (.1), daha genç olan açılma rejimini karakterize eden kayma vektörü (.2) tarafından verev olarak kesilmiştir.

Doğrultu Atımlı Gerilme Rejimi

Doğrultu atımlı gerilme rejimine ait kayma vektörleri, Miyosen ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökel-

ler ile bunların yanısıra, Eosen yaşlı kireçtaşlarını kesen fay düzlemleri üzerindeki kayma vektörlerinin ters çözüm işlemi sonucunda elde edilmiştir. Doğrultu atımlı gerilme rejimine ait tüm lokasyonlar için yapılan fay kinematik analizi sonuçları Şekil 6 ve Çizelge 2' de verilmiştir. Bu rejime ait lokasyonlarda gerçekleştirilen ters çözüm işlemi sonucunda elde edilen en büyük yatay gerilme eksenini, σ_{Hmax} (σ_3) KD-GB, en küçük yatay gerilme σ_{Hmin} (σ_3) ise, KB-GD gidişlidir. Fayların kinematik analiz sonuçları eşit açılı alt yarım küre (Wulf) üzerinde gösterilmiştir. Öngörülen kayma vektörü (τ) ile ölçülen kayma vektörü (s) arasındaki sapma açıları histogram şeklinde (bknz. Şekil 6), ana gerilmelerin (σ_1, σ_2 ve σ_3) gidiş ve dalımları ise, Çizelge 2' de verilmiştir. Doğrultu atımlı gerilme rejimine ait parametre-



Şekil 5. 4, 6 ve 12 numaralı lokasyonlarda belirlenen kayma vektörleri arasındaki kronolojik ilişki (Her fay düzlemi üzerindeki yaşlı olan kayma vektörü .1 ve genç olan kayma vektörü ise .2 ile gösterilmiştir).
 Figure 5. Chronology, e.g., cross-cutting relationship between different families of slip-vectors measured on fault planes at sites of 4, 6 and 12 (the older slip-vector on each fault plane is indicated by .1 and the younger by .2).

lerin daha güvenilir bir şekilde elde edilmesi için, Fisher istatistiği (Watson, 1960) uygulanmıştır. Fisher istatistiğinde sadece en büyük yatay gerilme ($\sigma_{Hmax}=\sigma_1$) ile en küçük yatay gerilme ($\sigma_{Hmin}=\sigma_3$) için % 95 güvenilirlik elipsi hesaplanmıştır. Buna göre, σ_1 ve σ_3 'ün doğrultuları sırasıyla $K326^\circ D\pm 11^\circ$ ve $K57^\circ D\pm 11^\circ$ ve dalım açıları ise sırasıyla 1° ve 2° dir (Çizelge 2 deki SS.1): 11° lik değer, Fisher istatistiğinde % 95 güvenilirlik elipsine karşılık gelen belirsizlik değeridir.

KD-GB σ_1 ve KB-DG σ_3 eksenleri ile temsil edilen doğrultu atımlı gerilme rejimi, Doğu Anadolu ve Ölü Deniz Fayları üzerinde sol yönlü doğrultu atımlı bir hareketi sağlamaktadır.

KD-GB Yönelimli Açılma Rejimi

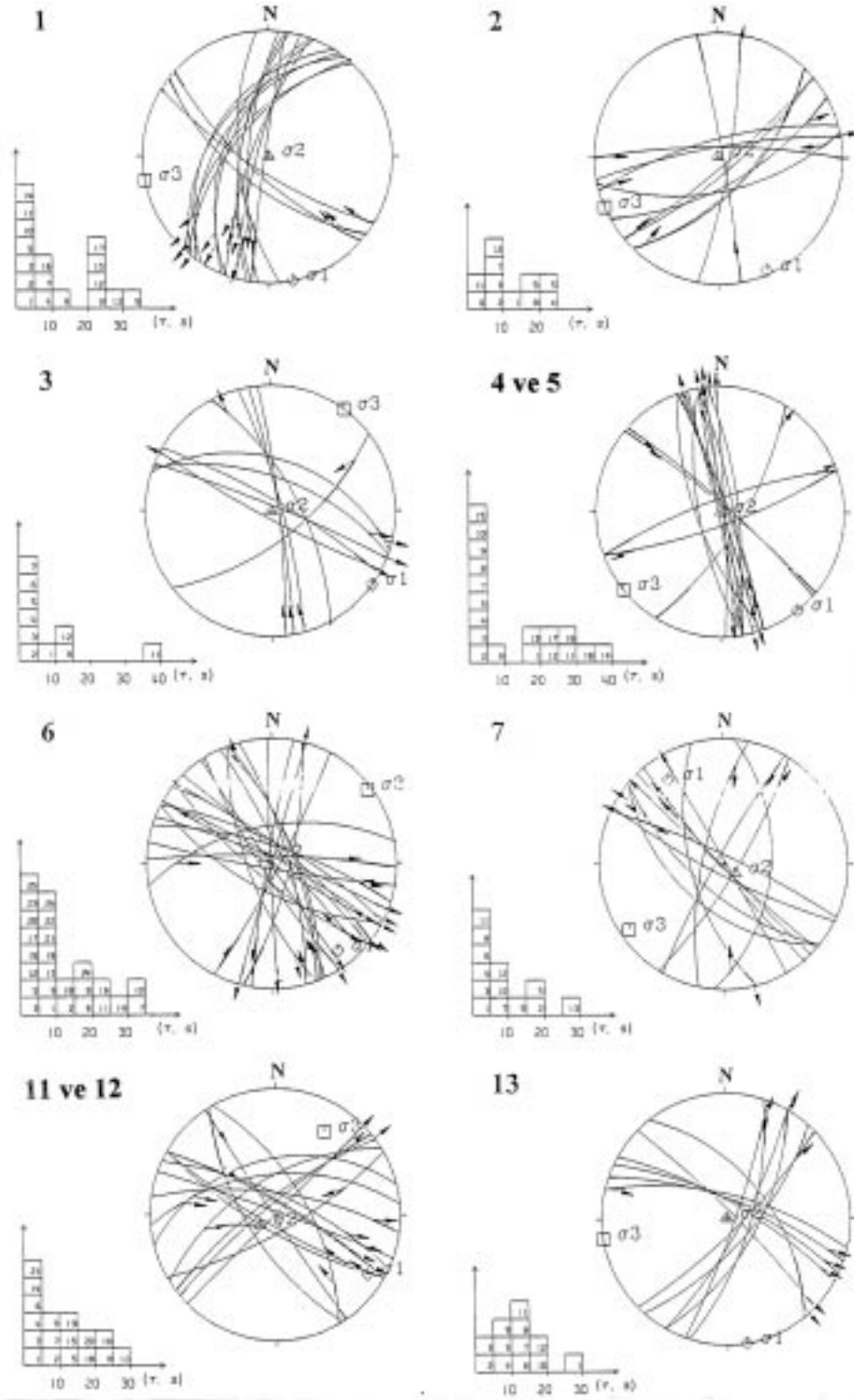
KD-GB yönelimli açılma rejimi ile uyumlu olarak elde edilen normal faylanmalara ait kayma vektörleri geç Kuvaterner, Pliyo-Kuvaterner ve Miyosen yaşlı çökellerin yanısıra, Eosen çökelleri-

Çizelge 2. Doğrultu atımlı rejime ait her bir lokasyonda gerçekleştirilen kinematik analiz sonuçları.
 Table 2. Results of stress tensor inversions for slip data representing strike-slip faulting stress regimes.

Lokasyon No	N	σ_1 Az/dalım	σ_2 Az/dalım	σ_3 Az/dalım	R	M.D.	S. D.
1	17	169 / 0	14 / 90	259 / 0	0.41	11.3	15.8
2	11	157 / 1	338 / 89	247 / 0	0.04	10.1	12.8
3	10	136 / 0	272 / 90	36 / 0	0.81	7.9	12.6
4ve5	18	147 / 0	310 / 90	232 / 0	0.55	12.4	17.7
6	25	143 / 8	310 / 82	53 / 2	0.85	11.0	14.4
7	13	326 / 12	127 / 77	236 / 4	0.83	6.2	9.1
11ve12	16	123 / 9	242 / 73	30 / 15	0.94	10.7	13.8
13	12	173 / 6	289 / 77	81 / 12	0.47	11.3	12.8
14-17	21	328 / 16	165 / 73	59 / 5	0.13	13.5	15.6
18	15	353 / 10	177 / 80	83 / 1	0.33	9.9	12.4
19	10	135 / 7	309 / 83	45 / 1	0.32	9.5	11.3
20ve21	11	133 / 9	156 / 81	63 / 0	0.05	9.7	11.6
23ve24	30	330 / 6	193 / 82	60 / 6	0.91	13.9	16.3
25ve26	15	297 / 2	40 / 80	207 / 10	0.54	8.1	9.8

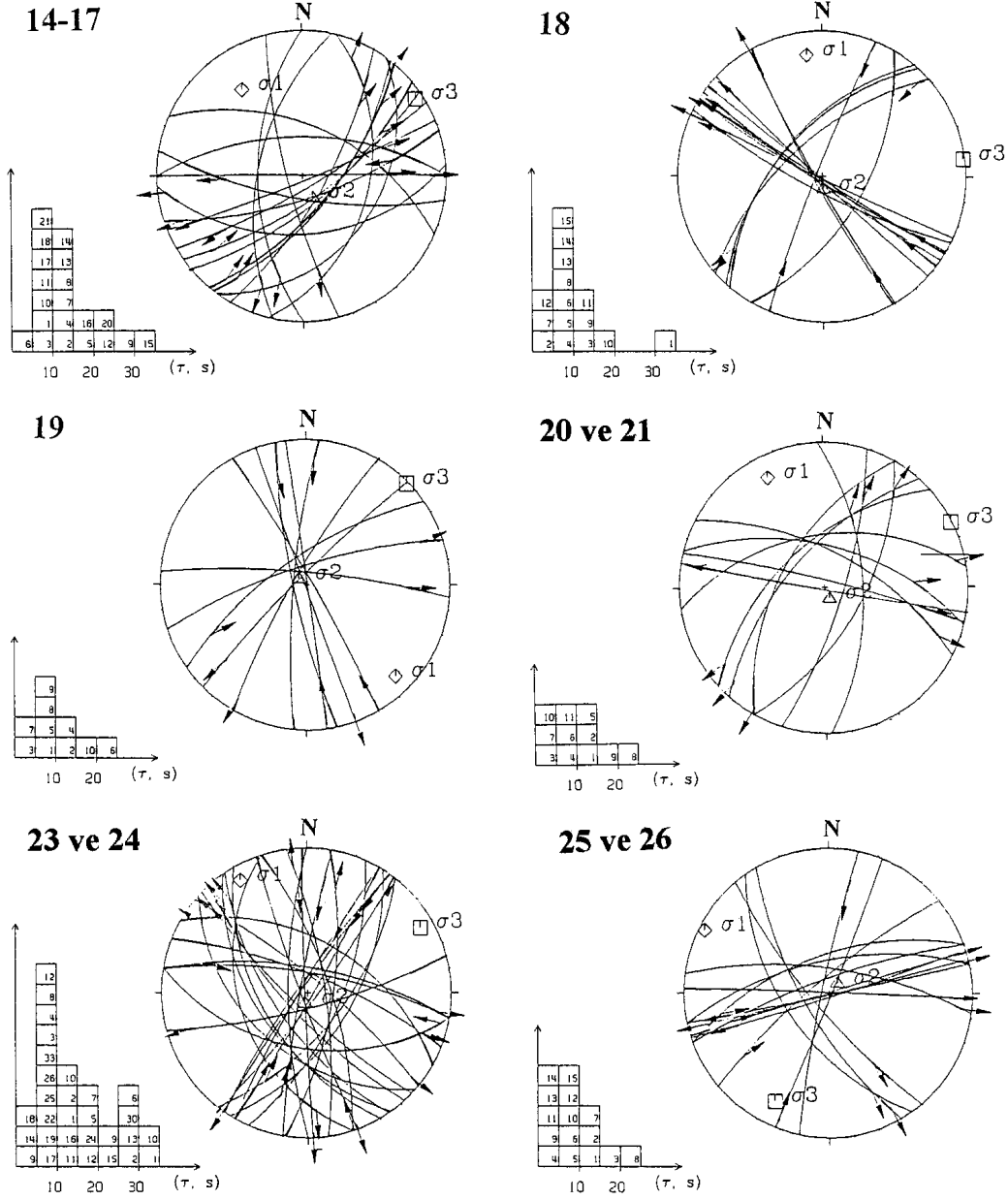
SS.1 $\sigma_1 = 326 \pm 11^\circ / 1^\circ$ and $\sigma_3 = 57 \pm 11^\circ / 2^\circ$ **R= 0.5**

Az: Azimut, M.D: Ortalama sapma açısı, $M.D=(\sum(\tau, s^2))/N$ ve S.D: Standart sapma açısı, $S.D=\{(\sum(\tau, s^2))/N\}^{1/2}$ R: Gerilme oranı [$R=(\sigma_2-\sigma_1)/(\sigma_3-\sigma_1)$] (Lokasyon kolonundaki "&": İki lokasyonun birleştirilmesi. N : fay düzlemi sayısıdır. SS.1: Fisher istatistik sonuçları).



Şekil 6 a. Çizelge 2'de verilen doğrultu atımlı gerilme rejimine ait lokasyonlarda gerçekleştirilen kinematik analiz sonuçlarının eşit açıları alt yarımküre (Wulf) üzerinde (öngörülen kayma vektörü (τ) ile hesaplanan kayma vektörü (s) arasındaki sapma açısının dağılımı histogramlarda verilmiştir) görülmektedir.

Figure 6 a. The results of kinematic analysis for the strike-slip stress regime given in Table 2 located to the lower hemisphere stereoplot (Wulf) (histograms show the distribution of deviation angles between predicted (τ) and the computed (s) slip-vectors).



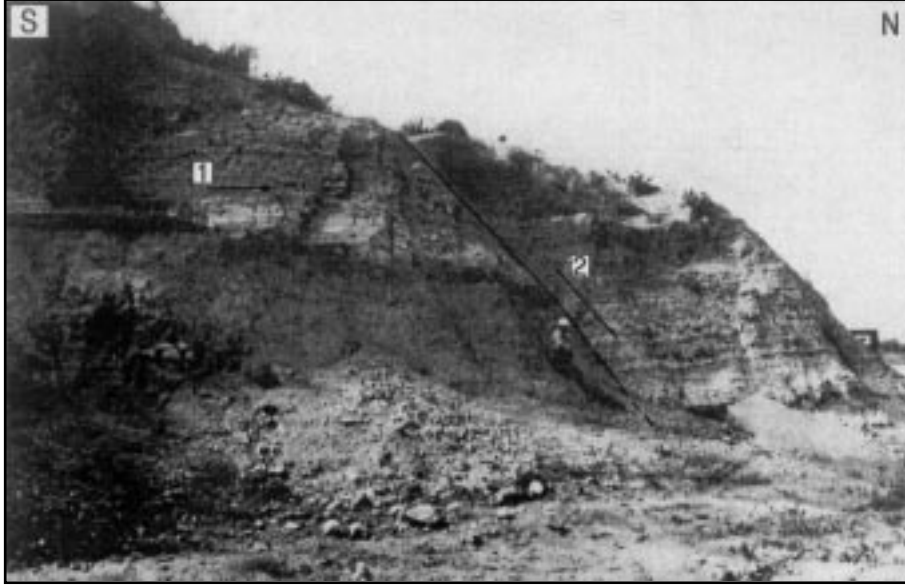
Şekil 6 b. Çizelge 2'de verilen doğrultu atımlı gerilme rejimine ait lokasyonlarda gerçekleştirilen kinematik analiz sonuçlarının eşit açılı alt yarımküre (Wulf) üzerinde (öngörülen kayma vektörü (τ) ile hesaplanan kayma vektörü (s) arasındaki sapma açısının dağılımı histogramlarda verilmiştir) görülmektedir. Stereonetlerin sol üst tarafında verilen numaralar Şekil 4'de gösterilen lokasyonlara karşılık gelmektedir. Sonuçlar, asal gerilme parametrelerini (σ_1 , σ_2 ve σ_3 asal gerilme eksenleri) içermektedir. Azimut ve dalım değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Figure 6 b. The results of kinematic analysis for the strike-slip stress regime given in Table 2 located to the lower hemisphere stereonet (Wulf) (histograms show the distribution of deviation angles between predicted (τ) and the computed (s) slip-vectors). Labels outside and to the left of stereonets refer to sides located in Figure 4. The results include deviatoric stress parameters, i.e., σ_1 , σ_2 and σ_3 deviatoric stress axes. Their azimuth and plunge are reported in Table 2.

ni de etkilemiştir. Bu deformasyonun önemli örneklerinden biri, Antakya-Samandağ yolu boyunca 3 numaralı gözlem noktasında gözlenmiştir. Doğrultu atımlı faylanmayla deformasyona uğramış Pliyo-Kuvaterner yaşlı kil, silt ve kumtaşı serileri, daha sonra normal faylanmaya maruz kalmışlar ve bunların üzerinde yaklaşık 3.5 m'lik bir düşey atım belirlenmiştir (Şekil 7). Bu lokasyonda, sadece dört normal fay atımı ölçülebilmektedir. 3 numaralı ölçüm noktasında verilerin yetersizliğinden dolayı gerilme tensörünün hesaplaması mümkün olamamıştır. Ancak açıl-

ma yönlerinin göstergeleri, fayların karakterleri ve diğer saha gözlemleri ile ortaya konmuştur (Çizelge 3'deki 3 numaralı lokasyon).

Normal faylanmaya ait kinematik analiz sonuçları Şekil 8 ve Çizelge 3'de verilmiştir. Normal faylanma rejiminin parametrelerinin daha da güvenilir bir şekilde elde edilmesi için, Fisher istatistiğinin % 95 güvenilirlik elipsi kullanılarak gerilme yönleri saptanmıştır. Fisher istatistiğinde sadece en büyük yatay gerilme (σ_2) ile en küçük yatay gerilme (σ_3) için % 95 güvenilirlik elip-



Şekil 7. 3 numaralı lokasyonda Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimlerde batıya doğru bir görünüm. 1: doğrultu atımlı fay, 2: normal fay.

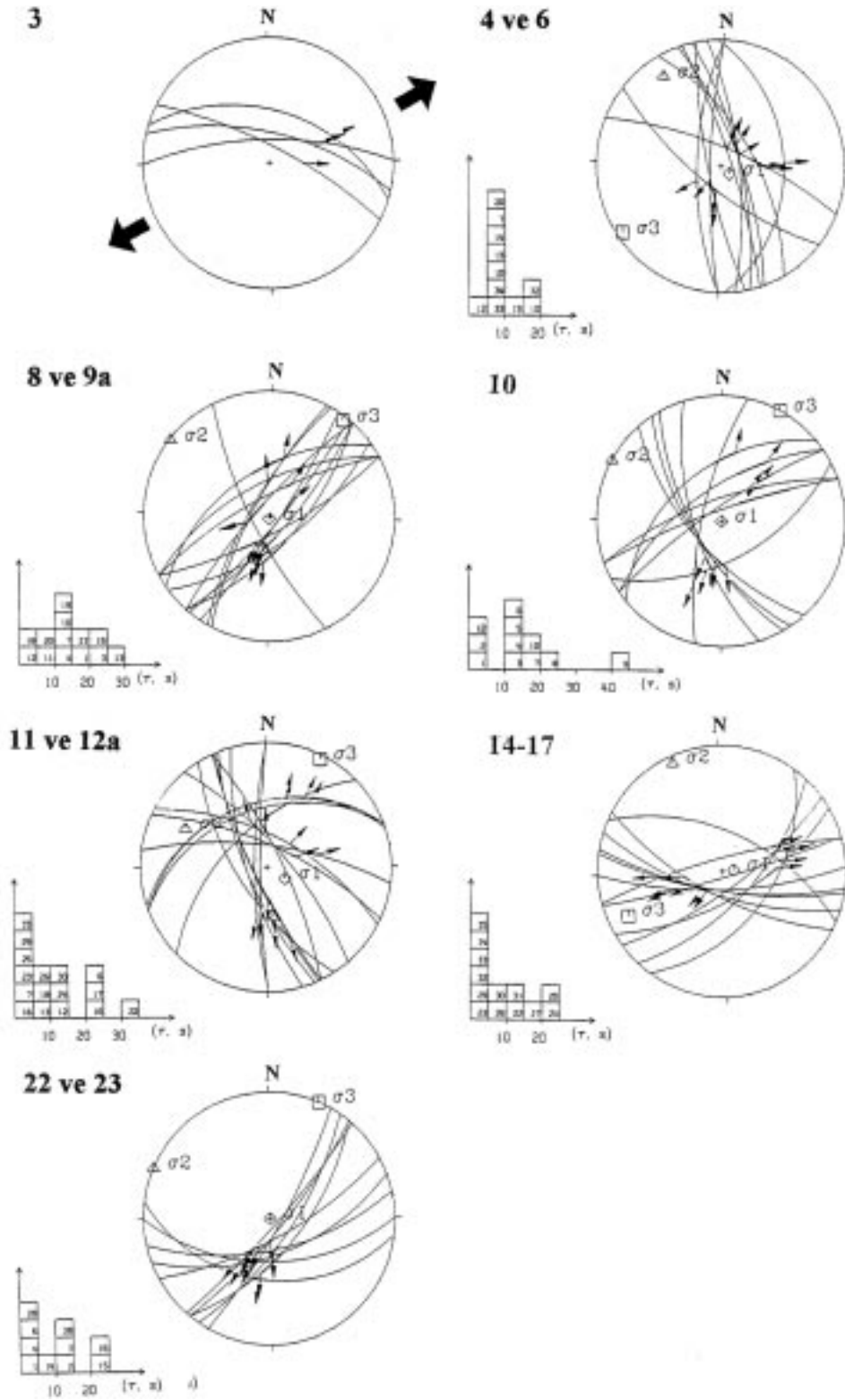
Figure 7. West facing photography view in Plio-Quaternary deposits at site 3. 1: strike-slip fault, 2: normal fault.

Çizelge 3. Açılma rejime ait her bir lokasyonda gerçekleştirilen kinematik analiz sonuçları.

Table 3. Results of stress tensor inversions for slip data representing extensional stress regimes.

Lokasyon No	N	σ_1 Az/dalım	σ_2 Az/dalım	σ_3 Az/dalım	R	M.D.	S. D.
3				KD-GB			
4 ve 6	11	129 / 80	325 / 10	234 / 3	0.84	8.9	9.8
8 ve 9a	13	201 / 88	306 / 1	36 / 1	0.67	12.9	15.1
10	11	127 / 90	298 / 0	28 / 0	0.51	14.4	18.3
11 ve 12	16	123 / 71	296 / 19	27 / 2	0.60	11.2	14.2
14-17	13	85 / 79	337 / 3	247 / 10	0.53	9.0	11.8
22 ve 23	10	128 / 90	294 / 0	24 / 0	0.66	8.3	13.9
SS.2		$\sigma_2 = 308 \pm 16^\circ / 6^\circ$ and $\sigma_3 = 218 \pm 19^\circ / 2^\circ$			Rm= 0.63		
SS.fm		$\sigma_2 = 327 / 13^\circ$ and $\sigma_3 = 51 / 1^\circ$			R= 0.21		

Az: Azimut, M.D: Ortalama sapma açısı, $M.D = (\sum (\tau, s)^2) / N$ ve S.D: Standart sapma açısı, $S.D = \{(\sum (\tau, s)^2) / N\}^{1/2}$ R: Gerilme oranı $[R = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\sigma_3 - \sigma_1)]$ SS.2: Fisher istatistik sonuçları.



Şekil 8. Çizelge 3'de verilen açılma rejimine ait lokasyonlarda gerçekleştirilen kinematik analiz sonuçlarının eşit açılı alt yarımküre (Wulf) üzerine izdüşümü.

Figure 8. The results of kinematic analysis for the extensional stress regime given in Table 3 located to the Lower hemisphere stereoplot (Wulf).

si hesaplanmıştır. Buna göre, σ_2 ve σ_3 eksenlerinin gidişleri sırasıyla $K308^\circ D \pm 16^\circ$ ve $K218^\circ D \pm 19^\circ$ dalım açıları ise 6° ve 2° dir. (Çizelge 3' deki SS.2): 16° ve 19° değerleri Fisher istatistiğinde % 95 güvenilirlik elipsine karşılık gelen belirsizliktir.

Bu çalışmada elde edilen KD-GB yönelimli açılma rejimi, Perinçek ve Çemen (1990)'in sonuçları ile uyum göstermektedir. Sismik yansıma kesitlerinden, KD-GB yönlü açılma ile uyumlu olarak havzayı sınırlayan büyük ölçekli normal fayların varlığı ortaya konmaktadır. Fayların kinematik analiz çalışmaları sonucunda, Lybérís vd. (1992), Antakya güneyinde küçük ölçekli ve normal bileşen içeren sol yanal doğrultu atımların yanı sıra, Amik havzasının güneyinde KD-GB yönlü bir açılmayı da gözlemlemiştir.

Yukarıdaki bölümlerde ifade edildiği gibi, deprem odak mekanizmalarının ters çözüm işlemi de KD-GB yönelimli açılma rejiminin geniş bir bölgeye (Kahramanmaraş ile Amik havzasının güneyi arasındaki bölge) yayıldığını göstermektedir. Bu sonuçlar, bir çok araştırmacının (Perinçek ve Çemen, 1990; Büyükaşıkoğlu, 1980; Şaroğlu vd., 1992) sonuçlarıyla da uyumluluk göstermektedir. Odak mekanizması analizlerinden Büyükaşıkoğlu (1980), Hatay bölgesinin normal faylanmalı bir zon olabileceğini ifade etmektedir. Yapısal ilişkilere dayanarak, Hatay bölgesi bir çöküntü alanı (Perinçek ve Çemen, 1990; Şaroğlu vd., 1992) olarak düşünülmektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Hatay bölgesinde, depremlerin odak mekanizmalarının ters çözümü sonucunda elde edilen güncel gerilme durumu, doğrultu atım bileşenine sahip olan normal faylanma ($\sigma_v = \sigma_1$) rejimi şeklindedir. KD-GB yönelimli bu rejim için hesaplanan σ_{Hmin} (σ_3) eksenin azimutu $K51^\circ D$ dir. Antakya ve çevresinde ölçülen fayların kinematik analizi, çalışma alanında etkin gerilme rejiminin normal faylanma rejimi olduğunu doğrulamaktadır. Açılma rejimi, çalışma alanındaki ana fay sistemleri (Doğu Anadolu Fayı ve Ölü Deniz Fayı) üzerinde sol yanal bileşenli hareketle uyumludur. Bunun yanı sıra, günümüzde etkin olan bu

rejimin, Pliyo-Kuvaterner'de aynı şekilde devam etmemiş olduğu da görülmektedir. Fay düzlemleri üzerinde ölçülen kayma vektörlerinin ters çözüm işleminin yanı sıra, kayma vektörlerinin birbirlerini kesmeleri sonucunda saptanan zamansal ilişki, Antakya ve civarında etkin gerilme rejiminin doğrultu atımlı rejimden, açılma rejimine doğru değiştiğini göstermektedir. Eosen yaşlı kireçtaşlarından güncel çökellere kadar tüm formasyonları etkileyen bu rejimler, bir yandan eski fay sistemlerini yeniden harekete geçirirken, diğer taraftan yeni fay sistemlerini oluşturmaktadır. KD-GB yönelimli σ_{Hmax} (σ_3) ve KB-GD σ_{Hmin} (σ_3) eksenleriyle temsil edilen doğrultu atımlı gerilme rejimi, Doğu Anadolu ile Ölü Deniz Fayları üzerinde sol yönlü doğrultu atımlı hareketi sağlamaktadır. KB-GD yönlü sıkışma gerilmesine (σ_1) sahip olan bu rejim olasılıkla, bölgede Amas masifinden Kahramanmaraş'a kadar uzanan ve Arabistan levhasının kuzeye doğru hareketine bağlı olarak gelişen sıkışma yapılarının (ters faylar, kıvrımlar ve bindirmeler) (Gökçen vd., 1986; Lybérís vd., 1992) oluşumundan sorumludur.

Gerilme durumundaki değişimin zamanı üzerinde jeolojik bir kontrol gerçekleştirecek ve gerilme durumlarının değişim yaşını kesin olarak belirleyecek yeterince veri yoktur. Ancak, bölgedeki genç volkanizma ve Kuvaterner yaşlı çökeller Hatay bölgesinde genç açılmayı işaret etmektedir (Çapan vd., 1987; Perinçek ve Eren, 1990). KD-GB doğrultulu açılma rejimi olasılıkla, Amik havzasında Perinçek ve Çemen (1990) tarafından elde edilen sismik profillerde görülen ve havzanın oluşumunda etkili olan normal faylanmalardan sorumludur. Lybérís vd., (1992) tarafından yapılan fay kinematiği analizleri, Amik havzası civarında KD-GB yönlü açılma rejiminin varlığını ortaya koymaktadır. Hatay bölgesinde etkin olan gerilme durumları, bölgenin güneybatısındaki yitim zonu (Kıbrıs yayı) ile kuzeydoğusundaki bindirme zonu (Bitlis kenet zonu) boyunca gelişen levha kenarı kuvvetlerinin etkileşiminden kaynaklanmış olabilir. Bununla birlikte, yazarlar, Hatay bölgesindeki KD-GB yönlü açılmanın oluşumunda Kıbrıs yayı boyunca uzanan yitim sürecinin daha etkili olduğu kanısındadır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi Araştırma Fonu'nun M 121 numaralı projesi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ambraseys, N.N., 1965. The seismic history of Cyprus, *Revue. Union international Secours.*, 3, 25-48.
- Ambraseys, N. N., 1970. Some characteristic features of the Anatolian fault zone. *Tectonophysics*, 9, 143-165.
- Ambraseys, N.N., and Barazangi, M., 1989. The 1759 earthquake in the Bekaa Valley : Implications for earthquake hazard assessment in the eastern Mediter-ranean region. *Journal Geophysics Research.*, 94, 4007-4013.
- Angelier, J., 1984 . Tectonic analysis of the slip data sets. *Journal Geophysics Research*, 89, 5835-5848.
- Angelier, J. et Mechler, P., 1977. Sur methode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en sismologie: la methode diédre droit. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 19, 1309-1318.
- Angelier, J., Dumont, J.F., Karamenderesi, H., Poisson, A., Şimşek, S., and Uysal, S., 1981. Analyse of fault mechanisms and expansion of south-western Anatolia since the Late Miocene. *Tectonophysics*, 75, T1-T9.
- Barazangi, M., and Dorman, J., 1969. World seismicity maps compiled from ESSA, Coast and geodetic survey epicenter data 1961-1967. *Bulletin Seismology Society of America*, 59, 369-380.
- Bellier, O., Over, S., Poisson, A., and Andrieux, J., 1997. Recent temporal change in the stress state and modern stress field along North Anatolian Fault Zone (Turkey). *Geophysics Journal International*, 131, 61-86.
- Ben-Meneham, A., Nur., A., and Vered, M., 1976. Tectonic seismicity and structure of the Afro-Eurasian junction, the breaking of an incoherent plate. *Physics Earth Planetary International*, 12 (1), 1-50.
- Bott, M.,H.,P., 1959. The mecanism of oblique slip faulting. *Geological Magazine*, 96, 109-117.
- Büyükaşıkoglu, S., 1980. Sismolojik verilere göre Doğu Akdenizin kuzeyinde ve güneydoğu Anadolu'da Avrasya-Afrika leha sınırının özellikleri. *Deprem Araştırma Bülteni*, 29, 58-74.
- Carey, E., 1979. Recherche des directions principales de contraintes associées au jeu d'une population de failles. *Revue Geological Dynamic and Géography physics*, 21, 57-66.
- Carey, E., et Brunier, B., 1974. Analyse théorique et numérique d'un modèle mécanique élémentaire appliqué à l'étude d'une population de failles. *Comptes Rendus Academia de la Science, Paris*, 279, 891-894.
- Carey-Gailhardis, E., and Mercier, J.L., 1987.- A numerical method for determining the state of stress using focal mechanisms of earthquake populations. *Earth Planetary Sciences Letters*, 82, 165-179.
- Comninakis, P.E., and Papazachos, B.C., 1972. Seismicity and some tectonic features of the Mediterranean ridge. *Bulletin of the Geology Society of America*, 83, 1093-1102.
- Çapan, U.Z., Vidal, P., and Cantagrel, J.M., 1987. K-Ar, Nd, Sr and Pb isotopis study of the Quaternary volcanism in Karasu valley (Hatay), N-end of the Dead sea rift zone in SE Turkey. *Yerbilimleri*, 14, 165-178.
- Demirtaş, R., and Yılmaz, R., 1996. Türkiyenin Sismotektoniği. *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara*, 91 sayfa.
- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Şaroglu, F., and Şengör, A. M. C., 1986. Shortening of continental lithosphere : the neotectonics of Eastern Anatolia - a young collision zone. In: M. P. Coward and A. C. Ries, (eds.), *Collision Tectonics*, Geology Society of London, 19, 3-36.
- Erdik, M., Aydınoglu, N., Pınar, A. ve Kalafat, D., 1997. Hatay Deprem Raporu. *Kandilli Rasathanesi Kayıtları, İstanbul*.
- Gökçen, S.L., Kelling, G., Gökçen, N., and Floyd, P.A., 1986. Sedimentology of a Late Cenozoic collisional sequence: the Missis Complex, southern Turkey. *Sedimentary Geology*, 59, 205-223.
- Gülen, L., Barka, A.A., ve Toksöz, M.N., 1987. Kıtaların çarpışması ve ilgili kompleks deformasyon: Maraş üçlü eklemi ve çevre yapıları. *Yerbilimleri*, 14, 319-336.
- Hancock, P., ve Barka, A.A., 1987. Kinematic indicators on active normal faults in western Turkey. *Journal of the Structural Geology*, 9, 573-584.
- Hempton, M. R., 1987. Constraints on Arabian plate motions; an extensional history of the Red sea. *Tectonics*, 6, 668-705.
- Jackson, J., and Mc Kenzie, D. P., 1984. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal Royal Astronomy Society*, C 77, 185-264.
- Jackson, J., and McKenzie, D.,P., 1988. The relationship between plate motion and seismic

- moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle-East. *Geo-physical Journal of Royal Astronomy Society*, 93, 45-73.
- Koçyiğit, A., 1990. Tectonic stting of the Gülova basin ; total offset of the North Anatolian Fault Zone, E. Pontide, Turkey. *Annales Tectonicae*, 4, 155-170.
- Koçyiğit, A., ve Beyhan, A., 1998. a new intra continental transcurrent structure : the central Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics*, 284, 317-336.
- Le Pichon, X., and Angelier, J., 1979. The Hellenic arc and trench system : a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, 60, 1-42.
- Lovelock, P.E.R., 1984. A review of the tectonics of the northern Middle-East region. *Geological Magazine*, 121, 577-587.
- Lybérís, N., Yurur, T., Chorowicz, J., Kasapoğlu, K. E., and Gündoğdu, N., 1992. The East Anatolian Fault : an oblique collisional belt. *Tectonophysics*, 204, 1-15.
- Mc Kenzie, D. P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean Region. *Geophysical Journal of Royal Astronomy Society* 30, 109-185.
- Mc Kenzie, D.P., 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt : the Aegean sea and surrounding regions (tectonics of Aegean region). *Geophysical Journal of Royal Astronomy Society*, 55, 217-254.
- Mercier J. L. et Vergely, P., 1992. *Tectonique. Collec-tion Géosciences, DUNOD*, 214 pp.
- Mercier J. L., Sorel, D., and Vergely, P., 1989. Extensional tectonic regimes in the Aegean basins during the Cenozoic. *Basin Research*, 2, 49-71.
- Mercier, J.L., Carey-Gailhardis, E., and Sébrier, M. 1991. Paleostress determinations from fault kinematics: application to the neotectonics of the Himalayas-Tibet and the Central Andes. *Philosophy Translation Royal Society of London A*, 337, 41-52.
- Muehlberger, W.B., 1981. The splintering of the Dead Sea fault zone in Turkey. *Yerbilimleri*, 8, 125-130.
- Nowroozi, A. A., 1972. Focal mechanism of earthquakes in Persia, Turkey, West Pakistan and Afghanistan, and plate tectonics of the Middle East. *Bulletin of Seismological Society of America*, 62, 823-850.
- Nur A., and Ben-Avraham, Z., 1978. The eastern Mediterranean and the Levant: Tectonics of continental collision. *Tectonics*, 46, 297-311.
- Osmanşahin, İ., Ekşi, F. ve Alptekin, Ö., 1986. Doğu Anadolu ve Kafkasya bölgesinin depremselliği ve aktif tektoniği. *Deprem Araştırma Bülteni*, 52, 5-41.
- Över, S., Bellier, O., Poisson, A., Andrieux, J., et Tutkun, Z. 1993. Esquisse de l'évolution néogène à l'actuelle de l'état de contrainte dans la partie centrale de la Faille Nord Anatolienne (Turquie). *Comptes Rendus Academia de la Sciences, Paris*, 317, 827-833.
- Över, S., Bellier, O., Poisson, A., and Andrieux, J., 1997. Late Cenozoic stress state changes along the central North Anatolian Fault zone (Turkey). *Annales Tectonicae*, 11, 75-101.
- Perinçek, D., and Çemen, İ., 1990. The structural relationship between the East Anatolian Fault and Dead Sea Fault zones in southern Turkey. *Tectonophysics*, 172, 331-340.
- Perinçek, D., ve Eren, A.G., 1990. Doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fayı ve Ölü Deniz Fay Zonları etki alanında gelişen Amik havzasının kökeni. *Türkiye 8. Petrol Kongresi Bildiri Kitabı*, 180-192.
- Rotstein, Y., and Kafka, A.L., 1982. Seismotectonics of the southern boundary of Anatolia, eastern Medi-terranean region: subduction, collision and arc jumping. *Journal Geophysics Research*, 87(B9), 7694-7706.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., and Kuşçu, İ., 1992. The East Anatolian fault zone of Turkey. *Anales Tectonicae*, VI, 99-125.
- Şengör, A. M. C., 1979. The North Anatolian transform fault : its age, offset and tectonic significance. *Journal Geology Society of London*, 136, 269-282.
- Watson, G.S., 1969. More significance tests on the sphere. *Biomtrika*, 47, 87-91.
- Westaway, R., 1994. Present-day kinematics of the Middle East and eastern Mediterranean. *Journal Geophysics Research*, 99, 12071-12090.
- Westaway, R., and Arger, J., 1996. the Gölbaşı basin, southern Turkey : a complex discontinuity in a major strike-slip fault zone. *Journal of the Geological Society London*, 153, 729-744.
- Zanchi, A., and Angelier, J., 1993. Seismotectonics of western Anatolia: regional stress orientation from geophysical and geological data. *Tectonophysics*, 222, 259-274.