

Kuzey Anadolu Fayı İçin Önerilen Çok Fazlı Faylanma Mekanizması ve ilgili Depremlerin Öngörülmesi *

*A multiple mode of faulting mechanism proposed for the North Anatolian Fault and prediction of related earthquakes***

K. ERÇİN KASAPOĞLU Yerbilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi Beytepe - Ankara

ÖZ: Kuzey Anadolu Fayı (KAF) zonundaki gerilim (stress), birim-deformasyon (strain) ve yerdeğişim (displacement) dağılımları, fay çevresindeki plakaların analitik modeli üzerinde, sonlu elemanlar (finite elements) yöntemi ile araştırılmıştır. Arap plakasının kuzeye doğru hareketi, fayın doğu ucu çevresinde çekici gerilim birikimine neden olmaktadır. İlk faylanma, bu uçta çekici kırılma biçiminde oluşmakta; ve KD - GB yönünde, Doğu Anadolu Fayı (DAF) boyunca açılarak ilerlemektedir. DAF boyunca oluşan hareketler, KAF'ın doğu ucunda daha önce birikmiş olan çekici gerilimleri boşaltmakta; ve bu gerilim boşalması, KAF boyunca yeni bir gerilim - birimdeformasyon dağılımını oluşturmaktadır. Bu yeni dağılım ise, daha sonra, sürtünmeli dayanım ölçütü (frictional strength criterion) ne göre, 'kayma' (slip) biçiminde oluşan kırılmalara neden olmaktadır. KAF'ın doğu ucundan başlayarak batıya doğru ilerleyen bu makaslama (shear) kırıkları, 'ilerleyici faylanma' (progressive faulting) olarak tanımlanmışlardır. Bu ilerleyici kırıklar, fay zonunun orta kesimine erişmeden önce; faylanmanın üçüncü fazı, yine makaslama kırıkları biçiminde, fakat bu kez KAF'ın batı ucundan başlayarak geriye (doğuya) doğru ilerlemektedir. Faylanmanın bu üçüncü fazı ise, 'gerileyici faylanma' (retrogressive faulting) olarak tanımlanmıştır. Sonuç olarak, KAF için 'ilerleyici ve gerileyici darbeli-kayma' (progressive and retrogressive strike-slip) biçiminde bir faylanma mekanizması önerilmiştir.

Fay zonunda birikmiş olan elastik birimdeformasyon enerjisi, doğu ve batı kesimlerde oluşan ilerleyici ve gerileyici faylanmalar ile büyük ölçüde boşalmakta; fay zonunun orta kesiminde, büyük depremlere neden olabilecek önemli bir kırılmaya görülmektedir. Bu nedenle, fay zonunun bu orta kesimi, özellikle 33° D ve 35° D boylamları arası, bir 'sismik boşluk' (seismic gap) olarak nitelendirilebilir. Öte yandan, fay zonunun bu orta kesiminde sürekli bir birimdeformasyon enerjisi birikimine işaret sayılabilecek önemli bazı krip olayları gözlenmiştir. Bu nedenle, gelecekte büyük bir depremin bu sismik boşluk bölgesinde oluşabilme olasılığının ciddi bir biçimde düşürülmesi gerekir.

(*) 31 Mart - 5 Nisan 1980 tarihleri arasında İstanbul'da düzenlenen 'Kuzey Anadolu Fay Zonunda Depremlerin Öngörülmesi Araştırmaları Üzerine Disiplinlerarası Konferans' da sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

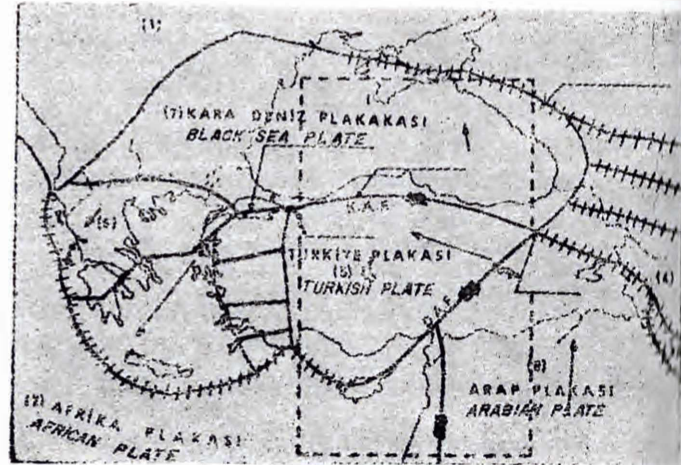
(**) Orally presented at 'Interdisciplinary Conference on Earthquake Prediction Research in the North, Anatolian Fault Zone' (March 31 - April 5, 1980 - İstanbul) in english.

ABSTRACT: Investigation of the nature of stress, strain and displacement distributions in the North Anatolian Fault (NAF) zone, has been attempted on an analytical model of the plates adjacent to the fault, utilizing the finite element techniques. Concentration of tensile stresses occurs around the eastern end of the fault zone, as a consequence of northward movement of the Arabian plate. Initial faulting occurs at this end, in the form of a tensile fracture, opens and propagates diagonally in NE - SW direction along the East Anatolian Fault (EAF). Movements along the EAF, releases the tensile stresses originally developed at the eastern end of the NAF; and thus causes a redistribution of stresses and strains in the NAF zone. This redistribution is responsible for the subsequent ruptures, predominantly in 'slip' mode; and associated with a frictional strength criterion. These shear fractures initially are described as 'progressive faulting'. Before these progressive ruptures could reach to the central portion of the fault zone; a third mode of faulting begins, again as shear fractures, at the western end of the NAF and propagates backward along the fault, towards east. This third mode of faulting is described as 'retrogressive'. So, the proposed faulting mechanism for the NAF, is a 'progressive and retrogressive strike-slip' mechanism.

The elastic strain energy accumulated in the fault zone, is largely released by these progressive and retrogressive ruptures in the eastern and western sections; and no important ruptures occur in the central section of the fault to cause large earth-quakes. Therefore, this central section of the NAF zone, specifically between the longitudes of 33°E and 35°E, may be considered as a 'seismic gap'. However, there are evidences of continuous creep events in the central section of the fault zone indicating a continuous strain energy accumulation in this area. Therefore, the possibility of a large earthquake to occur in the future in this seismic gap area, should be seriously considered.

GİRİŞ

Yaklaşık 1100 km, uzunluğunda ve 40 km, genişliğindeki Kuzey Anadolu Fayı (KAF) zonu, doğudan batıya hemen tüm Türkiye'yi kateden bir kuşaktır (Şekil 1). Türkiye'deki büyük şiddetteki ($M > 6.5$) depremlerin çoğunlukla bu kuşak içinde oluştukları bilinmektedir. Bunlardan sonuncusu, 19 Ağustos 1966 da Varto'da oluşan 6.9 şiddetindeki depremdir. Plaka tektoniği açısından bakıldığında; KAF'ın, kuzeydeki 'Karadeniz plakası' ile güneydeki 'Türkiye plakası' arasındaki sınırı oluşturduğu; ve sınır boyunca sağ-yanal atımlı hareketlerin yer aldığı görülmüştür (Şekil 2). Yeni küresel tektonik kuramı 'new theory of global tectonics' ise, KAF zonunu, geniş plakaların birbirine göre celi yanar hareketlerinin sözkonusu olduğu şiddetli bir deformasyon bölgesi olarak algılamaktadır. KAF zonu, deprem konusunda, özellikle son birkaç on yılda daha etkin olmuştur. 1939 dan 1979 a kadar KAF üzerinde, 30° D ve 40° D boylamları arasında, 6.8 ve daha büyük şiddetle yedi deprem olmuştur. Ayrıca, KAF ile Doğu



Şekil 2: McKenzie (1972)'nin plaka tektoniği modeli (Kesik çizgiler, analitik model sınırlarını belirlemektedir).

Figure 2: Plate tectonics model of McKenzie (1972) (Dashed lines indicate the analytical model boundaries).

Anadolu Fayı (DAF)'nın kesim noktası çevresinde de çok sayıda küçük depremler kaydedilmiştir.

Şekil 3 üzerine yerleştirilmiş olan deprem verilerine göre KAF, kendine özgü farklı sismik özelliklere sahiptir. Deprem episantrları, fay boyunca, yığılım bir dağılım göstermektedirler. Örneğin, fayın 33° D boylamına yakın kesimi, 26.11.1943 ve 1.2.1944 depremlerinde olduğu gibi bu depremlerden önce ve sonra da, etkin olmuştur. Öte yandan, fayın, bu depremler sırasında yer kabuğunun yarılmasına neden olan büyük bir kesiminde, 5.0 veya daha büyük şiddette hiç bir deprem kaydedilmemiştir. 26.12.1939, 26.11.1943 ve 1.2.1944 depremlerinin episantrları, fayın, bu depremlerden önce ve sonra, orta derincede depremlerin kaydedilmiş olduğu kesiminde yer almamıştır (Dewey, 1974).

Fay mekanizmasının anlaşılabilmesi için, KAF zonu üzerindeki gerilim (stress), birimdeformasyon (strain) ve yerdeki



Şekil 1: KAF ve DAF zonlarının genel çerçevesi

Figure 1: General outline of the NAF and EAF

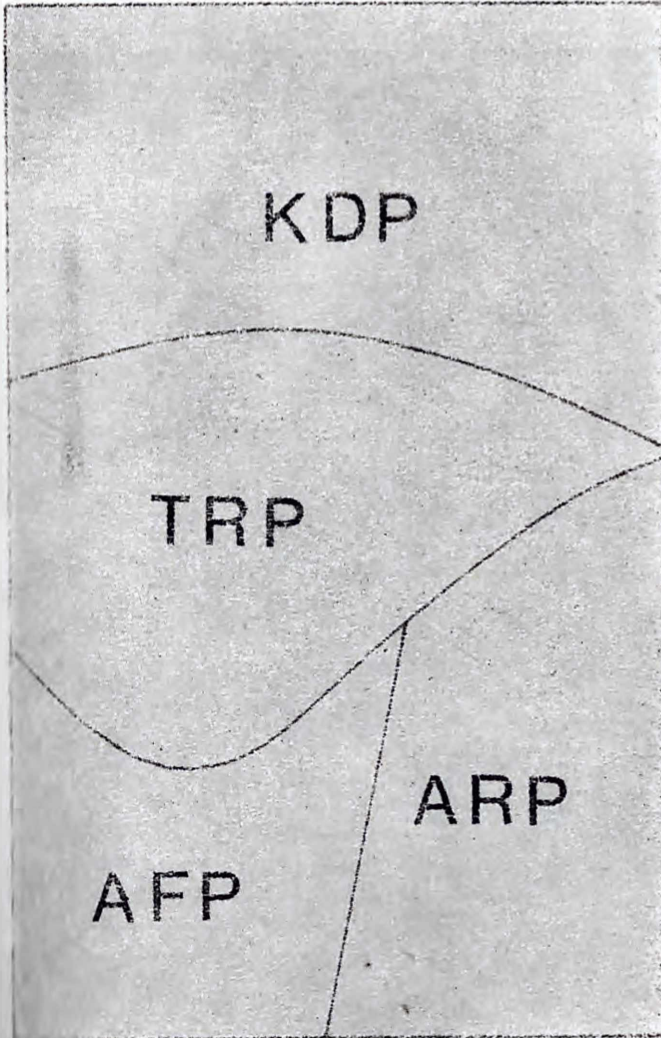


Sekil 3: KAF ve çevresinin sismisitesi (Dewey, 1974 den).

Figure 3: Seismicity of the NAF and the vicinity (after Dewey, 1974).

(displacement)lerin fay boyunca dağılımlarının bilinmesi zorunludur. KAF zonunun orta kesiminde çok az sismik etkililik gözlemlenmektedir. Fayın mekanik açıdan kilitlemiş gibi görünüşü bu orta kesiminde, sürekli bir birimdeformasyon birikimi vardır. Fay zonunun doğu ve batı kesimlerinde ise, daha önce birikmiş olan birimdeformasyonlar, bu kesimlerde oluşan küçük depremler ve asismik krip olayları ile büyük ölçüde boşalmaktadır. Kilitlemiş olan orta kesimde biriken birimdeformasyonlar, geçmişte ancak büyük depremlerle boşalabilmektedir.

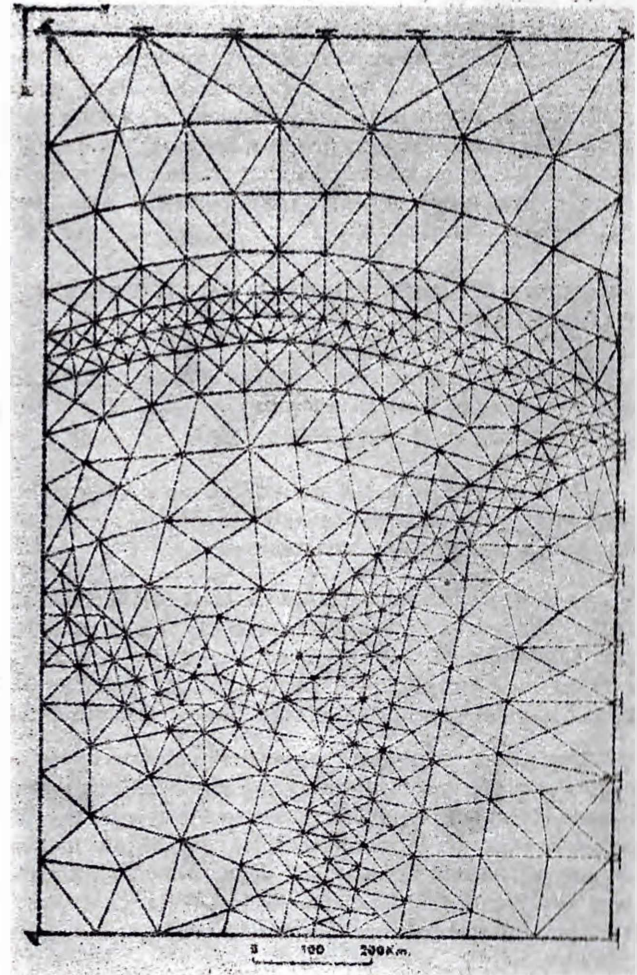
Bu çalışmada, KAF zonuundaki gerilim, birimdeformasyon ve yerdeğişim dağılımları, faya komşu plakaların analitik (kompüter) modeli üzerinde, sonlu elemanlar (finite elements) yöntemi ile araştırılmıştır. Ancak, burada sunulan veriler, henüz geliştirilme aşamasında olan çalışmanın ilk kuramsal verileri olup; çalışma ile ilgili araştırmalar devam etmektedir. Bu sunumun temel amacı, KAF için önerilen faylanma meka-



Sekil 4: KAF'a komşu plakaların analitik modeli: a) plaka sınırları, b) modelin sonlu elemanlara bölünümü.

Figure 4: The analytical model of the plates adjacent to the NAF: a) plate boundaries, b) finite element idealization of the model.

KDP : Karadeniz plakası — Black Sea Plate
 TRP : Türkiye Plakası — Turkish Plate
 AFP : Afrika Plakası — African Plate
 ARP : Arap Plakası — Arabian Plate



nizması ve ilgili depremlerin öngörülmesi konusunda bir tartışma ortamı oluşturmaktadır.

MODEL HAZIRLANMASI

KAF zonundaki gerilim, birimdeformasyon ve yerdeğişim dağılımlarını sonlu elemanlar yöntemi ile kuramsal olarak çözümlenmek amacı ile; KAF'a bitişik plakaların (Şekil 4a) bir analitik (kompüter) modeli (Şekil 4b) hazırlanmıştır. Uygulanan sonlu elemanlar yöntemi, sözkonusu modelin sınırlı sayıda iki boyutlu (düzlemsel) üçgen elemanlara bölünmüdü; ve modelde belirlenen süreksizlik (örğ., plaka sınırları ve faylar gibi) boyunca çift düğüm noktalarının kullanımını gerektirir (Kasapoğlu, 1976). Çözümlemede, yenilme ölçütü olarak, 'çekici kesimli Coulomb - Navier ölçütü' (Coulomb - Navier criterion with tension cut-off) kullanılmıştır. Modele uygulanan iki boyutlu birimdeformasyon çözümlemesinde, gerçek plaka hareketlerine en iyi benzetişimin sağlanması amaçlanmıştır. Model çözümlemede kullanılan sonlu elemanlar ağı, 955 üçgen eleman ve 502 düğüm noktası içermektedir. Modelde kullanılan malzeme özelliklerinin belirlenmesinde, 40 km. lik bir plaka kalınlığı ve standart karasal ve denizel kesitler esas alınmıştır. Model sınır koşulları için; Karadeniz plakasının hemen hemen hareketsiz, Arap plakasının ise, Afrika plakasına göreceli olarak, kuzeye doğru hareket ettiği varsayılmıştır. Modelde itici güç olarak kullanılan bu hareket, modele, yerdeğişim sınır koşulu (displacement boundary condition) olarak uygulanmıştır.

GERİLİM BİRİMDEFORMASYON VE YERDEĞİŞİM DAĞILIMLARI

Modele uygulanan sınır koşulları altında, KAF zonu içindeki gerilimler ve yerdeğişimler, fay boyunca, düzgün olmayan (non-uniform) bir dağılım göstermiştir.

KAF ile DAF'ın kesim noktaları çevresinde, gerek dikey (normal) gerek teğetsel (tangential) gerilim ve birimdeformasyonlar, genellikle çekici niteliktedirler.

Modelin bükülme özellikleri ve modelde oluşan birimdeformasyonların türü, genelde, modele uygulanan sınır koşullarına bağlıdır. Modelde gözlenen yandeki yerdeğişim ve birim deformatasyon biçimleri, özellikle plakaların iç kısımları ile fay zonu arasındaki katılık (stiffness) farkını yansıtmaktadır.

Uygulanan sınır koşulları altında, modeldeki en büyük maksaslama gerilimi birikimleri, fay zonuun doğu ve batı uçlarında oluşmaktadır; ancak, bunların her zaman fay düzlemi boyunca oluşması gerekmemektedir. En büyük maksaslama gerilimi eğrilerinin fay zonuun doğu ucunda birikmiş olmaları, aynı zamanda, plakaların dönütsel (rotational) deformatasyonların, fay mekanizması üzerindeki etkinliğine de işaret sayılmaktadır.

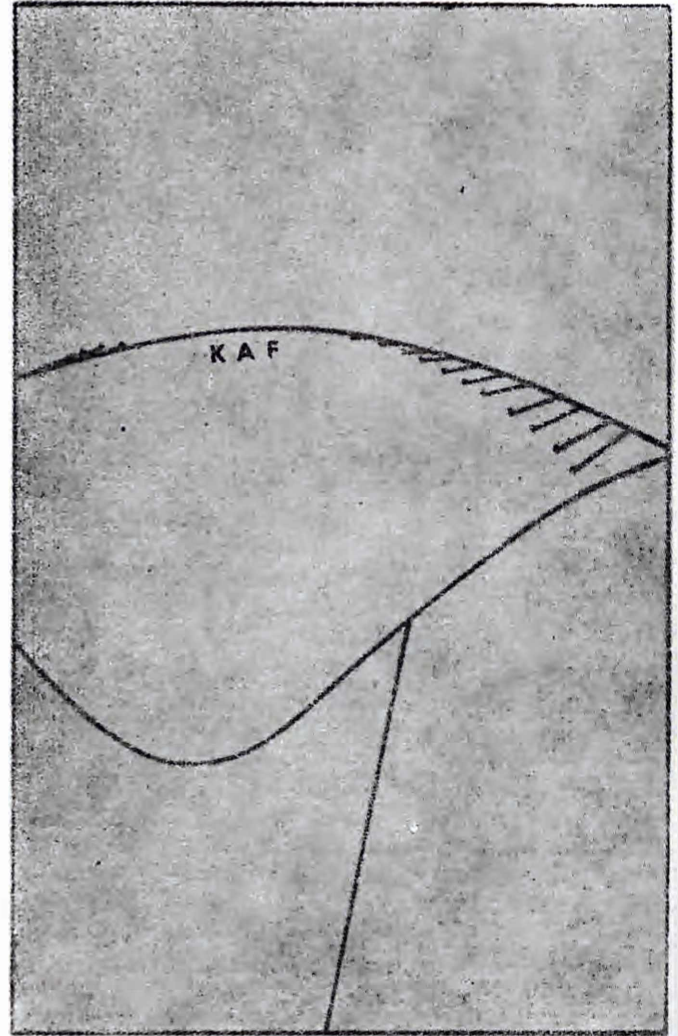
Yönleri ve şiddetleri açısından, model içinde homojen (uniform) olmayan bir dağılım gösteren en büyük ve en küçük asal gerilimler (principal stresses), fay zonuun kuzey ve güneyinde önemli farklılıklar; doğu ve batı uçlarında ise, önemli gerilim birikimleri oluştururlar. Model çözümlemeden elde edilen bağıl yerdeğişimlerin KAF boyunca belirli bazı noktalardaki yönleri, Şekil 5'de; aynı noktalardaki en büyük ve en küçük asal gerilimler ise, Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu verilerin

bazıları, Canitez (1973) ve Alptekin (1973)'in odak mekanizması çözümleri ile elde ettikleri verilerle az çok uyum halindedir.

KAF zonu, genel olarak, sıkıştırıcı (compressive) bir gerilim alanı içindedir. Ancak, KAF'ın doğu ucunda küçük bir çekilme (tension) zonu vardır ki, bu da, Arap plakasının kuzeye doğru itmesi ile oluşan döndürme momentinin bir sonucudur.

FAYLANMANIN MEKANİZMASI

İlk faylanma, KAF'ın doğu ucunda çekici kırılma biçiminde oluşmakta; ve oluşan kırık, diyagonal olarak KD-GB doğrultusunda, DAF boyunca açılarak ilerlemektedir. DAF boyunca oluşan kırıklar, daha önce KAF'ın doğu ucunda birleşmiş olan çekici gerilimleri boşalmakta; ve KAF zonunda yeniden bir gerilim ve birimdeformasyon dağılımı oluşturmaktadır.

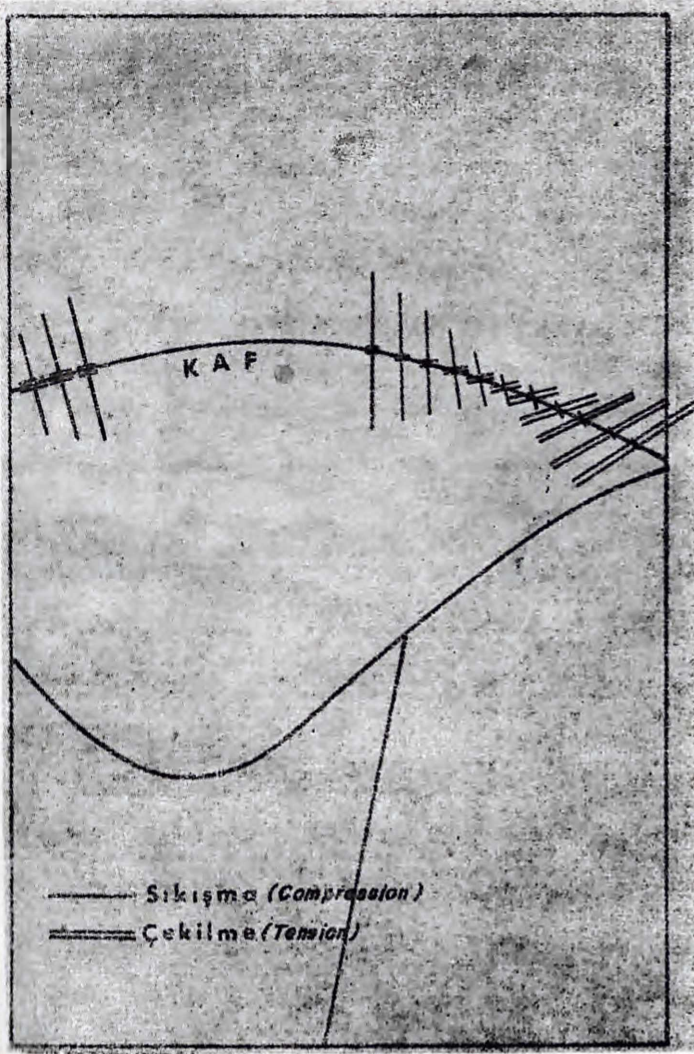


Şekil 5: KAF boyunca belirli bazı noktalardaki bağıl yerdeğişimler

Figure 5: Relative displacements at some particular points along the NAF.
KAF : North Anatolian Fault.

SONUÇLAR

KAF zonunda birikmiş olan elastik birimde formasyon enerjisi, fay zonunun doğu ve batı uçlarında oluşan ilerleyici ve gerileyici darbeli-kayma biçimindeki faylanmalar ile büyük ölçüde boşalmakta; ve fay zonunun orta kesiminde, büyük depremlere neden olabilecek önemli kırılmalar oluşmamaktadır. Bu nedenle, KAF zonunun bu orta kesimi, özellikle 33° D ve 35° D boylamları arası, bir 'sismik boşluk' (seismic gap) olarak nitelendirilebilir. Gerçekten, fay zonunun bu orta kesiminde, sürekli birimdeformasyon enerjisi birikimine işaret sayılabilecek kırılma olayları gözlenmektedir (Aytun, 1973). Bu nedenle, gelecekte büyük bir depremin bu sismik boşluk bölgesinde oluşması olasılığının ciddi bir şekilde düşünülmesi gerekir.



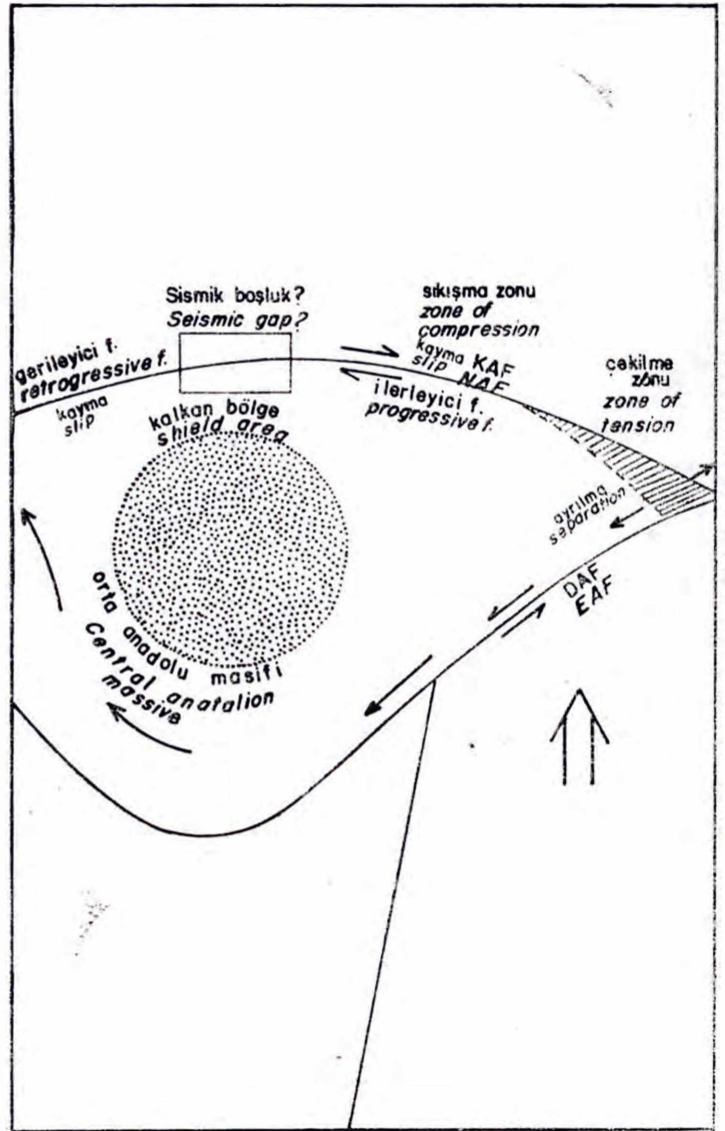
Şekil 6: KAF boyunca belirli bazı noktalardaki en büyük ve en küçük asal gerilmeler.

Figure 6: Major and minor principal stresses at some particular points along the NAF.

KAF : North Anatolian Fault

tadır. Bu yeni gerilim - birimdeformasyon dağılımı oluşturmaktadır. Bu yeni gerilim - birimdeformasyon dağılımı ise, 'sürtünmeli dayanım ölçütü' (frictional strength criterion) ne göre, özellikle 'kayma' (slip) biçiminde oluşan daha sonraki kırılmaların nedeni olmaktadır.

KAF'ın doğu ucundan başlayarak batıya doğru ilerleyen bu mukasama kırılmaları, 'ilerleyici faylanma' (progressive faulting) olarak adlandırılmıştır. Bu ilerleyici kırılmalar fay zonunu orta kesimine erişmeden önce; üçüncü bir faylanma biçimi, yine mukasama kırılmaları şeklinde, KAF'ın batı ucundan başlayarak geriye (doğuya) doğru ilerlemektedir. Bu üçüncü faylanma biçimi ise, 'gerileyici faylanma' (retrogressive faulting) olarak adlandırılmıştır (Şekil 7). Sonuç olarak, KAF için önerilen faylanma mekanizması, 'ilerleyici ve gerileyici darbeli-kayma' (progressive and retrogressive strike-slip) biçimindedir.



Şekil 7: KAF için önerilen çok fazlı faylanma mekanizması

Figure 7: The multiple mode of faulting mechanism proposed for the NAF

DEĞİNİLEN BELGELER

- Alptekin, Ö., 1973, Focal mechanism of earthquakes in Western Turkey and their tectonic implications; Ph. D. Thesis, New Mexico Mining and Technology Institute, U.S.A.
- Aytun, A., 1973, İsmetpaşa istasyonu civarında krip ölçümleri: Kuzey Anadolu Fayı ve Deprem Kuşacı Sempozyumu (29, 30, 31 Mart - 1972), M.T.A. Enstitüsü, Ankara, 114-121
- Canitez, N., 1973, Yeni kabuk hareketlerine ilişkin çalışmalar ve Kuzey Anadolu Fayı problemi: Kuzey Anadolu Fayı ve Deprem Kuşacı Sempozyumu (29, 30, 31 Mart - 1972), M.T.A. Enstitüsü,

Ankara, 35-58

- Dewey, J. W., 1974, Turkey's North Anatolian Fault comparison with San Andreas Fault; U.S.G.S., Earthquake Information Bull., 6, 13, 12-16.
- Kasapoğlu, K.E., 1976, Fay mekanizmasının saptanması ve olası depremlerin öngörülmesinde analitik yöntemlerden yararlanma; Yerbilimleri, 2, 1, 93-96.
- McKenzie, D.P., 1972, Active tectonics of the Mediterranean region; Geophys. Jr. Astr. Soc., 30, 109-185.

Yazının yayına verildiği tarih : 4.6.1981

Toroslarda, Aladağ

inin Özellikleri

us mountains)

ÖZ
altı

sindir
liğin

yaştal

Al
ratigra

ayan üç bölüm ayırt edilir. Bunlardan en
kaotik bölüm" olarak adlanmıştır.

nün oluşmasında, çekim kuvvetleri etki-
tik bölüm ise tektonik kuvvetlerin etkin-

ası aşamasında, Üst Triyas-Alt Kretase
navzasıdır.

...larla çökelme dokanaktır. Bu nedenle ofiyolitli melanj kayast-
...ortamda kazanmış, otokton konumlu bir birim olarak değerlendirilmelidir.

ABSTRACT: Three different units which have different characteristics were identified within the Aladağ ophiolitic melange. The lowest one is called "uniform basal sequence", the middle one "olistostrome sequence" and the top unit "chaotic sequence".

Gravitational mass-flow and slide mechanism were effective during the formation of the first two sections. The chaotic section, however, was formed by block accumulation due to tectonic activity.

The Aladağ ophiolitic melange acquired its lithostratigraphic features within the Senonian basin which was formed over the Upper Triassic-Lower Cretaceous platform carbonate basement.

The contact between the ophiolitic melange and the carbonates which constitute the basement of the melange is depositional. Aladağ ophiolitic melange should be considered as an autochthonous lithostratigraphic unit which acquired its properties in the site of formation.