

GÜNEYBATI TÜRKİYE GPS JEODETİK ÖLÇÜM PROJESİ

GPS Geodetic Survey of the Southwest Turkey

Müjgan ŞALK*, G.R. FOULGER**, Mustafa ERGÜN* ve Günay ÇİFTÇİ*

ÖZET

Güncel Tektoniğin devam ettiği Güneybatı Türkiye'de kıtasal deformasyonun biçimini saptamak ve kabuk içi hareketlerini incelemek amacıyla 30-40 km aralıklı 32 noktadan oluşan bir ölçüm ağı oluşturulmuştur. Nokta konumları, yaklaşık 1:10⁷ hassasiyetli Uydur Konum Belirleme Sistemi (GPS) kullanılarak belirlenmiştir. Ağustos-Eylül 1989 tarihlerinde ilk ölçümler Durham Üniversitesi ve Harita Genel Komutanlığı elemanlarından oluşan bir ekip tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerin gelecek yıllarda tekrarlanmasıyla bloklar arasındaki ve büyük faylardaki konum değişimleri incelenebilecektir.

ABSTRACT

A geodetic network composed of 32 points with the spacing in the range of 30-40 km, has been established in order to investigate and determine continental deformation in the active tectonic area of SW Turkey. The positions of the points were measured using the Global Positioning System (GPS) having relative accuracy in the range of 1:10⁷. The first measurements were carried out during August and September 1989 by a team composed of scientists from Durham University (England) Dokuz Eylül University and the Turkish General Command of Mapping. Movements of main faults and between major blocks can be determined by remeasuring these points in future years.

GİRİŞ

Son yıllardaki uzay teknolojisindeki gelişmeler jeodezi alanına yeni olanaklar sağlamıştır. Uydur Doppler Yöntemi, Çok Uzun Baz Hatlı Interferrometri ve Uydur Lazer Ranging gibi yöntemler alışılmış Jeodezi yöntemleri kullanarak mümkün olan daha uzun mesafelerdeki Jeodetik ölçümleri mümkün kılmıştır. Fakat bu yöntemlerin regional veya lokal bir ölçek için doğruluklarının sınırlı oluşu, hareket yetersizliği ve pahalı oluşları nedeniyle kullanılmaları yaygın değildir.

Uzay Jeodezisi alanındaki son gelişmelerle Uydur Konum Belirleme Sistemi (Global Positioning System; GPS) kullanılarak yukarıdaki sınırlamaların üstesinden gelinmiştir (Bock ve diğ. 1985). Bölgesel veya kıtasal bir ölçekte tektonik deformasyonu ölçmek için jeodetik ölçüm ağının tasarımında Uydur Konum Belirleme Sistemini kullanmak, araştırma noktaları arasında görüş hattının gereksiz oluşu, ölçülen vektörlerin herhangi bir uzunlukta olabilmesi ve ölçümlerin hava koşullarına daha az bağımlı olması nedeniyle avantajlıdır (Foulger ve diğ. 1989).

Uydur Konum Belirleme Sistemi (GPS) kullanılarak Güneybatı Türkiye'de 250x200 km'lik bir alanda yaklaşık 30-40

km aralıklı 32 noktadan oluşan bir ölçüm ağı oluşturulmuş ve Ağustos-Eylül 1989 tarihlerinde ilk ölçümler yapılmıştır. Arazi ölçümleri, Durham Üniversitesi Jeoloji Bölümü (İngiltere), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ve Harita Genel Komutanlığı elemanlarından oluşan bir ekip tarafından yapılmıştır.

Bu ölçümler, bölgenin kıtasal deformasyonunun incelenmesi için başlangıç ölçüleridir. Bu ağın gelecek yıllarda tekrar ölçülmesiyle bloklar arasındaki ve büyük faylardaki konum değişimleri incelenebilecektir.

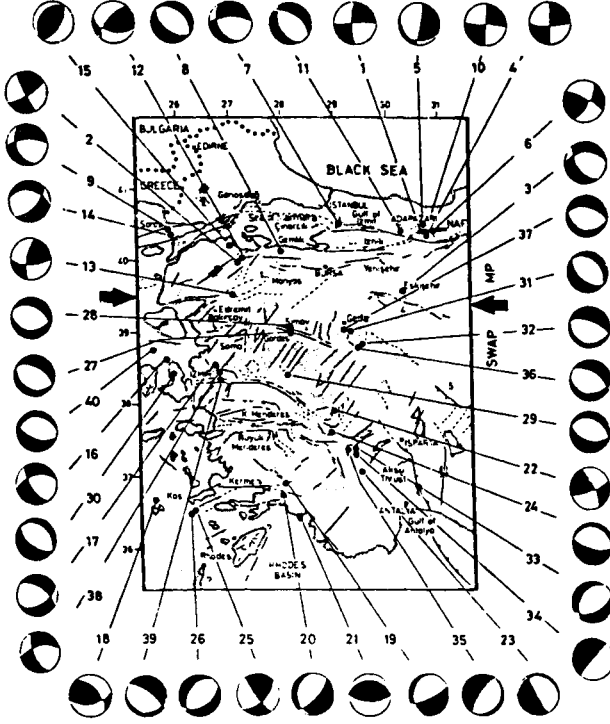
Kıta içi deformasyonların anlaşılabilmesi için GB Türkiye'nin jeodinamik yapısını araştırmaya iki projeye devam edilmektedir. Bunlar, Jeodetik ölçümler (GPS projesi) ve sismik ağ oluşturulması, sismotektonik projedir. İlk projede oluşturulan ağ şebekesi ile bloklar arasındaki konumsal değişimler ortaya çıkarılabilecek ve bu sonuçlardan ikinci proje çalışmalarında yararlanılacaktır.

GÜNEYBATI TÜRKİYE'NİN GÜNCEL TEKTONİĞİ

Güneybatı Türkiye'nin çekme gerilmeleri denetiminde

* D.E.Ü. Müh. Mim. Fak., Bornova, İzmir.
** Durham Üniversitesi, İngiltere.

günlümüze kadar devam etmiş ve etmekte olan neotektonik faaliyetleri Geç Miyosen zamanında başlamıştır (Dewey ve Şengör 1979, Kaya 1981, Koçyiğit 1984, Jackson ve McKenzie 1987). K-G doğrultusundaki açılma, E-W yönlü grabenlerin ve aynı yönde uzanan normal fayların oluşmasına neden olmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Batı Türkiye'nin büyük depremlerinin (1943'ten beri manyetüdü Ms 5.5 olan) odak mekanizma çözümleri ve tektonik yapılar (Eyidoğan 1987'den alınmıştır) haritası.

Fig. 1. Map of fault mechanism solutions of major earthquakes (magnitude Ms 5.5 since 1943) and tectonic features (After Eyidoğan 1987).

GB Türkiye'de etkin deformasyon modu kuzeyden güneye artmaktadır ve K-G yönünde yaklaşık 13.5 mm/yıldır (Eyidoğan 1987).

Türkiye ve Doğu Akdeniz'deki deprem odak hareketleri, deprensellik, diğer sismolojik ve jeolojik veriler bölgede çok karmaşık deformasyonların hüküm sürdüğünü göstermektedir. GB Türkiye'de görülen yaygın deprensellik, Ege-Anadolu levhasının yatay hareketinden çok, levha içinde devam eden düşey hareketlerle ilişkilidir (Alptekin 1978).

Bölgenin sismisitesi yüksektir ve bu aktivitenin temel tektonik yapılarla bağlantıları vardır (Canitez ve Üçer 1967, Kocaepe 1981). Bölgede tespit edilen odak derinliklerinin 0-50 km olduğu ileri sürülmektedir.

Son yıllarda kıtasal deformasyonun nedeninin akışkan sıvının plastik deformasyonundan ileri gelebileceği modellenmeye başlanmıştır (England ve diğ. 1985, Westaway 1989). Yeryüzünde yapılan deformasyon gözlemleri (jeodetik, paleomanyetik ve diğer yöntemler), kırılğan sismojenik tabakanın içinde yer alan deformasyonun büyüklüğünü ölçebilmektedir. Bu gözlemler yoluyla altta yer alan plastik deformasyonun özellikleri üstte bulunan kırılğan tabakada meydana gelen tektonik yapılardan çıkarılabilir. GB Türkiye ve Ege Denizi'nde Neojen blok dönme hareketlerinin varlığı yapılan paleomanyetik çalışmalardan anlaşılmaktadır.

UYDU KONUM BELİRLEME SİSTEMİ (GPS)

GPS uyduya dayalı bir konum belirleme sistemidir. Uydular Konum Belirleme Sistemi GPS üç bölümden oluşmuştur. Bunlar uzay kontrol, kullanıcı bölümleridir.

Uzay Bölümü

20183 km yüksekliğinde farklı yörünge düzlemlerine yerleştirilmiş değişik sayıdaki uydu takımlarından oluşur. Bu bölüme uzay aracı (satellite vehicle, SV) denmektedir. Üç farklı şekilde planlanmıştır. Bunlar Blok I, Blok II, Blok III uyduları olarak bilinmektedir (Wells 1987).

Herbir GPS uydusu konum belirleme için L bandında (RF), L1 = 1575.42 MHz ve L2 = 1227.6 MHz lik iki radyo frekansı yayınlar (Ashkenazi ve Diederich 1984). Bu frekanslar P kod ve C/A kod olarak bilinen yalancı rasgele gürültü (pseudo random noise, PRN) kodları ile modüle edilmiştir.

C/A kod olarak bilinen yalancı rasgele gürültü (PRN) kodu, her milisaniyede kendini tekrar eden 1.023 MHz frekansında - ... + arasında bir puls dizisini içerir. P kod olarak bilinen ikinci bir yalancı rasgele gürültü 10.23 MHz frekansında kendini 267 gün sonra tekrar eden - ... + arasında bir puls dizisini içerir (Ashkenazi ve Diederich 1984).

L1 taşıyıcısı hem P hemde C/A kod modülasyonuna sahiptir. Taşıyıcı frekanslar ve modülasyonlar atomik saatlerle kontrol edilmektedir.

Bu kodlar basit bir şekilde taşıyıcılar üzerine monte edilmiştir. Kod değeri negatif ise taşıyıcı 180° faz kaymıştır. Pozitif ise taşıyıcıda herhangi bir değişiklik yoktur (Wells 1987).

Bu uyduların konum belirleme için yaydığı frekanslar bu kodlara göre programlanmış GPS alıcılara tarafından çözümlenir. GPS uydularının temel fonksiyonlarının bazıları şunlardır (Wells 1987).

- sistem operatörleri tarafından kontrol kısmından yayılan bilgiyi alıp depolama,
- kendi mekroişlemcileriyle uzay aracında veriyi işlemek,
- uzay aracında bulunan çeşitli ossilatörlerle (2 Sesium, 2 Rubidyum) doğru zamanı korumak,
- çeşitli frekanslarda ve kodlarda kullanıcı için konum belirleyici bilgiyi yaymak.

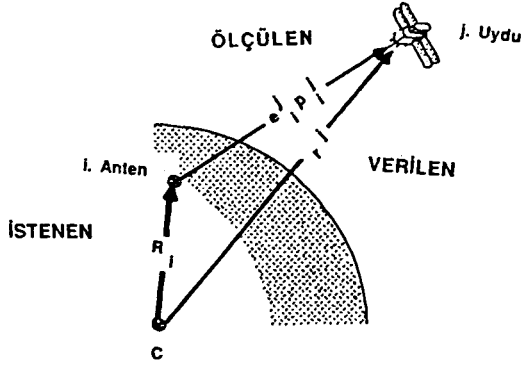
Kontrol Bölümü

Bu bölüm Ascension, Diego Garcia, Kevajalein ve Hawaii'deki gözlem istasyonlarından ve Colorado Springs'deki uzay işlem merkezinde bir master kontrol istasyonundan meydana gelmektedir. Kontrol sisteminin amacı uyduların sağlığını gözlemek, yörüngelerini saptamak, atomik saatlerini kontrol etmek ve uydulara mesaj göndermektir (Wells 1987).

Kullanıcı Bölümü

Askeri ve sivil kullanıcıların tümünü içerir. Uygun alıcılar, taşıyıcı frekanslarını veya kodlarını veya her ikisini birden çoğu durumda da yayımlanan mesajları alır. Jeodetik çalışmalar için taşıyıcı veya kod frekans fazları gelecek işlemler için kaydedilip alıcılar tarafından ölçülmektedir.

GPS sistemi kullanılarak konum belirleme kolaydır. Herbir GPS uydusunun X, Y, Z koordinatları en az üç (pratikte 4) uydunun mesafesi ölçülerek hesaplanabilir. Bu uzaklık tek alıcı kullanılarak ölçülüyorsa sadece bir tek noktanın konumu saptanmış olur. Bu nedenle bu tür konum belirlemeye "Nokta Konum Belirleme" denir (Wells 1987). Nokta konum belirlemeden amaç i. antenin konum vektörü R_i 'yi saptamaktır (Şekil 2).



$$R_i = r^j - e^j p^j \quad \text{i. antenin konum vektörü.}$$

$$r^j \quad \text{j. uydunun konum vektörü.}$$

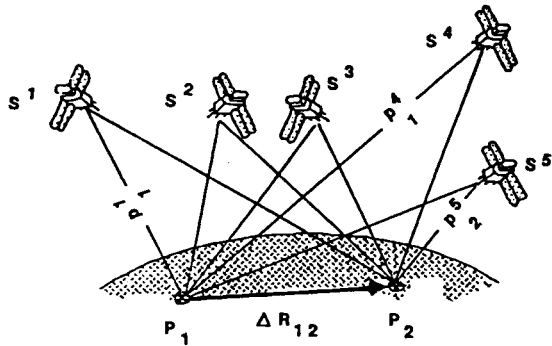
$$e^j p^j = \text{ikisi arasındaki uzunluk vektörü.}$$

Şekil 2. GPS ile nokta konum belirlenimin ilkesi.

Fig. 2. Principle of determination of position of a point with GPS.

Dikkat edilmesi gereken nokta antenin R_i konumunun zamanla değişip değişmediğidir. Özellikle konumu belirlenecek objenin hareket ettiği kinematik konum belirlemede R_i konumu zamanla değişeceğinden sürekli olarak yeniden hesaplanmalıdır (Wells 1987). Nokta konum belirleme özellikle navigasyonda kullanılmaktadır.

İkinci bir konum belirleme yöntemi "Relatif Konum Belirleme"dir. Bu konum belirleme yöntemi kullanıldığı zaman bir uydu alıcısı P_1 gibi pozisyonu bilinen bir nokta üzerinde yer almaktadır. İkinci alıcı ise P_2 gibi koordinatları saptanacak nokta üzerindedir (Şekil 3). İki nokta arasındaki ΔR_{12} ko-



$$R_1 = r_1^j - e_1^j p_1^j$$

$$R_2 = r_2^j - e_2^j p_2^j$$

$$\Delta R_{12} = R_2 - R_1 = e_1^j p_1^j - e_2^j p_2^j = \Delta e_1^j p_1^j$$

Şekil 3. GPS ile iki nokta arasındaki mesafenin belirlenmesi ilkesi.

Fig. 3. Principle of determination of distance between two points with GPS.

inat farkı yeterli veri elde edilmişse cm doğruluğunda saptanabilir. Noktaların koordinatları veya koordinatlar arasındaki fark Standart Resection tekniği ile hesaplanabilir (Collins 1986). Bu tür konum belirleme özellikle araştırmalarda kullanılmaktadır.

GPS sistemi kullanılarak yeryüzündeki bir noktanın konumu $1:10^7$ hassasiyetle saptanabilmektedir. (Bock ve diğ. 1984, Beutler ve diğ. 1985).

GÜNEYBATI TÜRKİYE GPS PROJESİNİN AMACI

Sürekli kıta içi hareketlerinin yoğun olduğu bir bölge olan Güneybatı Türkiye karmaşık bir tektonik yapıya sahiptir. Şimdiye kadar elde edilen verilerin yeterli olmaması nedeniyle bölge için çeşitli araştırmacılar tarafından farklı tektonik modeller kurulmuştur.

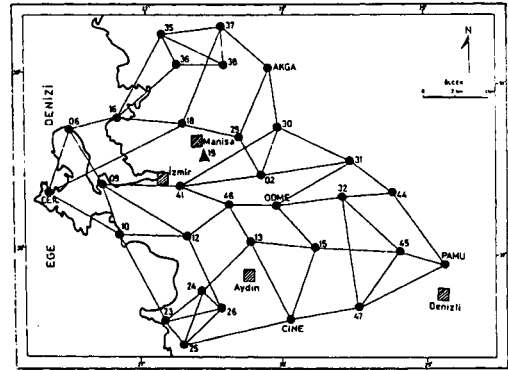
GPS (Uydu Konum Belirleme) projesi ile;

- 1) Güneybatı Türkiye'de varolan bütün kıtasal genişleme oranının belirlenmesi,
- 2) Büyük normal faylarla sınırlanmış kabuk bloklarının birbirlerine göre hareketlerinin (dönme, bükülme, vs.) incelenmesi,
- 3) Üst kabukta varolan deformasyonun doğrudan oluşan depremlere neden olup olmadığı ve varsa sismik olmayan deformasyonun varlığının araştırılması,
- 4) Alt kabuk tabakasının en üst bölümünde yer alan düşük açılı faylar ve kesme zonlarının varlığının büyük depremleri takip edip etmediğinin veya bağımsız olduğunun incelenmesi,
- 5) Bölgenin sismotektonik özelliği incelenerek diğer çalışmalarla denetlenmesi amaçlanmaktadır.

Bu yolla Güneybatı Türkiye'deki kıtasal deformasyonun biçimi anlaşılacak ve sismik olarak aktif bölgelerde geniş boyutlu kıtasal deformasyon incelenerek bölgenin yıkıcı depremlik özelliği araştırılarak kabuk içi hareketleri incelenecektir.

GÜNEYBATI TÜRKİYE ÇALIŞMA AĞININ OLUŞTURULMASI

Güneybatı Türkiye GPS çalışma ağı, yaklaşık 250×200 km'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 4). Noktalar arasındaki mesafe yaklaşık 30-40 km olarak düşünülmüş ve bölgede bilinen fayların her iki tarafına yerleştirilmesine özen gösterilmiştir. Nokta sıklığı büyükçe fayların çevresinde artmakta duraylı olduğu bilinen bloklar üzerinde ise azalmaktadır.



Şekil 4. Güneybatı Türkiye'de oluşturulan GPS Ağı ve ölçüm sistemi haritası. Nokta 19 (Manisa Spil Dağı) sürekli ölçülmüştür.

Fig. 4. Map of the southwest Turkey GPS Network and measurement procedure. Station 19 (Manisa Spil Dağı) was measured continuously.

Uygun nokta yerlerinin seçimi için aşağıdaki koşullar aranmıştır:

- 1) Sağlam temel kaya zemini,
- 2) 15 üzerinde ufku gözetleyebilme,
- 3) Noktaya normal arabayla 20 m kadar yaklaşabilme ve park edebilme.

Bu koşulları sağlayan toplam 40 noktaya kodu (DEÜ) olan çiviler kayanın içi matkapla oyularak monte edilmiştir. Harita Genel Komutanlığı ile ortaklaşa yapılan çalışmalar sonucunda bölgede mevcut birinci ve ikinci derece nirengi noktaları gözden geçirilmiş ve uygun olan dört nirengi noktası, yakınlarında bulunan DEÜ noktaları ile değiştirilmiştir. Sonuçta ölçümler için 33 nokta seçilmiş ve 32 noktanın ölçümü yapılmıştır. 1 noktaya yoldaki bakım çalışması nedeniyle ulaşılamamıştır.

GÖZLEMLERİN YAPILMASI

Gözlemler 22 Ağustos ve 6 Eylül 1989 tarihleri arasında 250x200 km genişliğindeki bir alanda yapılmıştır.

Gözlemlere başlamadan önce çalışma programının hazırlanması için 9 gün harcanmıştır. Ekipman İzmir'e vardığıktan sonra 3 gün DEÜ41 noktasında deneme çalışmaları yapılmıştır.

Gözlem çalışmaları için A,B,C,D,E olarak kodlanan 5 alıcı 33 noktalı çalışma ağına sırayla yerleştirilmiştir. Gözlemler İzmir çevresinde başlamış ve dörtgen bir zincir gibi GPS ağı içerisinde saat yönünde ilerlemiştir.

Tüm araştırma boyunca sürekli ölçü alınacak bir merkez noktası olarak Manisa Spil Dağındaki DEÜ19 noktası kullanılmıştır. Bu noktada gözlem süresi boyunca ölçü alınmıştır. Diğer noktalar ise gözlem süresi boyunca iki kez ölçülmüştür. Böylece sabit nokta ile diğer noktaları birleştiren bütün hatlar boyunca ikişer kez ölçü alınmıştır.

Gözlem planı GPS uydusu yönüne göre önkestirim programı SATPLAN kullanılarak yapılmıştır. Bu plana göre ilköğretim gözlem planı şöyle olmuştur.

ZAM GMT (Bölgesel zaman=GMT+3 saat)	KAYDEDİLEN UYDULAR
03.38	6,9,11,8
04.38	6,9,11,12
07.30	13,9,11,12
08.38	13,9,3,12
10.02	13,-,3,12

Gözlem zamanı hergün 4 dk erken başlamıştır. Gözlem süresi boyunca elde edilen veriler, önışlem programı MAGNET ve FIT kullanılarak kontrol edilmiştir.

KATKI BELİRTME

Çalışmalarımızın gerçekleştirilmesinde emeği geçen Durham Üniversitesi (İngiltere), Dokuz Eylül Üniversitesi ve Harita Genel Komutanlığı elemanlarına, yardımlarından dolayı teşekkür ederiz. Proje, İngiliz Milli Çevre Araştırma Kurumu (National Environmental Research Council) ve NATO bilimsel araştırma bursu (Grant No: 0122/89) tarafından parasal olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Alptekin, Ö. 1978, Batı Anadolu depremlerinin odak mekanizmaları ve bunların aktif tektonik ile ilişkileri, Jeofizik 3, 30-56.
- Ashkenazi, V. and Diederich, P. 1984, Positioning by second generation satellites: GPS and NAVSAT, Paper presented at 2nd international hydrographic technical conference.
- Beutler, G., Gurtner, W., Gervaise, J. and Mayaud, M. 1985, Test of GPS on the CERN-LEP control network, Paper presented at the joint meeting of FIG-Study groups 5B and 5C, Munich.
- Bock, Y. and Abbott, R.I., Counselman III, C.C., Gourevitch, S.A and King, R.W. 1985, Establishment of three-dimensional geodetic control by interferometry with the Global Positioning System, J. Geophys. Res. 90, 7689-7704.
- Bock, Y., Abbott, R.I., Counselman III, C.C. and King, R.W. 1986, A demonstration of 1-2 parts in 10^7 accuracy using GPS, Bull. Geodesique 54.
- Canitez, N. ve Üçer, S.B. 1967. Computer determinations for the fault-plane solutions in and near Anatolia, Tectonophysics, 4, 235-244.
- Collins, J. 1986, GPS surveying techniques, P.O.B., 24-28.
- Dewey, J.F. ve Şengör, A.M.C. 1979, Aegean and surrounding regions: complex multi-plate and continuum in convergent zone, Bull. Geol. Soc. Amer. 90, 84-92.
- England, P.C., Houseman, G. and Sonder, L. 1985, Length scales for continental deformation in convergent, divergent and strikeslip environments, Analytical and approximate solutions for a thin viscous sheet model, J. Geophys. Res. 90, 3551-3557.
- Eyidoğan, H. 1987, Rates of crustal deformations in Western Turkey as deduced from major earthquakes, Tectonophysics 148, 83-92.
- Eyidoğan, H. and Jackson, J. 1985, A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz earthquakes of 1969-1970 in the Western Turkey, Implications for the nature and geometry of deformation in the continental crust, Geophys. J.R. Astr. Soc. 81, 569-607.
- Foulger, G., Bilham, R., Morgan, W.J. and Einarsson, P. 1987, The Iceland GPS geodetic field campaign 1984, EOS 68, 1809, 1817-1818.
- Foulger, G., Bilham, R., Einarsson, P., Thorbergsson, G. and Morgan, W.S. 1989, A multinational GPS geodetic survey to study the crustal dynamics of Iceland, Submitted to Tectonophysics.
- Jackson, J. ve McKenzie, D.P. 1988, The relationship between plate motions and seismic moment tensors and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East, Geophys. J.R. Astr. Soc. 93, 45-73.
- Kocaeefe, S. 1981, Batı Anadolu Aktüel Tektoniği ve Ege-Anadolu Plakaları Arası Yapısal İlişkinin Saptanması, Hacettepe Üniv., Yer. Bil. Fak., Doktora tezi, 160s.
- Koçyiğit, A. 1984, Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim, T.J.K. Bül. 27, 1-16.
- McKenzie, D.P. 1972, Active tectonics of Mediterranean Regions, Geophys. J.R. Astron. Soc. 30, 109-185.
- McKenzie, D.P. 1978, Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: The Aegean Sea and surrounding regions, Geophys. J.R. Astr. Soc. 55, 217-254.
- Wells, D. 1987, Guide to GPS positioning, Canadian GPS associates.
- Westaway, R.W. 1989, Anomalous block rotations in SW Turkey and elsewhere: Implications for continental deformation studies, Submitted to Tectonophysics.