

MARMARA BÖLGESİ BATI KESİMİNDEKİ YERKABUĞU HAREKETLERİNİN YERSEL YÖNTEMLER ve GPS İLE İZLENMESİ

G. Büyükyüksel
S. Çamlıdere
J. Friedrich
C. Gerstenecker
O. Gürkan
İ. Iğdır
H. Özener
Y. Sakallı
B. Turgut
O. Yılmaz (*)

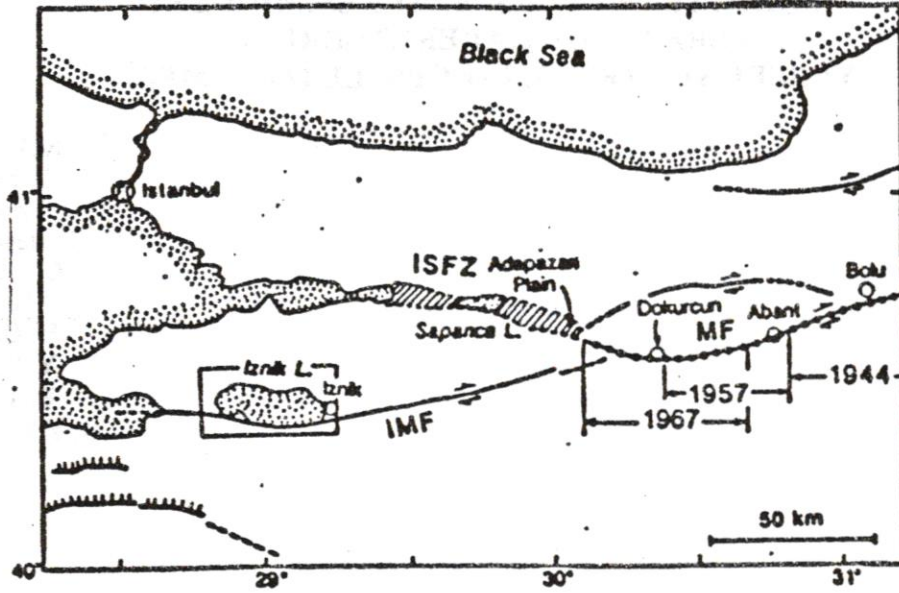
ÖZET :

Marmara Bölgesi , dünyanın en aktif faylarından biri olan Kuzey Anadolu Fay Zonunu kapsamaktadır. Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Jeodezi Anabilim Dalı, 1990 ve 1994 yılları arasında Akyazı'da (50 km² içinde 10 nokta), İzmit'de (10 km² içinde 10 nokta) ve Sapanca'da (30 km² içinde 7 nokta) 3 mikrojeodezik ağı kurmuştur. Anılan ağlarda EDM ile gözlemler yapılmaktadır. Şimdiye değin anlamlı bir yatay hareket saptanmamıştır. İlk periyotlar olmak üzere 1992 yılında tüm bölgeyi kapsayan mikrogravite gözlemleri ile 1993 yılında İzmit ağında hassas nivelman ölçüleri yapılmıştır. Bunlara ek olarak 1994 yılı sonbaharında üç ağı birbirine bağlamak amacıyla bir GPS kampanyası yürütülmüştür. Tam bir üç boyutlu model oluşturabilmek için bunlara ilaveten seçilmiş noktalarda astronomik gözlemler ve bölgedeki iki çöküntü gölünün (Sapanca ve İzmit) bir tiltmetre olarak kullanılması planlanmıştır. Bu farklı gözlemlerin değerlendirilebilmesi amacıyla KAndilli Windows Adjustment Program (KAWAP) adında bir yazılım paketi geliştirilmektedir.

1. GİRİŞ

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Kuzeyde Eurasian plakası ve Güneyde Anadolu plakası arasında sınır olarak görülmektedir [McKenzie, 1972; Şengör, 1979; Allen, 1982; Udias, 1982]. 1939 ve 1967 yılları arasında KAFZ boyunca batıya doğru kayan büyük depremler serisi meydana gelmiştir. Bu deprem serisi ile ilgili olarak, iki segment dışında, tüm fay zonunda yüzey kırıkları oluşmuştur [Ketin, 1969; Ambraseys, 1970]. Toksöz et al. [1979], yüzey kırığı olmayan segmentlerin sismik gap olabileceğini ve yakın gelecekte kırılacağını öne sürmüşlerdir. Bunlardan birisi 30.6° E boylamında Mudurnu Vadisi 'nin batısında KAFZ ' nun Batı bölümünde yer almaktadır (Şekil. 1).

(*) Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeodezi Anabilim Dalı,Boğaziçi Üniversitesi



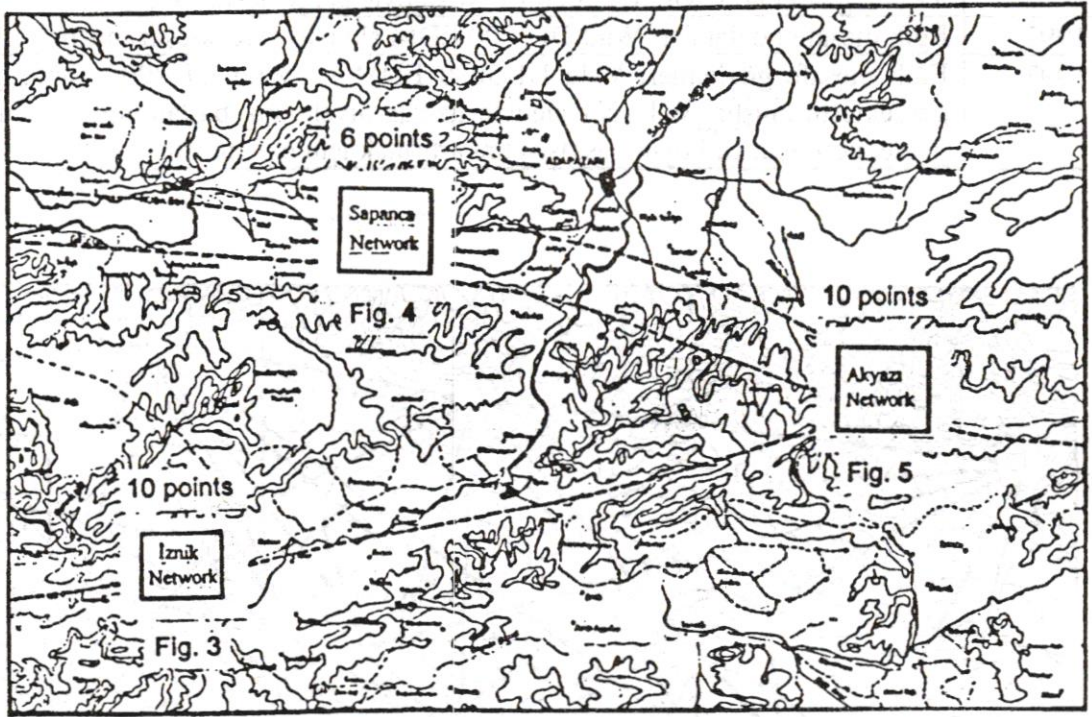
Şekil 1. KAFZ ' nin Batı kısmındaki aktif faylar koyu düz çizgilerle gösterilmiştir. Ufak daireler depremlerle ilişkili yüzey kırıklarını göstermektedir.

Bu sismik gap Türkiye'nin nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu bir bölgesinde bulunduğundan, durumu açıklamak için araştırmalar sürdürülmektedir. Mudurnu Vadisi'nin batısında KAFZ'nun sürekliliği hakkında farklı düşünceler ve tartışmalar vardır. Bazı bilimadamları iki veya daha fazla fay hattı olduğuna inanırken [örneğin, Dewey ve Şengör, 1979; Barka ve Hancock, 1984; Herece, 1985; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988], bazıları da, Mudurnu Vadisinden gelip Sapanca Gölü boyunca Marmara Denizine giren tek bir aktif fayın varlığına inanmaktadır [örneğin Brinkman, 1976]. Ikeda et al [1989a, 1989b], Mudurnu fayının batısında KAFZ' nun iki aktif fay zonuna ayrıldığına dair bazı kanıtlar sunmuşlardır: Kuzey kolu İzmit-Sapanca fay zone olarak adlandırılır [Ikeda, 1988] ve Güney kolu da İzmit-Mekece fayı olarak adlandırılır [Sipahioğlu ve Matsuda, 1986].

Geçmiş yıllarda, ilgili bölgede belirsiz tektonik hareketler hakkında daha fazla bilgi edinmek için pek çok ölçümler yapılmıştır, ancak şu ana kadar alınan sonuçlar durumun çok karmaşık olduğunu göstermektedir. Örneğin, Global Positioning System (GPS) veya Satellite Laser Ranging (SLR) gibi yüksek prezisyonlu jeodezik uzay teknikleri kullanılarak farklı kampanyalar yürütülmektedir. Bunların sonuçları, kuzey yönünde yılda birkaç cm.' lik yatay oranlı tektonik drift olduğunu göstermektedir, halbuki yersel

deformasyon ölçüleri yılda 1 cm' den daha az bir hareket olduğunu göstermektedir [Altın et al. 1993].

Çelişkili gibi görünen bu sonuçlarla ilgili tutarlı cevaplar aramak üzere Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem araştırma Enstitüsü Jeodezi Anabilim Dalı öncelikle Akyazı (50 km² içinde 10 noktalı)'da, İznik (10 km² içinde 10 noktalı)'de ve Sapanca (30 km² içinde 7 noktalı)'da 3 adet mikrojeodezik ağ kurup buralarda yersel gözlemler yapmaktadır. Bunlar mikrogravimetrik gözlemler, hassas nivelman ölçüleri ve GPS kampanyaları ile bütünleştirilmeye uğraşmaktadır. Aşağıda bu çalışmalar açıklanacaktır.



Şekil 2. KAFZ' nun Batı kısmında İznik Sapanca-Akyazı mikrojeodezik ağları.

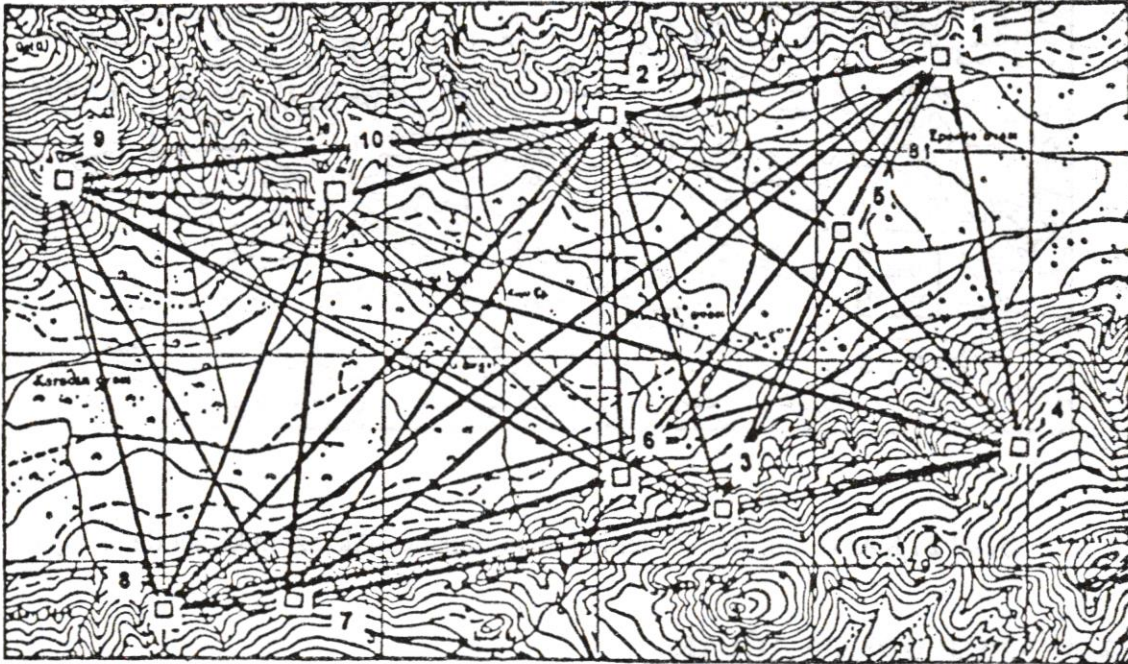
2. MİKROJEODEZİK AĞLAR

Şekil 2'de görüldüğü gibi KAFZ'nun batı kesiminde çatallanmanın başladığı Akyazı'da bir, kuzey kol üzerinde Sapanca Gölünün batısında bir ve güney kol üzerinde İznik Gölünün

batısında bir olmak üzere 3 adet mikrojeodezik ağ kurulmuştur. Bu ağlar ve gözlemlerle ilgili bilgiler Şekil 3, 4 ve 5'de özetlenmiştir.

İZNİK AĞI

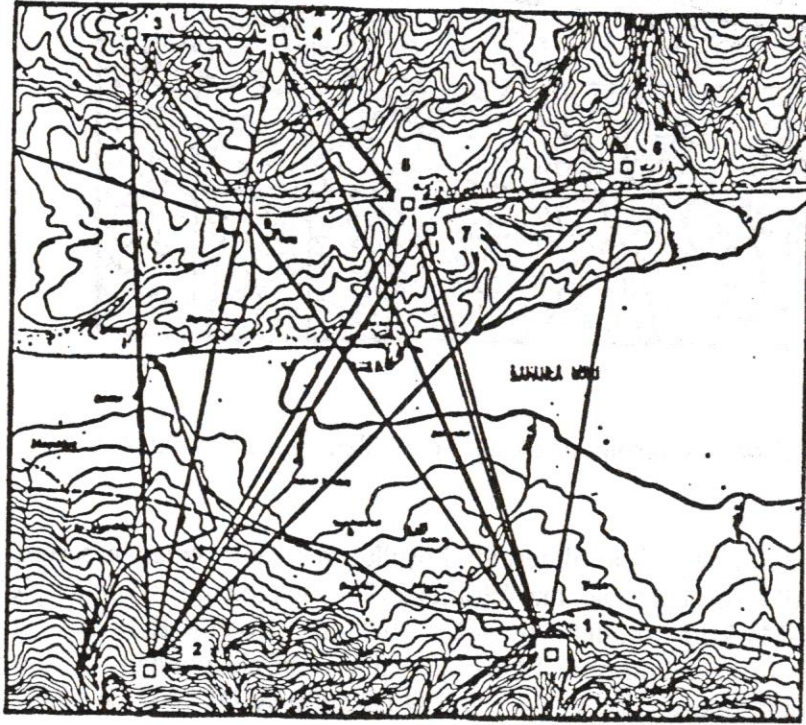
1990	Bu ağın ilk 5 noktası inşa edilmiştir. İlk periyod için eğik mesafe, yatay doğrultu ve düşey açı gözlemleri Zeiss Elta 4 elektronik total station ile yapılmıştır.
1991	Var olan ağ, batı yönünde ek 5 pilye inşa edilerek genişletilmiştir. Eğik mesafe gözlemleri Wild DI 3000 EDM aletiyle gerçekleştirilmiştir.
1992	Eğik mesafe gözlemleri Wild DI 3000 EDM aletiyle gerçekleştirilmiştir.
1993	Eğik mesafe gözlemleri Wild DI 3000 EDM ve Wild DI 2002 aletleriyle gerçekleştirilmiştir. Wild N3 aletiyle hassas nivelmana başlanmış, nivelman gözlemleri üçüncü boyut hassasiyetini artırmak için eklenmiştir.



Şekil 3 . İznik mikrojeodezik ağ konfigürasyonu ve gözlenen eğik mesafeler.

SAPANCA AĞI

1991	6 pilyenin inşası tamamlanmıştır.
1992	İlk periyod eğik mesafe gözlemleri Wild DI 3000 EDM aleti ile gerçekleştirilmiştir.
1993	Eğik mesafe gözlemleri Wild DI 3000 EDM ve Wild DI 2002 aletleriyle gerçekleştirilmiştir.

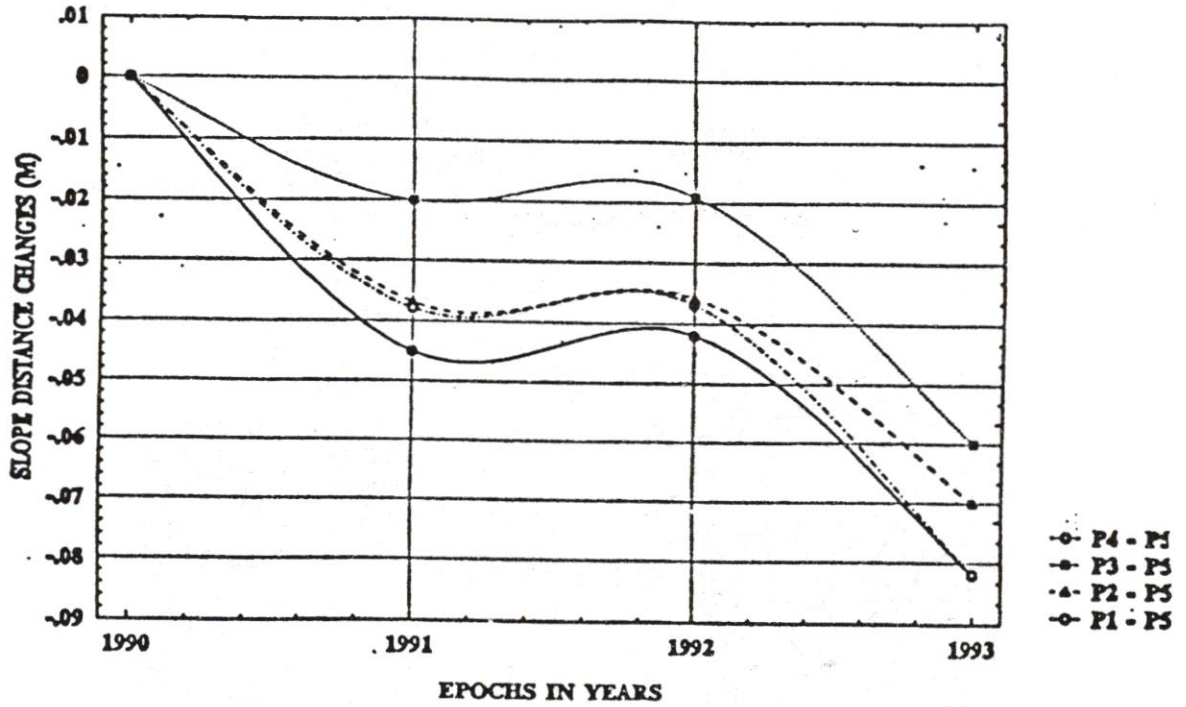


Şekil 4. Sapanca mikrojeodezik ağı ve ölçülen eğik uzunluklar.



Aşağıda, en çok ölçünün yapıldığı İznik ağına ait analizlerin bazı sonuçları verilmiştir. Gözlemler üç farklı EDM'le yapılmıştır. 1990 yılında 5 nokta ile başlayan ağda yalnızca Zeiss Rec Elta 4 kullanılmış, daha sonra eklenen 5 noktayla birlikte oluşan 10 noktalı ağda 1991, 1992 ve 1993 gözlemlerinde WILD DI 3000 ve DI 2002'den yararlanılmıştır.

Teknik ve finansal sorunlar yüzünden aletlere ilişkin standart kalibrasyonlar hiçbir periyot gözleminde yapılmamıştır. Ancak ölçek faktörüne ilişkin belirlemeler gözlemlerin analizleri sırasında yapılmıştır. Ağdaki 1-1.5 km lik 4 kenarın gözlemleri arasındaki farklar Şekil 6'da verilen grafikte görülmektedir.



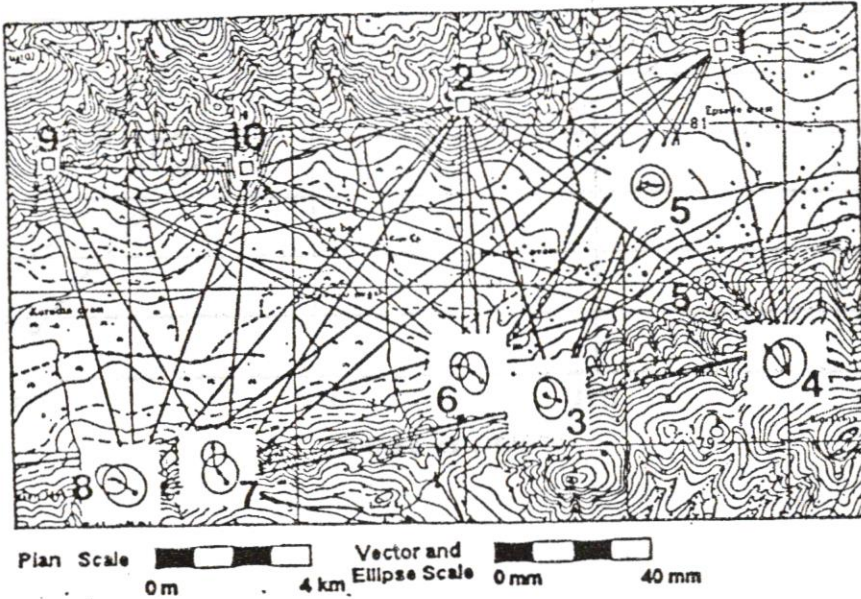
Şekil 6 . İznik deformasyon ağına beş nokta arasındaki eğik boylarda gözlenen değişimler (1990-1993).

Şekilde açıkça görüleceği gibi üç yıllık bir zaman aralığında 9 cm'e varan değişimler vardır ve bunlar kenar boyu ile orantılıdır.

Bu ölçek değişiminin etkisinin aşağıdaki adımlardan oluşan bir algoritma ile yok edilmesi, analizlerin en önemli bölümlerinden birisini oluşturmaktadır.

- Her periyoda ilişkin gözlemler serbest ağ olarak dengelenip uyuşumsuz ölçüler ayıklanır ve o periyoda ait bir birim ağırlıklı ölçünün standart sapması bulunur.
- Her çift periyot arasında benzerlik dönüşümleri uygulanır.
- Tüm benzerlik dönüşümleri birlikte değerlendirilerek birbirlerine göre yer değiştirmeyen noktalar teşhis edilir, diğerleri deformasyon noktası olarak adlandırılır.
- Birbirlerine göre yer değiştirmeyen noktalar sabit tutularak tüm periyot gözlemleri bir seferde dengelenir ve deformasyon noktalarının periyot koordinatları arasındaki fark yerdeğiştirme vektörü olarak yorumlanır. Bu dengelemede bir periyottaki bir alet hariç, her periyotta her alet için ayrı bir ölçek faktörü bilinmeyişi konur.

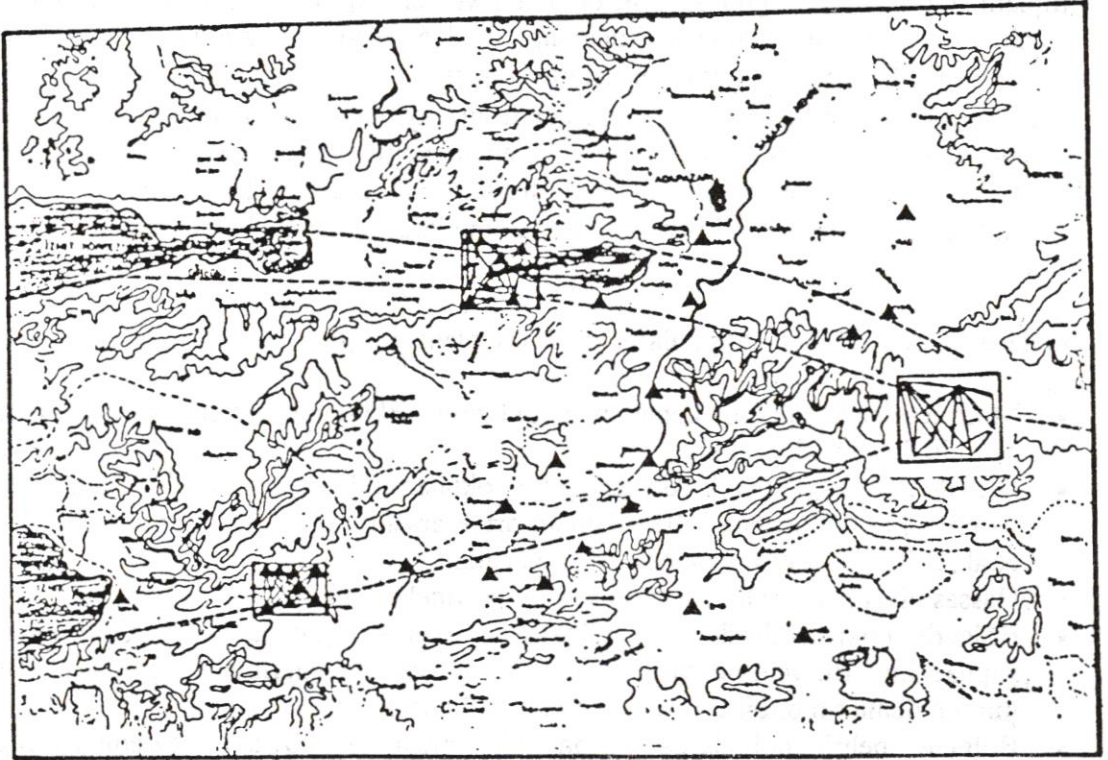
Şekil 7'de İznik ağının 10 noktası ile 1991,1992 ve 1993 periyotları gözlemlerinin değerlendirme sonuçları grafik olarak verilmiştir. Bu analizler sırasında 3,4,5,6,7 ve 8 numaralı noktalar deformasyon noktaları olarak düşünülmüştür. Şekilde bu noktalardaki hareket vektörleriyle bunlara ilişkin %95 anlamlılık düzeyiyle elde edilen güven elipsleri görülmektedir.



Şekil 7. İznik mikrojeodezik ağında 1991,1992,1993 yıllarındaki ölçülerden elde edilen yerdeğiştirme vektörleri ve rölatif hata elipsleri

3- DİĞER GERÇEKLEŞTİRİLMİŞ ÇALIŞMALAR VE PLANLANANLAR

1992 yılında tüm bölgeyi kapsayan 36 adet noktadan oluşan bir gravite ağı kurulmuştur ve baz noktası Kandilli Rasathanesinde olmak üzere LCR G tipi gravite ölçer ile ilk periyot gözlemleri aynı gün içinde gidiş dönüşler olarak yapılmıştır [Okubo, S. et al 1992]. Söz konusu 36 adet noktanın 16 tanesi İznik ve Sapanca mikrojeodezik ağlarının pilyeleridir.



Şekil 8. Kuzey Anadolu Fay Hattının doğusundaki 36 noktadan oluşan gravite ağları.

1993 yılında yalnızca İznik ağına seçilmiş noktaları arasında WILD N3 hassas nivelman aleti ve sertifikalı invar mira ile hassas nivelman ölçüleri yapılmıştır. Burası yatay atımlı bir

kırık olduğundan kısa sürede bir düşey hareket beklenmediğinden gerek gravite gerekse hassas nivelman gözlemlerinin ikinci periyotları için zaman geçmesi beklenmektedir.

1994 yılında 21 gün süreyle 4 adet Trimble SSE 4000 alıcısıyla Akyazı, Sapanca ve İznik ağlarının fayın iki yakasında kalan ikişer noktasında bir GPS kampanyası yürütülmüştür. Bu kampanya MIT (USA) ve Harita Genel Komutanlığının birlikte yürüttükleri ve tüm Türkiye'yi kapsayan bir kampanya ile eş zamanlı yapıldığından lokal nitelikli anılan mikrojeodezik ağlar bölgesel nitelikli bir ağa bağlanmıştır. Ayrıca bu kampanyanın hemen ardından Akyazı ağının noktalarının tümünü kapsayan bir kampanya gerçekleştirilmiştir. Kandilli Rasathanesindeki baz istasyonu ve mikrojeodezik ağlara ait 6 (her ağdan ikişer), toplam 7 noktada 21 gün süreyle derlenen veriler, Trimble GPSurvey ve TRIMVEC yazılımlarıyla yayın efemerisi kullanılıp il değerlendirme olarak post process'den geçirilmiştir. Bu geçici değerlendirmelerin sonuçları olarak noktaların yatayda $\pm 2\sim 3$ mm, düşeyde $\pm 4\sim 5$ mm konum hatası elde edilmiştir. Ayrıca Akyazı ağının 10 noktasında kısa sürede gerçekleştirilen kampanyada derlenen veriler bağımsız bir ağ olarak aynı işlemlerden geçirilince noktaların konum hataları yatayda $\pm 1\sim 2$ mm'ye, düşeyde ise $\pm 2\sim 3$ mm'ye düşmüştür. Her iki işlemde de datum olarak WGS 84 kullanılmıştır.

Gelecekte ise aşağıdaki çalışmaların yapılması planlanmıştır.

- Mikrojeodezik ağların kenar uzunluklarının EDM ile gözlenmelerine periyotlar halinde devam edilecektir.
- Gravite ağı genişletilerek Akyazı ağının noktalarını da kapsayacak bir şekle getirilecek ve bölgenin doğusunda Türk - Alman ortak araştırma projesinin gravite ağıyla [Akın et.al.,1991] birleştirme olanakları aranacaktır.
- Hassas nivelman ölçüleri periyotlar halinde yinelenenecektir.
- Bölgede mikrojeodezik ağın noktalarından başka noktalarda da GPS gözlemleri yapılacaktır. Bu yeni noktaların bir kesimi gravite noktalarından seçilecektir. Böylece tüm gözlemlerin birbirleriyle bağlantıları sağlanacaktır.
- Bölgede belirli noktalarda astronomik enlem ve boylam gözlemleri yapılarak astrojeodezik çekül sapmaları bulunacak, bunlar bölgenin ayrıntılı jeoidinin belirlenmesinde kullanılacaktır.
- İznik ve Sapanca göllerinde belirli noktalarda su seviyesi değişimleri izlenip bunlar ERS 1/2 INSAR tekniği ile birleştirilerek eş potansiyelli yüzeylerin kabuk deformasyonu kökenli değişimleri bulunmaya çalışılacaktır.
- KAWAP geliştirilmeye devam edilecektir.

4. SONUÇ

Çok özel bir amaç için yapılan bu çalışmalardan sağlanan mesleğimize dönük genel deney birikimleri aşağıda verildiği gibi özetlenebilir.

- Mesleğimize ait çalışmaların planlanmasında ve gözlemlerin tasarımında, mesleğimizden beklenenlerle, mevcut koşul ve olanaklar tam olarak belirginleştirilmelidir. Örneğin yukardaki çalışmalarda beklenen hareket vektörlerinin büyüklüklerine göre ağ yeri ve biçiminin seçimi, gözlem araç gereç ve yöntemlerinin saptanması, analiz ve değerlendirmelerin algoritmalarının bulunması vb. mevcut koşul ve olanaklar da dikkate alınarak optimize edilmelidir.
- Çok disiplinli çalışmalarda diğer disiplinlerin amaç ve kapsamı hakkında yeterli bilgiye sahip olmak gerekmektedir.
- Jeodezik ağların oluşturulmasında noktaların yeniden ziyaretleri söz konusu olacaksa bunların yeryüzü işaretlerinin, gözlemlerin incelik ve doğruluğundan kayıp vermeyecek şekilde inşa edilmesi (mecburi merkezlendirmeye uygun) ya da gerekli önlemlerin alınması (incelikli röperlendirme) şarttır.
- Belirli bir büyüklüğü aşan alanlarda çalışılacaksa ya da GPS gibi uzay tekniklerinden yararlanılacaksa, sağlam teorik bilgilere gereksinme vardır.
- Eğitim ve araştırma ağırlıklı kuruluşların kendi paket programlarını kendilerinin üretmesinde sayısız yararlar vardır.
- Elektronik uzunluk ölçüsü teknolojisindeki gelişmeler, mesleğimizde bir yandan doğruluğu arttırırken öte yandan doğrultu ölçülerinin gravite vektörüne bağımlılığından kaynaklanan fonksiyonel modellendirme güçlüklerini en aza indirmektedir.
- GPS teknolojisinin, doğruluk, hız ve maliyet yönünden geleceğin rakipsiz konum belirleme yöntemi olacağı görülmektedir.

TEŞEKKÜRLER. 90TO326, 91TO343, 92TO351 ve 93TO326 numaralı araştırma projeleri kapsamında 1990 yılından bu yana tüm finansal desteği sağlayan Boğaziçi Üniversitesi Araştırma Fonuna ve ayrıca verdiği tüm teşvik ve destekleri için Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Müdürü Prof. Dr. Ahmet Mete Işıkara'ya teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akın, D., H. Demirel and C. Gerstenecker, "Repeated gravity observations in the Mudurnu valley, Turkey", Proc. International Conference of Earthquake Prediction, State of the Art, Strassbourg, France, Oct. 15-18 (1991)
- Allen, C.R., "Comparison between the North Anatolian fault and the San Andreas fault of California", in Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction, edited by A.M. Işıkara and A. Vogel, Vieweg Publ. Braunschweig pp.67-75 (1982)
- Altın, Y., P. Franke and H. Seeger, "Geodynamic Projects of IFAG in the Area of Turkey", Proc. of the Prof. Dr. Wolf Symposium, Yıldız University Istanbul (1993)
- Ambraseys, N.N., "Some characteristic features of the North Anatolian fault zone", Tectonophysics, Vol. 9, pp. 143-165 (1970)
- Barka, A.A. and P.L. Hancock, "Neotectonic deformation pattern in the convex-northward arc of the North Anatolian fault zone", in The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, edited by G. Dixon and A.H.F. Robertson, Spec. Publ. Geol. Soc. London, Vol. 17, pp. 763-774 (1984)
- Barka, A.A. and C. Kadinsky-Cade, "Strike-slip fault geometry and its influence on earthquake activity", Tectonics, Vol. 7, pp. 663-684 (1988)
- Börekçi, O., J. Friedrich, O. Gürkan, C. Gertsenecker, and B. Wrobel, "Monitoring seismic deformations at Izmit Lake Basin by ERS-1/2 INSAR techniques and water level recordings", this conference (1994)
- Brinkmann, R., "Geology of Turkey", Ferdinand Enke Publ. Stuttgart (1976)
- Dewey, J.F. and A.M.C. Şengör, "Aegean and surrounding regions: complex multi-plate and continuum tectonics in a convergent zone, Geol. Soc. America Bull. Vol. 85, pp.553-570 (1974)
- Herece, E., "The Yenice-Gönen earthquake of 1953 and some examples of recent tectonic events in the Biga peninsula of northwest Turkey", M. Sc. Thesis, Pennsylvania State University (1985)
- Ikeda, Y., "Geomorphological observations of the North Anatolian fault zone west of Mudurnu", in Multidisciplinary Research on Fault Activity in the Western Part of the North Anatolian Fault Zone (2), edited by Y. Honkura and A.M. Işıkara, Tokyo Inst. Technology, pp. 6-14 (1988)
- Ikeda, Y., Y. Honkura, and A.M. Işıkara, "Quaternary compressional deformation in the Izmit-Sapanca trough, western Turkey, and its applications for the present tectonics near the western termination of the North Anatolian fault zone", in Multidisciplinary Research on Fault Activity in the Western Part of the North Anatolian Fault Zone (2), edited by Y. Honkura and A.M. Işıkara, Tokyo Inst. Technology, pp. 45-56 (1989a)

- Ikeda, Y., Y. Suzuki, and E. Herece, "Late Holocene activity of the North Anatolian fault zone in the Orhangazi Plain", in Multidisciplinary Research on Fault Activity in the Western Part of the North Anatolian Fault Zone (2), edited by Y. Honkura and A.M. Işıkara, Tokyo Inst. Technology, pp. 16-30 (1989b)
- Ketin, I., "Über die nordanatolische Horizontalverschiebung", in Bull. Mineral Res. Explor. Inst., Turkey, Vol. 72, pp. 1-28 (1969)
- Koch, K.R., "Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models", Springer-Verlag Berlin (1988), p.182f
- McKenzie, D., "Active tectonics of the Mediterranean region", Geophys. J. Roy. Astr. Soc., Vol 30, pp. 109-185 (1972)
- Rüeger, J.M., "Electronic Distance Measurement", Springer-Verlag Berlin (1990)
- Şengör, A.M.C., "The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance", Geol. Soc. London, Vol. 136, pp.269-282 (1979)
- Sipahioğlu, S. and T. Matsuda, "Geology and Quaternary fault in the Iznik-Mekece area", in Electric and Magnetic Research on Active Faults in the North Anatolian Fault Zone, edited by A.M. Işıkara and Y. Honkura, Tokyo Inst. Technology, pp.25-41 (1986)
- Toksöz, M.N., A.F. Shakal, and A.J. Michael, "Space-time migration of earthquakes along the North Anatolian Fault Zone and seismic gaps", Pure Appl. Geophys., Vol. 117, pp. 1258-1270 (1979)
- Udias, A., "Seismicity and seismotectonic stress field in the Alpine-Mediterranean region", in Alpine-Mediterranean Geodynamics, edited by H. Berckhemer and K. Hsü, Amer. Geophys. Union / Geol. Soc. America, pp. 75-82 (1982)
- Wolf, H., "Ausgleichsrechnung I + II", Dümmler Verlag Bonn (1975)