

TEKTONİK DEFORMASYONLARIN JEODEZİK ÖLÇME TEKNİKLERİ İLE İZLENMESİ (KAFZ BATI KESİMİ ÇALIŞMALARI)

O. Gürkan, H. Özener, A. Garagon Doğru, O. Yılmaz, B. Turgut

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul, gurkano@boun.edu.tr

ÖZET

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Bingöl İli'nin Karlıova ilçesinden başlayıp yaklaşık 1500 kilometrelik bir yol izleyerek batıya doğru uzanmaktadır. KAFZ üzerinde jeodezik yöntemler kullanılarak kabuk deformasyonlarını belirleme çalışmalarının başlangıcı 1970'li yıllara dayanmaktadır. Bu yıllardaki jeodezik çalışmalar, yersel yöntemler ile açı ve uzunluk ölçmeleri yapılarak gerçekleştirilmekteydi. Günümüzde, uydu teknolojilerindeki gelişmeler ile GPS (Global Positioning System), yerbilimleri ile ilgili araştırma çalışmalarında vazgeçilmez bir teknik durumuna gelmiştir. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Jeodezi Anabilim Dalı, 1990 yılından itibaren KAFZ'nun batı kesiminde deformasyon amaçlı araştırma çalışmalarına başlamış ve sırasıyla, İznik, Sapanca ve Akyazı mikro-jeodezik ağlarını kurmuştur. Toplam 27 noktadan oluşan bu ağlarda kesintisiz olarak kampanya bazlı ölçmeler yapılmaktadır. 1994 yılına kadar sadece yersel yöntemlerle çalışılmış, ardından GPS alıcıları kullanılarak uydu teknikleriyle gözlemler yapılmaya başlanmıştır. Kurulan bu ağlarda yapılan gözlemler neticesinde 17 Ağustos depremi öncesi, sonrası ve sonrasında meydana gelen yerdeğiştirmelerin büyüklüğü tesbit edilebilmiştir. Bu bildiride, gerçekleştirilen ve sürdürülmekte olan çalışmalar ile bunlardan elde edilen sonuçlara yer verilmektedir.

Anahtar Sözcükler: KAFZ, Jeodezi, Yersel Yöntemler, Tektonik, Deformasyon.

ABSTRACT

MONITORING TECTONIC DEFORMATIONS USING GEODETIC MEASUREMENT TECHNIQUES (THE STUDY OF THE WESTERN NAFZ)

North Anatolian Fault Zone (NAFZ) having a length of 1500 km, extends from Karlıova district of Bingöl province to the west. The beginning of the studies of determining crustal deformations on the NAFZ has started in 1970s. In that years, geodetic studies were performed using terrestrial methods and based on the angle-distance measurements. Now, with the advancements of space technology, GPS is an indispensable technique for geosciences. The study of monitoring horizontal crustal movements on the western part of NAFZ has started by Geodesy Department of Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute of Boğaziçi University in 1990. Three geodetic control networks were established in İznik, Sapanca, and Akyazı regions in order to monitor crustal displacements. Campaign-based observations are being carried out at this 27-point network. The first period observations were performed by using terrestrial methods and these observations were repeated annually until 1994. Since 1994 GPS measurements have been carried out at the temporary and permanent points in the area. Due to the results of these observations, pre/co/post-seismic displacements of 1999 Kocaeli earthquake were determined. This paper focuses on the past and the present studies and the results of these works as well.

Keywords: NAFZ, Geodesy, Terrestrial Methods, Tectonics, Deformation.

1. GİRİŞ

Alp-Himalaya sıkışma zonu içinde yeralan Türkiye, aktif tektonik yapısı nedeniyle deprem tehdidi altındadır. Uzay jeodezisi tekniklerine(GPS,SLR vs.) dayalı ölçüler, aletli sismik çalışmalar, neotektonik araştırmalar ve tarihsel depremler ülkemizin karşı karşıya olduğu deprem tehdidinin boyutu ve sonuçları konusunda önemli bilgiler vermektedir. Deprem riskinin fazla olduğu Kuzey Anadolu Fay Zonu batı ucunda yeralan İstanbul ve İzmit bölgesi, tarihsel ve kültürel zenginliğinin yanı sıra, ülkemizin sanayi ve teknoloji tesisleri ile nüfus ve yerleşimin en yoğun olduğu bölgedir.

Yerkabuğundaki gerilmelere ve depremlere neden olan küçük yerkabuğu hareketlerinin yeri, yönü ve büyüklüğünün saptanması jeodezik ölçmelerle gerçekleştirilmektedir. Bu amaç doğrultusunda uygulanan jeodezik yöntemde arazinin fay kırıklarını karakterize eden yerlerine ölçme noktaları tesis edilir. Bu noktalar birbirlerine jeodezik ölçülerle bağlanarak bir kontrol ağı oluşturulur. Her yıl tekrarlanan ölçmelerden elde edilen verilerin değerlendirilmesinden sonra noktaların ve dolayısıyla temsil ettiği kütlemin hareketi saptanır. Böylece jeodezik olarak belirlenen yerkabuğu deformasyonları, jeofizik ve jeolojik verilerle birlikte yorumlanabilir.

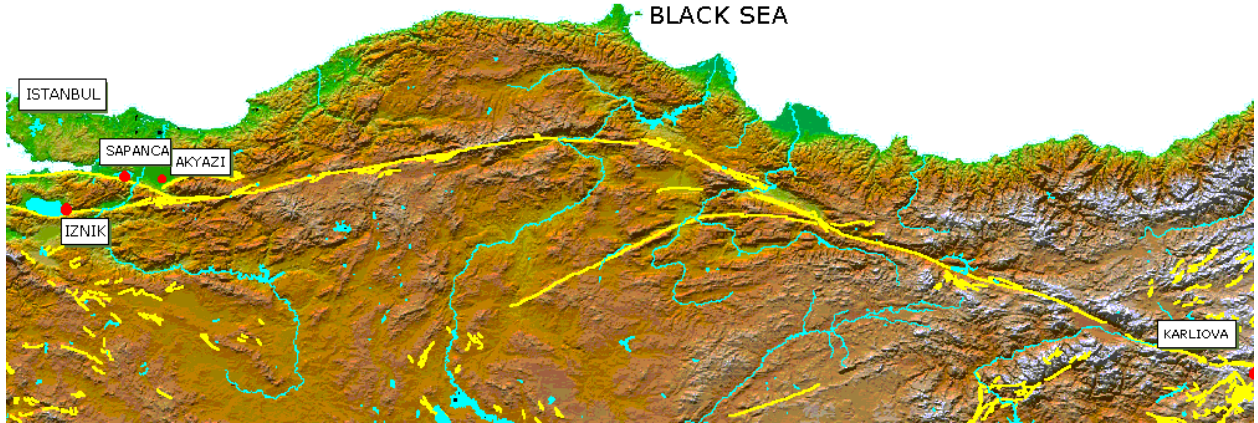
Yerkabuğu hareketlerinin saptanması için yapılan jeodezik ölçmelere “deformasyon ölçmeleri”, elde edilen ölçülerin değerlendirilerek deformasyonların saptanması ve yorumlanmasına da “deformasyon analizi” adı verilmektedir. Yeni ölçme donanımları ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler deformasyon ölçme ve analizinde yeni bir çağ açmıştır.

Günümüzde deformasyonların büyüklüğü yanında hızı, ivmesi ve hatta ivmesinin zamana bağlı değişimi yüksek presizyonlu olarak belirlenebilmektedir. Deformasyonların belirlenmesi, söz konusu bölgede belirlenen karakteristik noktalarda zamana ve/veya etkiyen kuvvetlere bağlı olarak anlamlı bir hareketin var olup olmadığının belirlenmesidir.

2. KUZEY ANADOLU FAY ZONU BATI KESİMİNDE KURULMUŞ OLAN MİKROJEODEZİK AĞLARDA BÖLGESEL YATAY YERKABUĞU HAREKETLERİNİN İZLENMESİ

2.1 Kuzey Anadolu Fay Zonu

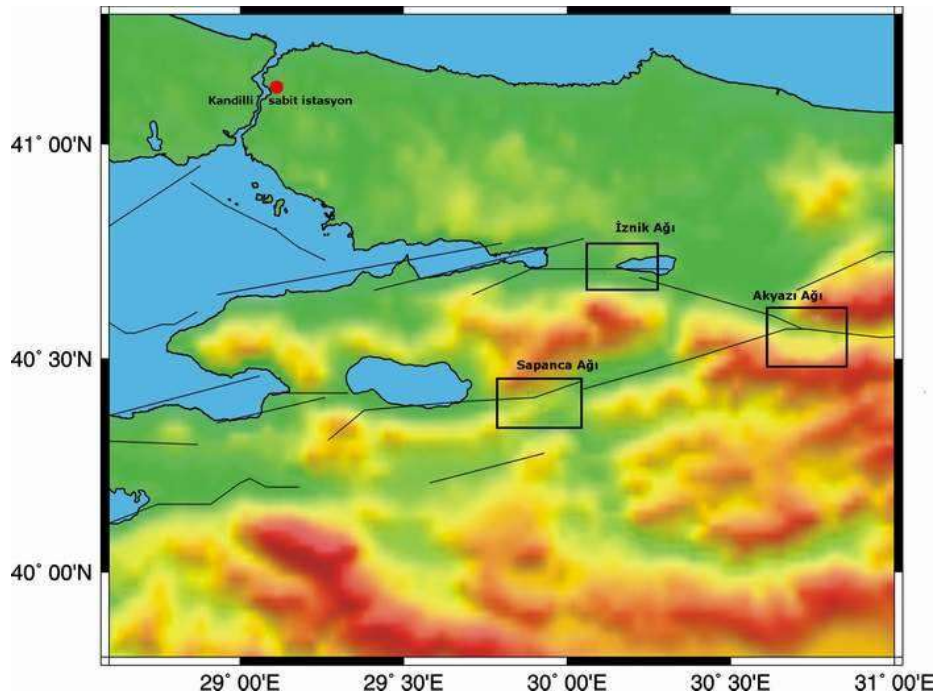
Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Bingöl ilinin Karlıova ilçesinden başlayarak yaklaşık 1500 km.'lik bir yol izleyerek batıya doğru uzamaktadır (Şekil 1). Genişliği ise 100m ile 10km arasında değişmektedir. Jeodezik yöntemler kullanılarak KAFZ ile ilgili kabuk deformasyonlarını belirleme çalışmalarının başlangıcı 1970'li yıllara dayanmaktadır. Bu yıllardaki jeodezik çalışmalar, yersel yöntemler ile açı-uzunluk ölçmeleri yapılarak gerçekleştirilmekteydi. Daha sonraları uydu teknolojilerindeki gelişmeler ve ABD'de geliştirilen GPS (Global Positioning System) sistemi, sağladığı yüksek doğruluk nedeniyle yer bilimcilerin özellikle jeodezi, jeofizik ve jeologların dikkatini çekmiş ve yer bilimleri ile ilgili araştırma çalışmalarında vazgeçilmez bir yöntem durumuna gelmiştir. Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeodezi Anabilim Dalı da 1990 yılından itibaren KAFZ'ın batı kesiminde deformasyon amaçlı araştırma çalışmalarına başlamış ve sırasıyla, İzmit, Sapanca ve Akyazı mikro-jeodezik ağlarını kurmuştur. Bu çalışmalar yer kabuğu hareketlerinin periyodik olarak izlenmesine dayanmakta olup, bunların sonucunda deprem kestirimine olanak sağlayacak veriler de elde edilmeye çalışılmaktadır. Toplam 27 noktadan oluşan söz konusu ağlarda kesintisiz olarak kampanya bazlı ölçmeler yapılmaktadır. 1994 yılına kadar sadece yersel yöntemler izlenmesine rağmen, aynı yıl üniversiteye kazandırılan ve ilk olma özelliği taşıyan GPS alıcıları kullanılarak uydu teknikleriyle gözlemler yapılmaya başlanmıştır. Boğaziçi Üniversitesi Araştırma Fonu ile başlayan ve Bilimsel Araştırma Projeleri ile devam eden desteklerle bu çalışmalar sürdürülmektedir. Bundan başka, yine Jeodezi Anabilim Dalının ortağı olduğu ve TÜBİTAK-MAM'ın yönetiminde, Massachusetts Institute of Technology (MIT), İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) ve Harita Genel Komutanlığı (HGK)'nın da katılımcısı olduğu uluslararası bir proje ile Marmara Bölgesine kurulan sabit GPS istasyonları ile 24 saat kesintisiz ölçme yapmak mümkün olmuştur. KAFZ üzerinde İTÜ, MTA, HGK, ETH-Zürich, MIT ve TÜBİTAK-MAM'ın yürütmüş ve yürütmekte olduğu deformasyon amaçlı birçok çalışma bulunmaktadır.



Şekil 1: Kuzey Anadolu Fayı

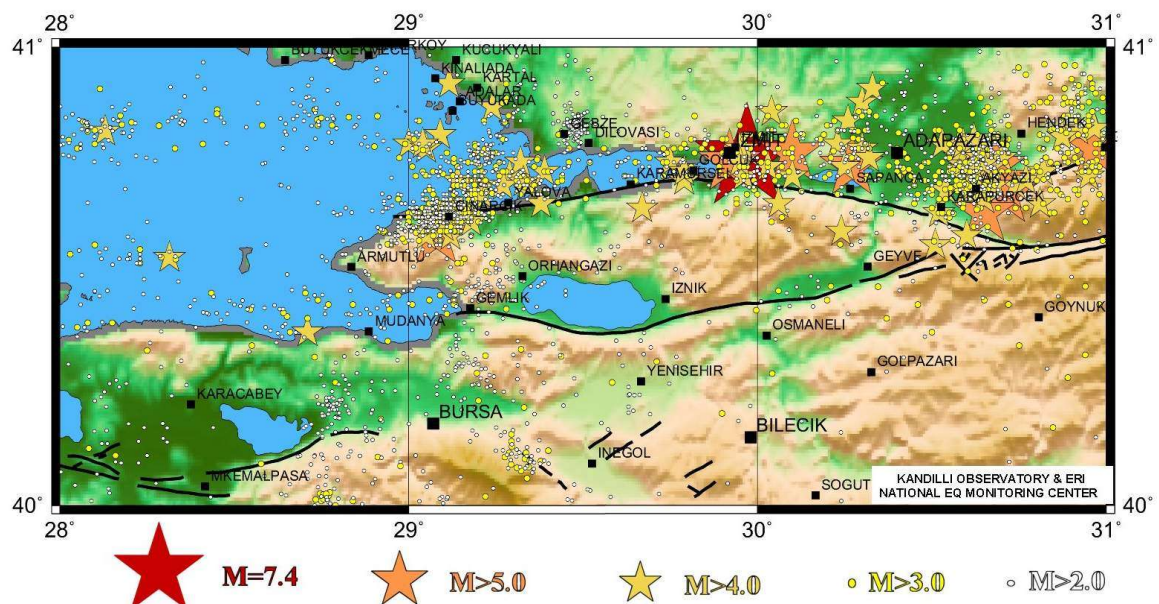
2.2 Mikro-jeodezik Ağlar

Deformasyon belirlemeye yönelik olarak KAFZ'ın batı kesiminde sırası ile İzmit, Sapanca ve Akyazı Mikrojeodezik Ağları Anabilim Dalımız tarafından kurulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2: Mikro-jeodezik ağlar

- İznik Mikrojeodezik Ağ: Bölgenin en az sismik aktivitesine sahip İznik-Mekece Fay Segmentinde 10 noktalı olarak 1990-1991 yıllarında kurulmuştur.
Noktalar arası en kısa mesafe yaklaşık 518 m'dir.
Noktalar arası en uzun mesafe yaklaşık 4498 m'dir.
- Sapanca Mikrojeodezik Ağ: Bölgenin en aktif sismik hareketliliğine sahip (şekil 3) İzmit-Sapanca Fay Segmentinde 7 noktalı olarak 1990 yılında kurulmuştur.
Noktalar arası en kısa mesafe yaklaşık 3546 m'dir.
Noktalar arası en uzun mesafe yaklaşık 7188 m'dir.
- Akyazı Mikrojeodezik Ağ: Fay hattının ikiye ayrıldığı ve karmaşık bir yapıya sahip olan Mudurnu Segmenti üzerinde 10 noktalı olarak 1992 yılında kurulmuştur.
Noktalar arası en kısa mesafe yaklaşık 2745 m'dir.
Noktalar arası en uzun mesafe yaklaşık 10164 m'dir.



Şekil 3: Kuzey Anadolu Fayı batı kesimi sismik aktivitesi (17.08.1999-01.03.2005)

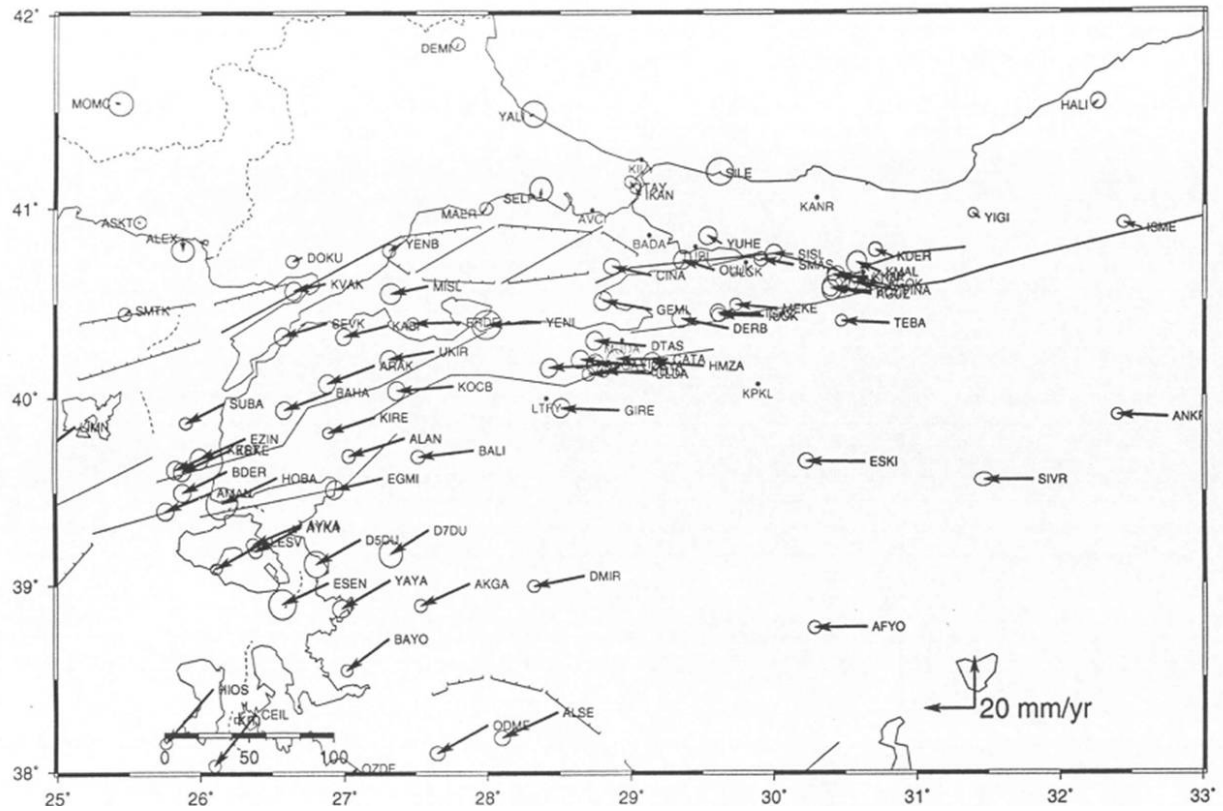
Yürütülen projeler dahilinde her sene en az 1 defa olmak üzere, başlangıçta sadece jeodezik yersel yöntemlerle ölçmeler yapılmış, GPS (Global Positioning System) tekniği yaygın olarak kullanılmaya başlandıktan sonra da ağılar uydu teknolojisiyle birbirlerine ve diğer önemli jeodinamik amaçlı GPS ağlarına bağlanmışlardır. Tablo 1’de deformasyon ağlarının jeodezik geçmişi verilmektedir. Söz konusu mikrojeodezik ağlara ait istasyonlar ulusal ve uluslararası birçok projede kullanılmaktadır. Kampanya bazlı ölçmelerin gerçekleştirildiği bu istasyonlardan başka, Anabilim Dalımız tarafından Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Kampüsü içerisinde kurulmuş olan sabit GPS istasyonu IKAN, 24 saat sürekli GPS sinyal verilerini depolamaktadır. Bu istasyona ait veriler, aynı amaçla tüm Marmara Bölgesi dahilinde kurulmuş olan diğer istasyonlardan alınan verilerle biraraya getirilip değerlendirilmektedir.

YIL	İZNİK AĞI	SAPANCA AĞI	AKYAZI AĞI	KULLANILAN ALETLER
1990	İlk 5 pilyenin inşaatı. Eğik Mesafe, yatay doğrultu, düşey açı gözlemleri.	Mikrojeodezik Ağın 6 noktasının inşaatı.		Mekometer ME 3000, Wild DI 2002, Zeiss Elta 4
1991	5 yeni pilyenin yapılarak mevcut ağın batıya doğru genişletilmesi. Yersel gözlemler.	İlk periyod yersel ölçmeler.		Wild DI 3000, Zeiss Elta 4
1992	Yersel gözlemler ve ilk periyod gravite ölçmeleri.	İlave ayaklı pilyenin imalatı. Yersel ölçmeler, gravite ölçmeleri.	Mikrojeodezik Ağın 10 noktasının inşaatı.	Wild DI 3000, Wild DI 2002, Zeiss Elta 4, LCR G-tipi gravimetre
1993	Eğik mesafe, yatay doğrultu, düşey açı gözlemleri, presizyonlu nivelman.	Yersel ölçmeler.	İlk periyod yersel ölçmeler.	Wild T202, Wild DI 3000, Wild DI 2002 and Wild N3
1994	İlk periyod GPS ölçmeleri.	İlk periyod GPS ölçmeleri.	İlk periyod GPS ölçmeleri.	Trimble 4000 SSE
1995	GPS ölçmeleri.	GPS ölçmeleri.	GPS ölçmeleri.	Trimble 4000 SSE, GeoTracer 2000
1996	GPS ölçmeleri.	GPS ölçmeleri.	GPS ölçmeleri.	Trimble 4000 SSE
1997	GPS ölçmeleri.	GPS ölçmeleri.	GPS ölçmeleri.	Trimble 4000 SSE, GeoTracer 2200
1998-2000	GPS ölçmeleri.	GPS ölçmeleri.	GPS ölçmeleri.	Trimble 4000 SSE, SSI, SST
2001	GPS ölçmeleri, eğik mesafe ölçmeleri.	GPS ölçmeleri.	GPS ölçmeleri.	Trimble 4000 SSE, SSI, SST, Wild DI2002, 3000
2002	GPS ölçmeleri, eğik mesafe ölçmeleri.	GPS ölçmeleri.	GPS ölçmeleri.	Trimble 4000 SSE, SSI, SST, Wild DI2002, 3000
2003	GPS ölçmeleri.	GPS ölçmeleri.	GPS ölçmeleri.	Trimble 4000 SSI, 5700
2004	GPS ölçmeleri, eğik mesafe ölçmeleri.			Trimble 4000 SSE / SSI, Wild DI 3000

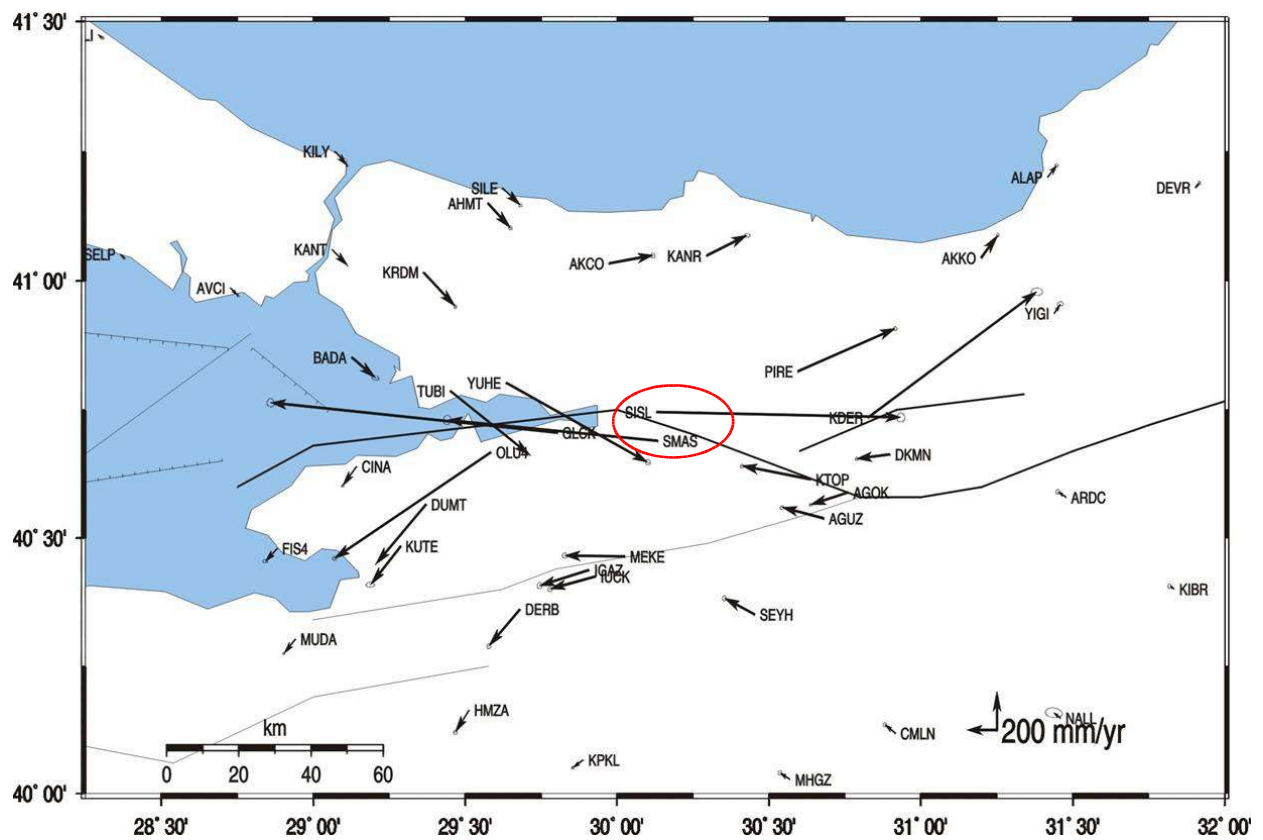
Tablo 1: Mikro-jeodezik ağların tarihçesi

2.3 Değerlendirmeler

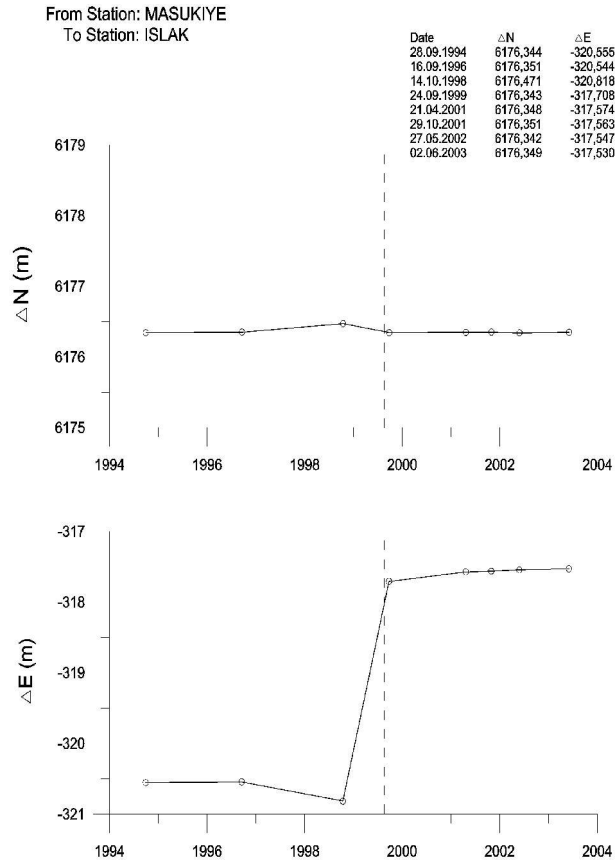
Gerçekleştirilen projeler kapsamında, 1990-1993 yılları arasında yapılan jeodezik yersel gözlemlerde bulunan yerdeğiştirme miktarları, hata elipsleri içinde kalmış, dolayısıyla bu hareketler anlamlı olarak değerlendirilememiş, GPS tekniğinin kullanımı ile birlikte anlamlı yerdeğiştirme vektörleri elde edilebilmiştir. Şekil 4 1999 Kocaeli Depremi öncesinde Marmara Bölgesi’nin hız alanını ve şekil 5 ise deprem anındaki hız alanını göstermektedir. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminin baz bileşenleri şekil 6’da verilmektedir. Deprem sonrasında Marmara Bölgesi’nin güncel hız alanı ise şekil 7’de sunulmaktadır.



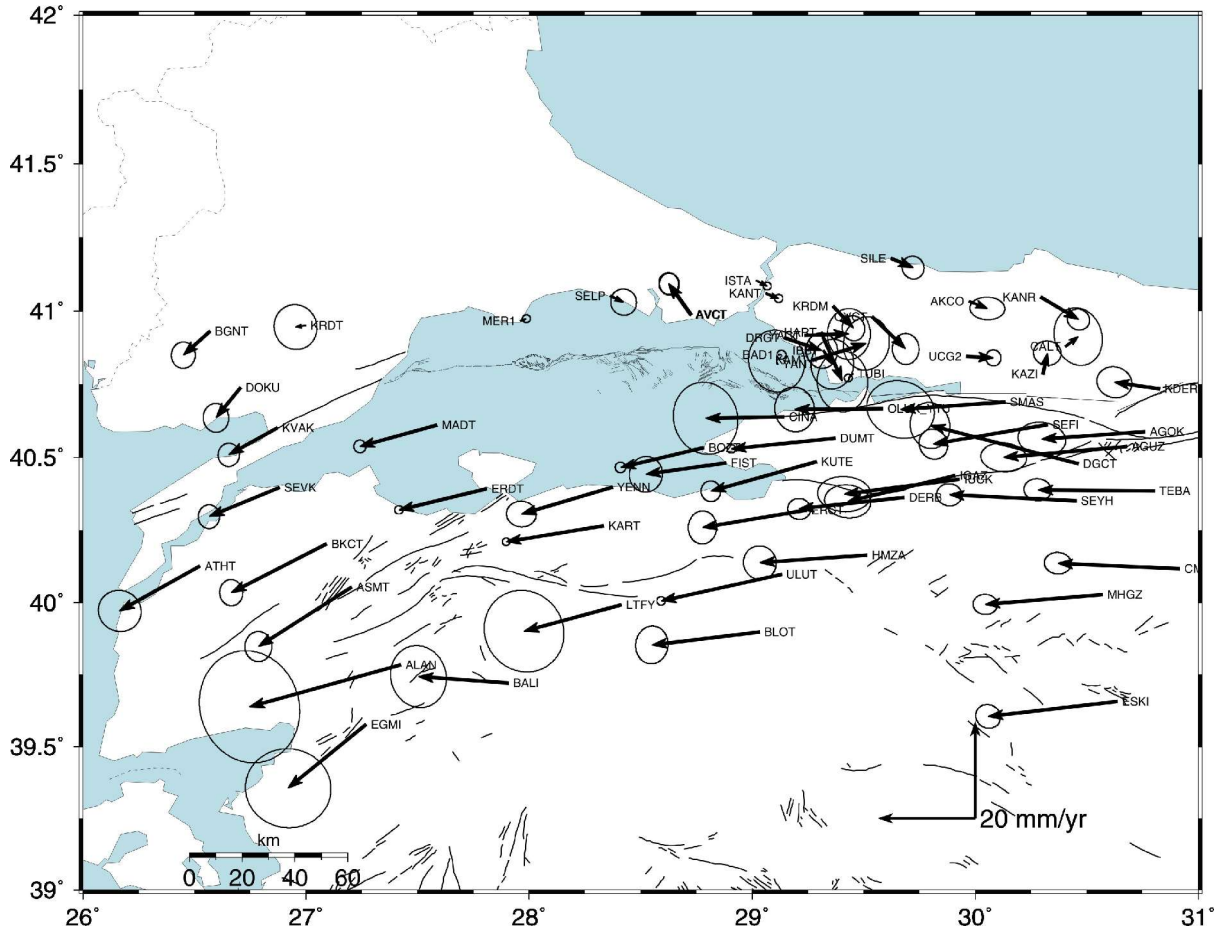
Şekil 4: Marmara Bölgesi pre-sismik hız alanı (1994-1999)



Şekil 5: 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminin ko-sismik hız alanı



Şekil 6: 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin baz bileşenleri



Şekil 7: Marmara Bölgesi güncel hız alanı (TÜBİTAK-MAM YDBAE)

3. SONUÇLAR

Süre gelen projeler kapsamında, Kuzey Anadolu Fay Zonu batı kesiminin farklı bölgelerinde homojen yapıda kurulmuş olan ve 1990 yılından bu yana jeodezik yöntemlerle deformasyon ölçmelerinin gerçekleştirildiği Mikro-jeodezik Ağlarda (İznik, Sapanca ve Akyazı) deformasyon analizine yönelik ölçmelerin sürekliliğini sağlamak, noktalar arasında anlamlı yerdeğiştirme vektörleri bulmak ve elde edilen sonuçların farkını tesbit etmek amaçlanmaktadır.

Yerkabuğu hareketlerinin tesbitine yönelik oluşturulmuş bu deformasyon ağlarında, hareketlerin belirlenmesi ve bunların anlamlı olarak yorumlanması, duyarlı ve tekrarlı ölçmeler ile mümkün olmaktadır. Anabilim Dalımız tarafından sürdürülen projeler kapsamında KAFZ batı kesimindeki Mikro-jeodezik Ağlardan toplanan “jeodezik veriler” ile oluşturulan “jeodezik veritabanı” yer bilimlerinde önemli bir kaynak teşkil etmektedir. Yürütülen çalışmalar ile farklı jeodezik yöntem ve tekniklerin, yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesine katkısı görülmektedir. Çalışmalardan elde edilen GPS verileri, kabuk deformasyonlarını işaret eden parametrelerin izlenmesine ve depremlerle olası ilişkilerinin saptanmasına da olanak sağlamaktadır.

Gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen sonuçlar kısaca aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Deprem öncesi yersel yöntemlerle gerçekleştirilen çalışmalardan anlamlı yerdeğiştirmeler bulunamamıştır.
- Kuzey kol üzerinde kurulu İznik mikro-jeodezik ağı KAF’ın normal sağ yanal hareketini göstermektedir.
- Güney kol üzerinde kurulu mikro-jeodezik ağıdaki iç deformasyon miktarı diğer ağlara göre daha küçüktür.
- 1999 Kocaeli Depremi anında SMAS ve SISL noktaları arasında 3m’lik rölatif yerdeğiştirme gerçekleşmiştir.
- Güncel hız alanları incelendiğinde birçok noktada deprem öncesi hızlara yaklaştığı görülmektedir.
- Halen deprem tehdidi altında bulunan Marmara Bölgesi’nde jeodinamik amaçlı jeodezik çalışmaların sürdürülmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Ergintav S., Reilinger R., Çakmak R., McClusky S., Hearn E., Meade B., Lenk O., Özener H., 2004. *Geodetic Constraints on the Earthquake Deformation Cycle Along the Western North Anatolian Fault: Implications for Earthquake Mechanics and Seismic Hazards*, Proceedings of the 1st General Assembly, 25-30 April, Nice, France.

Gürkan O., Özener H., 2004. *Post-Seismic Crustal Deformation Following the 1999 Izmit Earthquake, Western Part of North Anatolian Fault Zone*, Proceedings of the AGU Fall Meeting, 13-17 December, San Francisco, California, USA.

Özener, H., 2000. *Monitoring Regional Horizontal Crustal Movements by Individual Microgeodetic Networks Established Along Plate Boundaries*, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi KRDAE Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul.

Özener H., Garagon Doğru A., Korkmaz M.O., Turgut B., 2004. *Investigation of the Past and Present Crustal Deformations Inferred from Different Types of Geodetic Data on the Western Part of North Anatolian Fault Zone*, Proceedings of the AGU Western Pacific Geophysics Meeting, 16-20 August, Honolulu, Hawaii, USA.

Özener H., Garagon Doğru A., Yilmaz O., Turgut B., Gürkan O., 2003. *Detection of Recent Tectonic Movements at the Western Part of North Anatolian Fault Zone (NAFZ) by Geodetic Techniques*, Proceedings of the IUGG General Assembly, 30 June-11 July, Sapporo, Japan.

Özener H., Turgut B., Yilmaz O., Garagon Doğru A., Gürkan O., 2003. *An Investigation on the Recent Crustal Movements on the Western Part of the North Anatolian Fault Zone by GPS Measurements*, Proceedings of the EGS-AGU-EUG Joint Assembly, 06-11 April, Nice, France.