

Türkiye’de Yerkabuğu Hareketlerinin Jeodezik Yönden İncelenmesi

Özlem Atalı

YTÜ İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE
ozlem_atali@hotmail.com

Özet

Avrupa, Asya ve Afrika plakaları arasında bulunan Türkiye çağlardan beri süregelen yerkabuğu hareketlerinin etkisi altındadır. 1999’da yaşanan son depremler özellikle Marmara Denizi’nin altında bulunan yerkabuğundaki gerilmeyi arttırmıştır. Bu tarihe kadar devam eden depremi önceden kestirebilme amaçlı çalışmalar daha çok bölgesel amaçlı ve sadece fiziksel yeryüzünün katı bölümlerini içermektedir. Son depremlerle birlikte global olarak tümüyle Türkiye depremsellik yönüyle ele alınmıştır. Çalışmalarda yeryüzündeki katı kütlelerin yanı sıra sıvı kütleler de incelenmeye başlanmıştır. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) öncülüğündeki çalışmalarla yersel ve uydu ölçmelerinin yanı sıra, deniz tabanına yönelik sismik ve batimetrik ölçümler yapılmaktadır. Bu çalışmada kısaca ülke temel jeodezik ağlarına değinildikten sonra Türkiye’deki levha tektoniği üzerinde durularak ağırlıklı olarak Kuzey Anadolu Fayının Marmara Denizindeki uzantısının belirlenmesi ve sonuçların değerlendirilmesinden söz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Kuzey Anadolu Fayı, Türkiye, Deniz Tabanı Sismometresi, OBS, Sismometre.

Investigation Of Crustal Deformations In Turkey In Respect Of Geodesy

Abstract

Turkey, situated between Europe, Asia and Africa continents, is under the effect of the crustal deformation for ages. The recent earthquakes occurred since 1999 are resulted in a rise of crustal stress under the Marmara Sea. The studies carried out up to this date were local in scale and only consists of the solid part of physical Earth. Turkey was investigated in terms of seismicity after the last earthquakes. The solid and also liquid masses of the Earth have been investigated in these studies. Terrestrial and satellite observations, and also seismic and bathymeter measurements have been done in the investigations which is led by the research institution, “The Scientific and Technical Research Council of Turkey” (TUBITAK). In this study, national geodetic networks were briefly introduced. Later the plate tectonics in Turkey is discussed and the determination of the extension of North Anatolia Fault into Marmara Sea bottom is explained.

Keywords: Earthquake, North Anatolian Fault, Turkey, Ocean Bottom Seismometer, OBS, Seismometer.

1. Giriş

Jeodinamik açıdan Türkiye doğal bir laboratuvar özelliğindedir. Çünkü Afrika ve Avrupa-Asya plakalarının hareketleri, dünyanın en aktif faylarından sayılan kuzey ve kuzeydoğu faylarında yansır. Bu nedenle jeodinamik özellikli araştırma çalışmalarından bazıları da Türkiye'de, Kuzey ve Kuzeydoğu Anadolu Aktif Fay kuşaklarında sürdürülmektedir [URL 1].

Özellikle son 17 Ağustos 1999 depreminden sonra başta İstanbul olmak üzere tüm Marmara bölgesinde deprem risk analizleri için gerekli ve kritik öneme sahip sismolojik, jeodezik ve jeolojik unsurların saptanması amaçlı çalışmalara hız verilmiştir, (Aksoy, 1993; Blewitt, 2000). Kuzey Anadolu Fayının (KAF) ve bunun Marmara Denizindeki uzantısının potansiyel olarak büyük bir deprem üretebileceği olasılığı deprem riski analizini ön plana çıkarmıştır, (Aktuğ ve Kılıçoğlu, 2006; Akyol vd., 2006). Yer kabuğundaki yatay, düşey hareket ve çekim alanındaki değişimler olarak jeodezik değişimlerin belirlenmesi çok disiplinli ve çok amaçlı "**jeodinamik**" çalışmalarının temel unsurudur. Jeodinamik çalışmalar, depremlerin önceden kestirilmesinde temel verileri de üreteceği beklentisiyle son yıllarda büyük önem kazanarak ulusal ve çok uluslu projeler yaygınlaşmıştır.

Marmara Denizi içinde karmaşık bir fay geometrisi sergileyen KAF'nın hangi parçalarının aktif ve olası hasar yaratılabilecek bir depremin odak noktası olabileceğinin güvenilir ve hassas olarak araştırılması gerekir. Karada ve denizde ayrı ayrı yürütülen bu çalışmalarda en büyük engel deniz içi jeolojik ve jeofizik çalışmalarının kara çalışmalarına göre daha zor ve yüksek maliyetli olmasıdır [URL 1].

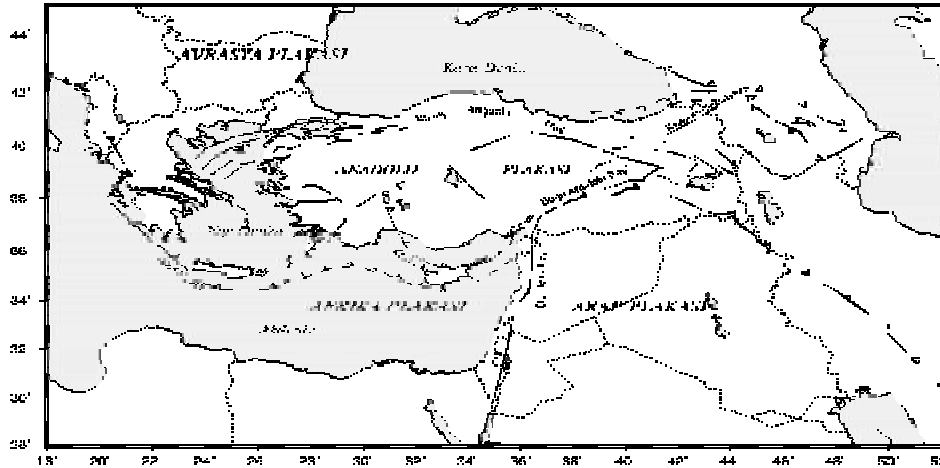
Bu çalışma üç bölümden oluşmaktadır. Genel bilgilerin verildiği bu ilk bölümün ardından ikinci bölümde ülke temel ağlarına değinilerek yer kabuğu hareketlerinin jeodezik yönden belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Son bölümde ise özellikle Marmara Denizinde yürütülen deformasyonların belirlenmesi amaçlı deniz içi çalışmalar anlatılmıştır.

2. Ülke Temel Jeodezik Ağları

Ülkemizde temel jeodezik ağların ilk kuruluş çalışmaları 1934 yılından itibaren başlatılmış ve 1950'li yılların başlarına kadar yapılan çalışmalarla Türkiye Ulusal Datumu-1954 (TUD-54) oluşturulmuştur (Ayhan vd., 2001).

Afrika ve Arap tektonik plakalarının Avrasya tektonik plakası ile çarpışma bölgesinde yer alan Türkiye'de güncel jeodezik ölçü doğruluğunun çok üzerinde büyüklüğe ulaşan yatay ve düşey yer kabuğu hareketleri meydana gelmektedir, (Taymaz, 2001). Son yıllarda yapılan GPS ölçüleri ile tektonik plaka hareketlerinin 2-3 cm/yıl mertebesinde yatay yönde konum değişikliğine neden olduğu, hareketlerin büyüklük ve yönünün bölgeden bölgeye değiştiği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Ege Graben Sistemi ve Doğu Anadolu başta olmak üzere ülkemizde ortalama 1-2 yılda bir büyüklüğü 6 olan büyük depremler olmakta, bu depremler \pm 2-3 metre mertebesinde konum değişikliği (ko-sismik hareket) yaratabilmektedir. Ayrıca depremlerin hemen sonrasındaki ilk üç ay boyunca etkili olan artçı depremler sonucu \pm 5-10 cm mertebesinde deprem sonrası (post-sismik) konum değişikliği olmaktadır, (Ketin, 1976).

Ulusal Temel Jeodezik Yatay Kontrol Ağının kurulması ve sıklaştırılması çalışmalarının 1934-1970 yılları arasında gerçekleştirildiği göz önünde tutulursa, inter-sismik, ko-sismik ve post-sismik yer kabuğu hareketlerin, bölgeden bölgeye büyüklük ve yönü değişen, TUD-54 noktalarında toplam \pm 3-5 metre yerel yatay konum değişikliklerine neden olduğu düşünülmektedir. Düşey konum değişiklikleri daha çok deprem sırasındaki ko-sismik hareketlerden kaynaklanmakta olup deprem yüzey kırığı çevresinde \pm 1-3 metre değerlerine ulaşmakta, yüzey kırığından uzaklaştıkça azalmaktadır (Barka, 1996; Reilinger vd., 2000).



Şekil 1. Anadolu'nun Tektonik Yapısı (McClusky vd., 2000)

Belirtilen nedenlerle halen kullanımda olan Ulusal Temel Jeodezik Yatay Kontrol Ağı; kuruluşundan bugüne kadar geçen zaman içinde yerel ve bölgesel nitelikli yatay konum bozulmalarına uğramış, KAFZ, DAFZ, Ege Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesindeki yatay kontrol noktalarında yükseklik değişimi olmuş ve pratik kullanım ihtiyaçlarına cevap vermaktan uzaklaşmıştır. Yatay kontrol ağındaki bölgesel ve yerel nitelikli bozulmaların etkisini gidermek amacıyla, Harita Genel Komutanlığı, 1970'li yıllarda başlayan ve 1980'li yıllarda yoğunluk kazanan çalışmalar kapsamında açı, kenar, Doppler ve nivelman ölçüleri yapmıştır. Ancak bu çalışmalar daha çok tahrip olan noktaların yenilenmesi ile sınırlı kalmış, özellikle tektonik aktivitenin oluşturduğu karmaşık deformasyonlar nedeniyle tam olarak sonuçlandırılması olanaklı olmamıştır. 0.1-0.01 parts per million (ppm) baz doğruluğu sağlayan uydu jeodezisine dayalı Global Konumlama Sistemi (GPS) 1980'li yılların sonlarından itibaren ülkemizdeki jeodezik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır, (Kahveci ve Yıldız, 2009). GPS ile belirlenen Ulusal Jeodezik Temel Yatay Kontrol Ağındaki bölgesel ve yerel bozukluklar, ülkemizde yeni bir jeodezik temel ağı oluşturulması ihtiyacını doğurmuştur, (Segall ve Davis, 1997). Yeni kurulacak jeodezik temel ağı;

- Üç boyutlu jeosentrik koordinat sisteminde ve belirli bir epok için tanımlı,
- Her noktasında üç koordinat $[(x,y,z)$ veya (enlem, boylam, elipsoid yüksekliği)], hız $[(v_x,v_y,v_z)$ veya $(v_j, v_l, v_h)]$, ortometrik yükseklik (H) ve jeoid yüksekliği (N) bilinen,
- Ülke yüzeyine olabildiğince homojen dağılmış, ulaşımı kolay ve birbirini görme zorunluğu olmayan noktalardan oluşan,
- Jeodezik nokta konumlama, navigasyon ve jeodinamik amaçlarla kullanıma uygun,
- Halen kullanımda olan ED-50 datumundaki Ulusal Temel Yatay Kontrol Ağı ile arasındaki dönüşümü sağlanan ve
- GPS teknolojisine dayalı,

olması öngörülmüştür. Bu özellikleri sağlayan jeodezik temel ağı kurulması ile ilgili ölçme ve değerlendirme çalışmaları fiilen 1997-1999 yıllarında tamamlanmış olup oluşturulan bu ağı Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı - 1999 (TUTGA-99) ismi verilmiştir (Ayhan vd., 2001). TUTGA-99 yapı olarak dört ana elemandan oluşmaktadır:

- Uluslararası Yersel Referans Sistemi-1996 (ITRF-96) ve 1998.0 epoklu koordinatları bilinen GPS noktaları ağı,

- 1992-1999 yılları arasında gerçekleştirilen jeodinamik amaçlı projelerde, tekrarlı GPS ölçüleri ile hızları belirlenen hız (jeodinamik) noktaları ve bunlara dayalı olarak diğer TUTGA-99 noktalarında kestirilen hızlardan oluşan TUTGA-99 Hız Alanı,
- 1988-1999 yılları arasında GPS noktalarına yapılan nivelman bağlantı ölçüleri ile bulunan 187 noktadaki GPS/Nivelman jeoid yükseklikleri ve 1985-1986 yıllarında hazırlanan Türkiye'nin sayısal arazi modeli ve 1956 yılından bugüne kadar süregelen çalışmalarla elde edilen 70000 gravite ölçüsü kullanılarak hesaplanan Türkiye Jeoidi-1991 (TG-91)'in birleştirilmesi ile elde edilen Türkiye Jeoidi-1999 (TG-99) ile 1936 yılından bu yana sürdürülen nivelman ölçülerinin değerlendirilmesi ile oluşturulan, her noktasında Helmert Ortometrik Yüksekliği bilinen Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99),
- TUTGA-99 ile ED-50 arasında koordinat dönüşümü (Ayhan vd., 2001).

3. WGS84 Sistemi İle ED50 Arasında Koordinat Dönüşümü

GPS sisteminin işletiminden sorumlu olan ABD Savunma Bakanlığı yersel referans sistemi olarak WGS84 (Dünya Jeodezik Sistemi 1984) sistemini kullanmaktadır. GPS uydularından yayınlanan navigasyon mesajı içerisindeki uydu yörünge bilgileri (efemeris) WGS84 sistemindedir.

GPS yöntemiyle konumlandırılan noktaların WGS84 koordinatlarının Türkiye için kabul edilen datum olan ED50'ye dönüştürülmesi gerekmektedir. Datum dönüşümü ile ilgili temel formülasyon aşağıdaki gibidir:

$$\begin{bmatrix} X_{ED50} \\ Y_{ED50} \\ Z_{ED50} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_Z & -\varepsilon_Y \\ -\varepsilon_Z & 1 & \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y & -\varepsilon_X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{WGS84} \\ Y_{WGS84} \\ Z_{WGS84} \end{bmatrix} + k \begin{bmatrix} X_{WGS84} \\ Y_{WGS84} \\ Z_{WGS84} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_X \\ t_Y \\ t_Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

Tablo 1: WGS-84'den ED-50'ye dönüşüm parametreleri

X eksenini etrafındaki dönüklük	$\varepsilon_X = 0.0183''$
Y eksenini etrafındaki dönüklük	$\varepsilon_Y = -0.0003''$
Z eksenini etrafındaki dönüklük	$\varepsilon_Z = 0.4738''$
X eksenini yönündeki öteleme	$t_X = 84.003 \text{ m}$
Y eksenini yönündeki öteleme	$t_Y = 102.315 \text{ m}$
Z eksenini yönündeki öteleme	$t_Z = 129.879 \text{ m}$
Ölçek	$k = -1.0347$

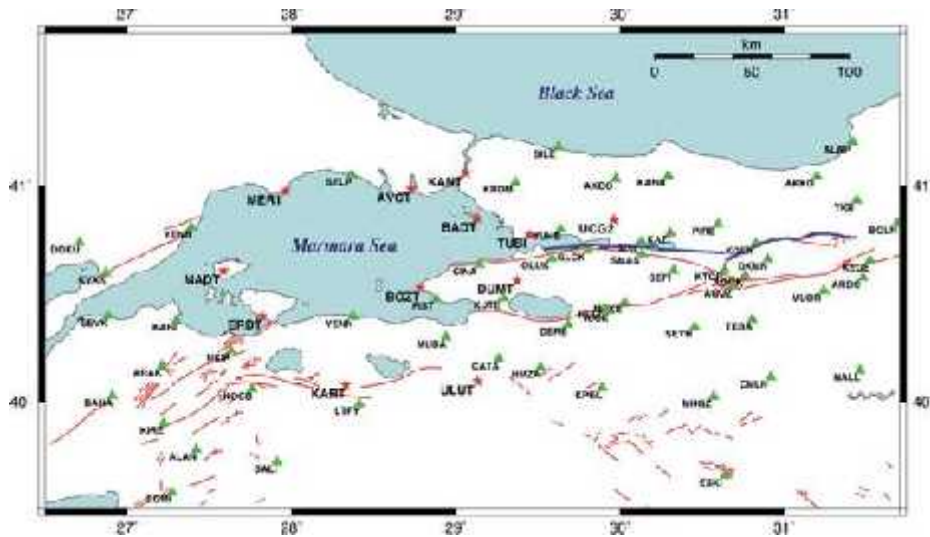
Eşitlik (1)'de verilen parametrelerin büyüklükleri hesaplanmıştır. Tablo 1'de WGS-84'den ED-50'ye dönüşüm parametreleri verilmektedir [URL 2]. Tersine dönüşüm parametreleri de kolaylıkla türetilir.

4. Sabit GPS İstasyonları İle Anadolu Kinematığının İncelenmesi

Ülkemizde özellikle inter-sismik yatay yer kabuğu hareketleri jeodezik ölçü doğruluğunun üzerinde büyüklüğe ulaşmaktadır. Bu nedenle bir referans epokunda koordinat kümesini belirlemek için hız alanının doğru olarak bilinmesi gerekir. Bu amaçla GPS verileriyle desteklenen Uluslararası Yersel Referans Çatısına (ITRF- International Terrestrial Reference Frame) dayalı olan jeodezik ağlar bölgesel yer kabuğu hareketlerinin araştırılması konusunda önemli rol oynamaktadır.

Bu amaçla Uluslararası GNSS Servisiyle (IGS- International GNSS Service) bağlantılı, 24 saat veri toplayan Türkiye Sabit GPS istasyonları (TPGN- Turkey Permanent GPS Network) ülkemizde 1999 yılında kurulmuştur. Bu istasyonlardan oluşan GPS ağı yardımıyla tektonik olarak aktif bir alanda yer alan Türkiye’de sürekli deformasyonlar izlenerek bölgenin kinematığının ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

Marmara Sürekli GPS Gözlem Ağının (MAGNET) amacı Kuzey Anadolu Fayı’nın (KAF) batı kısmı (Tekirdağ’dan, İstanbul dahil, İzmit’e kadar olan tüm Marmara Bölgesi) ve orta kısmı (doğuda Düzce-Bolu’ya kadar olan alan) gibi yerleşimin ve endüstrinin yoğun olarak bulunduğu, büyük milli yatırımların yoğunlaştığı yerlerdeki aktif fayların üzerindeki gerilme birikimlerini saptamak ve buna bağlı olarak deprem riskini ortaya çıkarmaktır. Bu amaçla, bu bölgeler için deprem potansiyeli oluşturan aktif fayların hareket yönlerinin ve üzerlerindeki gerilme birikimlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

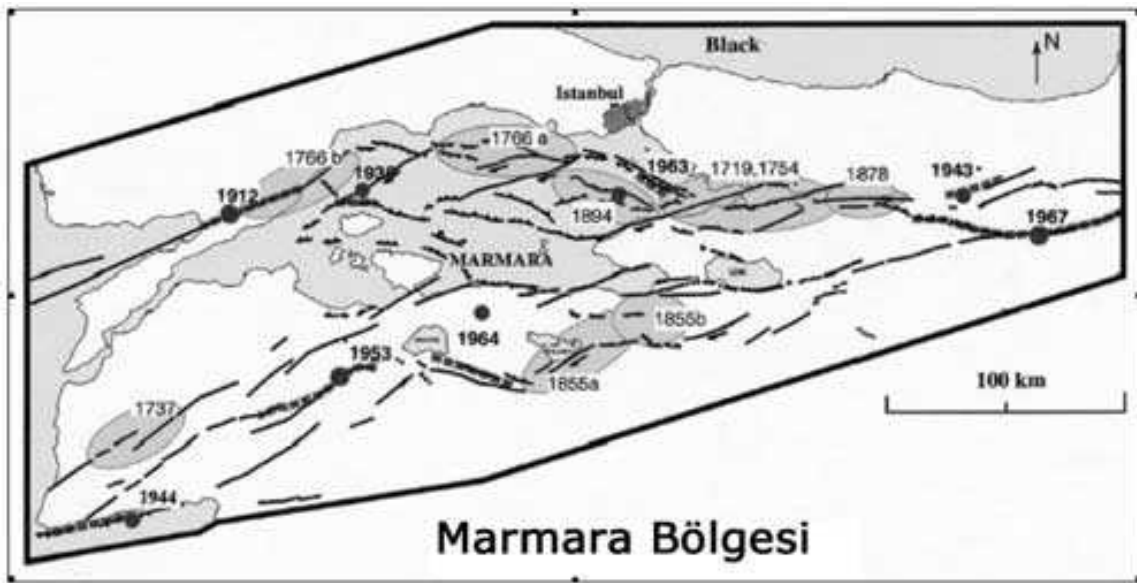


Şekil 2. Marmara Sürekli GPS Gözlem Ağı (MAGNET) (Özkan vd., 2010)

Bu amaçla, Marmara Bölgesi'nde sürekli gözlem yapan bir GPS gözlem ağı kurulmuştur. Bu GPS ağında 13 adet GPS gözlem istasyonu çalışmaktadır. Aynı zamanda, sismik risk taşıyan bölgelerin daha detaylı incelenmesi için, tamamlayıcı çalışmalar olan kampanyalar düzenlenmiştir.

Son yıkıcı depremlerin (İzmit ve Düzce-1999) neden olduğu can ve mal kaybının büyük boyutu, bu bölgelerde olması olası bir depreme hazırlık için; bir an önce, sürekli olarak Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) gibi yeni teknolojiler ile gözlemler yapılmasını; elde edilen bilgilerin ışığında, riski yüksek yerlerin detaylı olarak saptanarak, kayıpların azaltılması için bilimsel sonuçların ışığında, gerekli önlemlerin alınmasını gerektirmektedir.

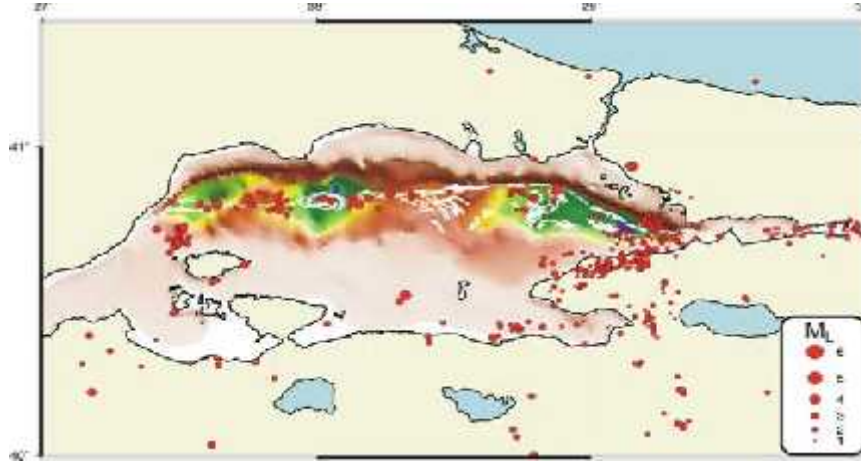
jeofizik ölçümler yapmış, numuneler alınmış ve özellikle aktif fay bölgelerinde denizaltı video çekimleri yapılmıştır. Bu çalışmalar sırasında yüksek çözünürlüklü multibim batimetri, sismik, gravimetre ve uzaktan kumandalı kamera gibi ileri teknoloji ürünü olan alet ve cihazlar kullanılmıştır. Sonuçta, Marmara Denizi altındaki fay, kıvrım, göçük gibi yapılar net bir şekilde belirlenip ve haritalanmıştır. Bu araştırmalara ilaveten 20 Ağustos 2001 tarihinde Marmara Denizi'ne Marion Dufresne adlı bir Fransız gemisi daha gelerek ve Marmara Denizi çukurluklarından karot numunesi almıştır. Nadir Gemisi ise halen Marmara'da derin sismik çalışmalarını sürdürmektedir. Bu çalışmalar sayesinde deniz tabanından itibaren 10 km derinliğe kadar olan kabuk yapısı ayrıntıları ile incelenmiştir. Böylece fayların derinliklerdeki durumu hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Bilindiği gibi, Marmara Bölgesinde depremler genellikle 15-20 km derinliktedir.



Şekil 4. Marmara Denizi çevresinde Kuzey Anadolu Fayı'nın başlıca aktif kolları ve gerçekleşmiş tarihi depremler (McClusky vd., 2000)

Nadir Gemisinin çalışmalarını kolaylaştırmak ve tüm Marmara Bölgesi'nde ayrıntılı veri toplamak amacıyla 1-10 Ağustos 2001 tarihleri arasında Marmara Denizi tabanına 37 OBS (Ocean Bottom Seismographs) yerleştirilmiştir. Bu çalışma MTA Sismik tarafından Japon bilim adamlarının yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Şu an Marmara Denizinde toplam 47 adet OBS vardır. Deniz sismiği çalışmaları; ana fay hatlarını ve jeolojik yapı ortaya çıkarmak amacıyla, sismik veri işlem, modelleme, yorumlama çalışmalarını kapsamaktadır.

Deniz tabanının haritalanması ve sınıflandırılması çalışmaları jeolojik uygulamalar için olduğu kadar askeri ve sivil uygulamalar için yürütülmektedir. Deniz tabanı haritalaması aktif fayların tanımlanmasında ve tespitinde de kullanılmaktadır. Deniz tabanının sediman yapısına bağlı olarak akustik dalgaların etkilenme oranları değişmektedir. Bu nedenle deniz tabanı sediman bilgisi jeoloji dışındaki uygulama alanları için büyük önem taşıyabilmektedir.



Şekil 5. Marmara Denizi'nin aktif faylanma ve bölgesel depremselliğinin batimetri ile gösterimi [URL 5]

Akustik ölçüm teknikleri, 2 ve 3 boyutta elastik ve akustik dalgaların yayılımı ve ölçüm tekniklerinin iyileştirilmesi çalışmalarını kapsamaktadır. Bu dalgaların deniz altında yayılımlarının çalışılması, deniz içinde hareketli unsurların tespitini mümkün kılmaktadır.

6. Deniz Tabanı Sismometresi (Obs)

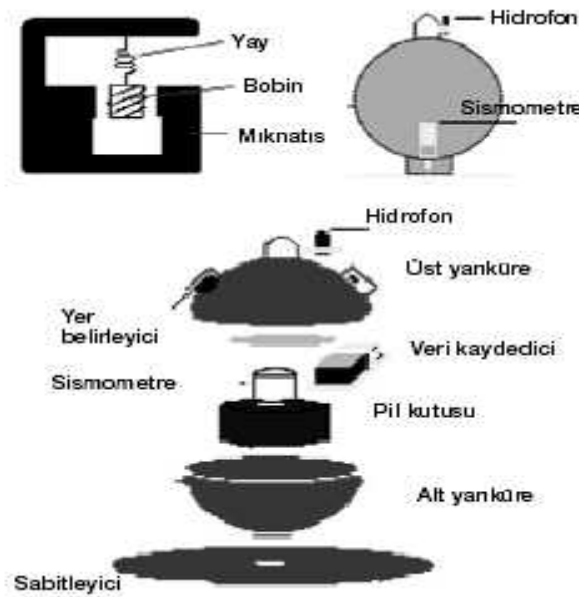
17 Ağustos ve 12 Kasım depremlerinin ardından, özellikle Marmara bölgesinin depremselliğine ve fay geometrisine ilişkin ulusal ve uluslararası bilimsel projeler büyük bir hızla sürmektedir. Bunlardan biri, Okyanus Tabanı Sismometresi Projesi (Ocean Bottom Seismometer-OBS Project), TÜBİTAK ve NATO işbirliğiyle gerçekleştirilmektedir. Proje, Prof. Dr. Junzo Kasahara (University of Tokyo), Prof. Dr. Xavier Le Pichon (College de France) ve Prof. Dr. Naci Görür (İTÜ, TÜBİTAK) tarafından yürütülüyor. Bu projenin ilk uygulamalardan biri ise Marmara Denizi'nde yaşama geçirildi. Tokyo Üniversitesi'nden iki aylığına ödünç alınan 10 OBS Marmara Denizi'nde Çınarcık havzasına yaklaşık 10-13 km arayla yerleştirildi. Yürütücülüğünü Prof. Dr. Junzo Kasahara (University of Tokyo) ve Prof. Dr. Tuncay Taymaz (İTÜ Jeofizik Müh. Böl.) üstlenmektedir. Orta ve batı Marmara çukurluklarına da yerleştirilmesi planlanan OBS'lar burada veri toplanmaktadır. Çalışmanın denizde yürütülen bölümüne katkı sağlamak amacıyla Marmara Denizi sahili boyunca toplam 14 adet sismometre de karaya kurulmuştur [URL 5].

Deniz tabanında, Kuzey Anadolu Fayı'nın kollarına yakın, standart, yüksek duyarlıklı ve eşit aralıklı sistemler kurularak, çok küçük depremleri, fayın davranışını ve bir dizi jeofiziksel parametreleri tanımlamayı amaçlayan bu çalışmanın bir başka önemli yanı sıra, ülkemizde OBS'lerin ilk kez kullanıldığı bir uygulama olmasıdır [URL 5]. Günümüzde, denizlerde yürütülen sismik araştırmaların vazgeçilmez bir ögesi haline gelen bu aygıtlar gelişen teknolojiyle birlikte kendilerini yenilemektedirler.

En basit biçimiyle bir sismometre, yay, elektrik bobininden oluşur. Yay, bir ucuna bobini mıknatısın kutupları arasında asılı tutar. Herhangi bir sarsıntıdan mıknatıs ve yay etkilenir. Buna karşın yayın ucunda, asılı haldeki bobin sabit kalır. Bu göreceli hareket, söz konusu düzenek içinde hareketin hızıyla doğru orantılı olarak bir gerilim (potansiyel farkı) oluşur. Hareketin kaynağı ses dalgalarına gelince, bunların depremlerle yerin derinliklerinde doğal olarak ya da çeşitli araçlar yardımıyla yeryüzünde insan eliyle üretilebilirler. Gelişmiş sismometrelerle alınan kayıtlar hareketin hızı, sarsıntının büyüklüğü ve yerin geometrisi hakkında bilgi verir. Genel olarak yer bilimlerinde kullanılan sismometrelerin farklı amaçlar için geliştirilmiş pek çok türü vardır. Tabanı sismometreleri (OBS) ses dalgaları yardımıyla üretilen yer hareketlerinin deniz, okyanus ya da göl tabanında kaydedilecek biçimde tasarlanmış aygıtlardır [URL 3]. Ses dalgaları genellikle bir geminin arkasına bağlanarak su yüzeyinde sürüklenen bir ses kaynağı yardımıyla üretilir. Su yüzeyinde üretilen bu ses dalgaları

tabandaki OBS'ye ulaşırken farklı yollar izler. Bunlardan biri aradaki su katmanını geçerek doğrudan deniz tabanına ulaşır ve burada tabana paralel bir doğrultu izleyerek OBS'ye ulaşır. Bir başkasıysa su katmanını ve tabanı geçerek yerin derinliklerine doğru ilerler. Bu ilerleme sırasında ses dalgalarının bir bölümü karşılaşılacak farklı yoğunluklara (fiziksel özelliklere) sahip katmanların sınırlarından yansyarak OBS'a ulaşır. Ses dalgalarının hızı yayıldıkları ortamın yoğunluğuyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu dalgaların farklı OBS'lara ulaşma süreleri, büyüklükleri ve aldığı yollar belirlendiğinde, araştırmanın bölgedeki tortul katmanların durumu ve yer kabuğunun yapısı 30-40 km derinliğine kadar göz önüne serilir [URL 3].

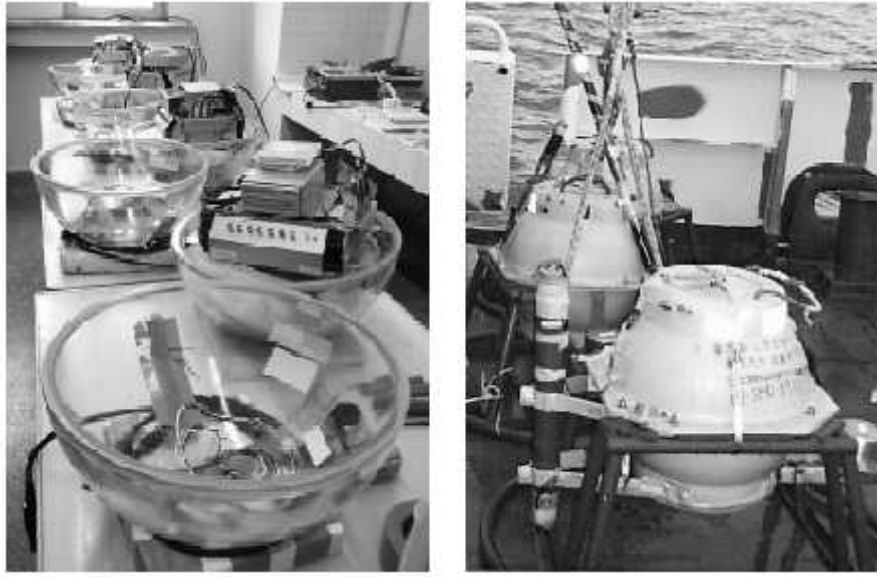
Temel olarak OBS, içinde bir alıcının, elektronik devrelerin, sismometrenin, veri kaydedicinin ve sisteme en az 10 günlük enerji sağlayacak alkalın pillerin bulunduğu iki eş parçadan oluşan alüminyum küredir.



Şekil 6. OBS'nin bölümleri [URL 4]

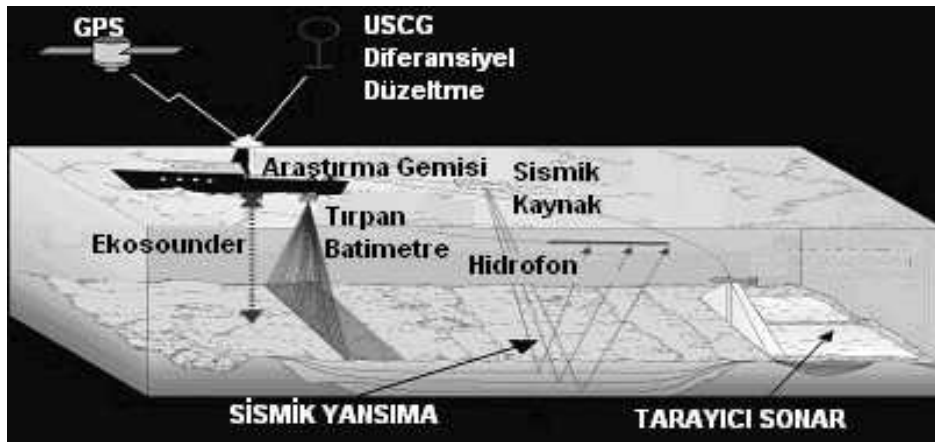
Bu iki yarı küre özel bir kenet sistemiyle birleştirilir. Küre içinde yaratılan vakumla bu parçaların kapanması sağlanır. Düzenek deniz tabanında sabit kalması için 1 metre çaplı bir diske bağlanır. OBS deniz tabanına indirilmeden önce programlanarak çalışma süresi belirlenir. Toplanan veriler 1.3-5.6 Gbyte'lık magneto-optik disklere kaydedilir. Alete yerleştirilen akustik yer belirleyici yardımıyla OBS'nin konumu belirlenir. Gemiden özel bir frekansla gönderilen sinyal tabandaki OBS tarafından alınır ve yine özel frekanslı bir sinyalle yanıtlanır. Bu sinyal alışverişi sırasında geçen zamandan yararlanılarak OBS'nin tabandaki yeri saptanır. Bu mesafenin doğruluğu yardımcı diğer yöntemlerle de onaylandığında OBS artık çalışmaya hazırdır.

Marmara'ya yerleştirilen OBS ünitesiye biraz daha gelişmiş bir teknolojiye sahip. Ünite 16-bit 3-bileşenli (1 düşey, 2 yatay) sayısal 2 Hertz sismometre ve kayıt ünitesinden oluşuyor. Kayıt 3.5 inçlik magneto-optik diskler üzerinde 2.5-4 Gbyte kapasiteyle gerçekleştiriliyor. Sıradan OBS'lerden farklı olarak, bu sistem için 30-40 gün yetecek enerjiyi çok özel tasarlanmış Nikel-kadmiyum piller sağlar. Batimetrik ölçümlerle de deniz dibi topografyasını belirlenebilir. Çok bimli (multibeam) ve tek bimli (single beam) akustik iskandiller ile yapılan bu ölçümler sonucunda derinlikler saptanır.



Şekil 7. OBS (Deniz Tabanı Sismometresi) [URL 4]

Bunun yanında yandan taramalı sonar, sismik cihazlar kullanılarak deniz tabanının morfolojik, jeolojik ve tektonik yapısı belirlenmekte ve dip örnekleri de alınarak deniz dibindeki sedimentlerin fiziksel özellikleri belirlenmektedir.



Şekil 8. Batimetrik ölçüm [URL 4]

Denizden toplanan veriler bilgisayarlara aktarılmakta ve uygun programlar ile yapılan değerlendirmeler sonucunda araştırması yapılan bölgenin üç boyutlu batimetrik haritaları çizilmekte ve sonuçlar yorumlanmaktadır. Böylelikle araştırma bölgesine ait hidrografik ve oşinografik veriler elde edilmiş olmaktadır. Detaylı derinlik verileri kullanılarak AutoCAD Land Development Desktop yazılımı ile Sayısal Arazi Modeli oluşturulmuştur. Daha sonra bu Sayısal Arazi Modeli kullanılarak deniz tabanının eşderinlik eğrileri yaratılmış ve eğrilere yükseklik değerlerinin de yazdırılması ile harita tamamlanmıştır.

8. Kaynaklar

1. Aksoy, A., (1993), “Kuzey Anadolu Fay Kuşağında Yer kabuğu Hareketlerinin Belirlenmesine Yönelik Jeodezik Çalışmalar”, *Prof. Dr. Helmut Wolf Jeodezi Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye.
2. Aktug, B., ve Kilicoglu, A., (2006), “Recent Crustal Deformation of Izmir, Western Anatolia and Surrounding Regions as Deduced from Repeated GPS Measurements and Strain Field”, *Journal of Geodynamics*, 41 (5), 471-484.
3. Ayhan, M.E., Lenk, O., Demir, C., Kılıçoğlu, A., Kahveci, M., Türkezer, A., Ocak, M., Açıkgoz, M., Yıldırım, A., Aktuğ, B., Şengün, Y.S., Kurt, A.İ., Fırat, O., (2001), “Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA-1999)”, Teknik Rapor, Harita Genel Komutanlığı, Jeodezi Dairesi, Ankara.
4. Akyol, N., Zhu, L., Mitchell, B.J., Sozbilir, H., ve Kekovali, K., (2006), “Crustal Structure and Local Seismicity in Western Anatolia”, *Geophys. J. Int.*, 166, 1259–1269.
5. Barka, A., (1996), “Slip Distribution along the North Anatolian Fault Associated with the Large Earthquakes of the Period 1939 to 1967”, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 86, 1238 – 1254.
6. Blewitt, G., (2000), “Geodetic Network Optimization for Geophysical Parameters”, *Geophysical Research Letters*, 27 (22), 3615-3618.
7. Doğan, U., Demirel, H., Aydın, C., Ergintav, S., Çakmak, R., Belge, A., Gerstenecker, C., (2006), “GPS and Gravity Measurements along the Western Part of the North Anatolian Fault and Their Relation to Crustal Deformations”, *Harita Dergisi 18'inci Özel Sayısı*, Proceedings of the 1st International Symposium of the International Gravity Fields Service, "Gravity Field of the Earth", 28 August - 1 September.
8. Hubert-Ferrari, A., Barka, A., Jacques, E., Nalbant, S.S., Meyer, B., Armijo, R., Tapponnier, P., ve King, G.C.P., (2000), “Seismic Hazard in the Marmara Sea Region Following the 17 August 1999 Izmit Earthquake”, *Nature*, 404, 269–273.
9. Kahveci, M., ve Yıldız, F., (2009), “GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri”, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
10. Ketin, I., (1976), “A Comparison Between the San Andreas and the North Anatolian Faults”, *Bull. Geol. Soc. Turkey*, 19/2, pp. 149–154.
11. McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Georgiev, I., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradisis, D., Peter, Y., Prilepi, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksoz, M.N., Veis, G., (2000), “GPS Constraints on Crustal Movements and Deformations in the Eastern Mediterranean (1988-1997): Implications for Plate Dynamics” *JGR*. Vol. 105, No.B3, pp. 5695-5719.
12. Özkan, A., Ergin, T., Raşan, Ç., Ergintav, S., (2010), “MAGNET (Marmara Sürekli GPS Ağı) İstasyonlarının Dönemsel Etkiler Açısından Kampanya GPS Ölçmelerine Katkıları”, *HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi Sayı: 101-12.THBTÖZEL* S.
13. Özmen, B., Nurlu, M., ve Güler, H., (1997), “Investigation of Earthquake Zones with Geographic Information Systems”, The Ministry of Public Works and Settlement General Directorate of Disaster Affairs.
14. Reilinger, R.E., Ergintav, S., Bürgmann R., McClusky S., Lenk O., Barka A., Gürkan O., Hearn L., Feidl K.L., Çakmak R., Aktug B., Ozener H., Toksöz M.N., (2000), “Coseismic and Postseismic Fault Slip for the 17 August 1999, M=7.5, İzmit, Turkey Earthquake”, *Science*, 289, 1519 – 1524.
15. Saroglu, F., Emre, O., ve Kuscu, I., (1992), “Turkish Active Faults Map”, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara.
16. Segall, P., ve Davis, J.L., (1997), “GPS Applications for Geodynamics and Earthquake Studies”, *Annual Review Earth Planet Sci.*, 25, 301-36.
17. Taymaz, T., (2001), “Active Tectonics of the North and Central Aegean Sea”, *Proceeding of Symposia on Seismotectonics of the North-Western Anatolia-Aegean and Recent Turkish Earthquakes*, 8, May, 2001.

9. İnternet Siteleri:

URL 1 : <http://www.angelfire.com/de2/zelzele/marmara010519.htm/>

URL 2 : <http://www.hgk.mil.tr/>

URL 3 : <http://www.mpl.ucsd.edu/obs/>

URL 4 : <http://www.shodb.gov.tr/>

URL 5 : <http://www.ydbae.mam.gov.tr/>