

## San Andreas Fayında Yapılan Jeodezik ve Yer Dinamiği Çalışmaları

Mualla Yalçinkaya, Kamil Teke

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon

**Özet.** Plaka sınırları boyunca oluşan deformasyonlar ve etken faktörler, jeodezik, jeolojik, jeodinamik ölçüler ve hesaplama teknikleri ile belirlenebilir. Fay hatları boyunca oluşan dinamik sürecin tanınması kapsamında incelenecek parametreler fiziksel, kimyasal ve geometrik olmak üzere üç ana çatı altında ele alınabilir. Bu bağlamda Kuzey Anadolu fay zonu boyunca oluşan hareketler ve etken faktörler incelenmek istendiğinde kurulması gereken ölçü sistemleri ve yapılması gereken ölçüler gelecekte ülkemiz için büyük önem taşımaktadır. Amerika'nın Kaliforniya Eyaleti'nde bulunan San Andreas fayının tektonik ve sismik karakteristikleri Kuzey Anadolu fayı ile büyük oranda örtüşmektedir. Bu çalışmada, San Andreas fayının tanınması amacıyla yönelik Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Kurumu (National Aeronautics and Space Administration (NASA)), Kaliforniya Berkeley Üniversitesi (University of California, Berkeley (UCB)), Amerikan Jeolojik Araştırmalar Kurumu (United States of Geological Survey (USGS)) ve Amerika Ulusal Bilim Vakfı (National Science Foundation) tarafından desteklenen University NAVSTAR Consortium (UNAVCO)), Earthscope ve Plate Boundary Observatory (PBO) projeleri kapsamında yapılan çalışmalar ele alınacaktır. San Andreas fayının geçtiği sismik aktif bölgede kurulan GPS istasyonları, mikrodeprem aktivitesinin yeterli duyarlılıkta izlenebildiği yerleşik ve taşınabilir geniş bantlı deprem istasyonları, kısa periyotlu deprem istasyonları, elektromanyetik (magneto-telluric) sistemler, uzun-baz lazer gerilim ölçer istasyonları (long-base laser strainmeter stations), sondaj kuyusu gerilim ölçer (borehole strainmeter) istasyonları, sondaj kuyusu tiltmetre (borehole tiltmeter) istasyonları fayın 3 boyutlu davranışının izlenmesi, faylanma mekanizmalarının (enlem, boylam, derinlik, magnitud, strike, dip, rake) belirlenmesi ve etken fay davranışına etken faktörlerin izlenmesini amaçlamaktadır. Ülkemizde ise, "Türkiye Ulusal Uydu İletişimli Geniş-band Deprem İzleme Ağı Sistemi'nin Geliştirilmesi Projesi (USAG)", "Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Sisteminin Genişletilmesi ve Yoğun Yerel Ağların Kurulması Projesi", "Marmara Bölgesi Sürekli Sismoloji Gözlem Ağı (MARSİS) Projesi" ve "Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması (TÜRDEP) Projesi" gibi büyük öneme sahip projeler ile farklı bölgelerde fay ağları oluşturulmaktadır. Bu bağlamda ileriye dönük Kuzey Anadolu fay zonunu tanımayla yönelik yapılacak çalışmalara ışık tutmak üzere San Andreas fay zonu boyunca kurulan fay ağları bu ağlardaki gözlemlerinde yapılan jeodezik, jeofizik ve jeolojik ölçü sistemlerine ilişkin genel bilgiler verilecektir.

### 1 Giriş

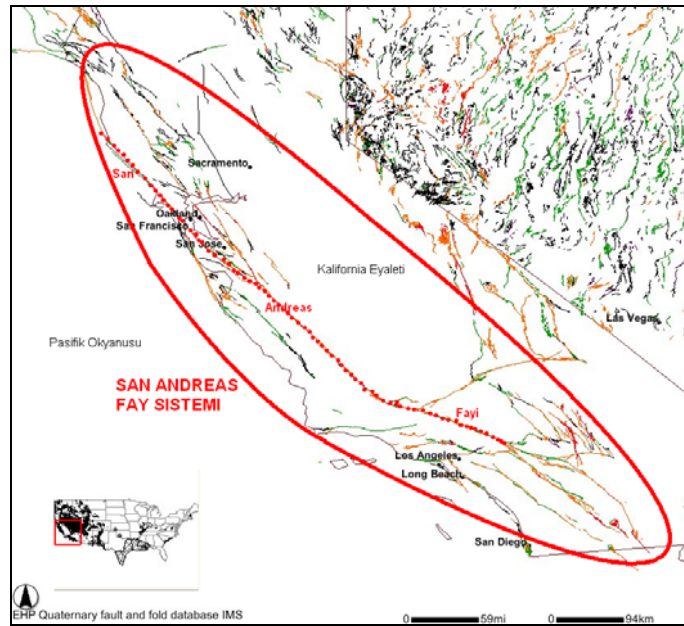
Volkanik patlamaları, dağların yükselmelerini, kıtaların hareketlerini ve depremleri 1960'lı yıllara kadar açıklayan herhangi bir teori ortaya konmamıştır. 1960'lı yılların başında jeologlar plaka tektoniği teorisini geliştirmişlerdir [1], [8], [6]. Bu sayede depremlerin, volkanik patlamaların, dağ oluşumlarının, okyanus tabanı ve kıta hareketlerinin tek anlamlı açıklanması mümkün olmuştur. Plaka tektoniği teorisine göre yerin en dış ve en ince tabakası olan litosfer 7 büyük parçaya ayrılmıştır. Bu 7 parça kabuk kısmında birbiri ile ilişkili 14 parçaya ayrılmaktadır (Şekil 1). Bu parçalara tektonik plaka denilmektedir. Ayrıca bazı kaynaklarda litosferik plaka şeklinde de isimlendirilmektedir. Kıta ve okyanus tabanları tektonik plakaların üst kısımlarını oluşturur. Kabuk (litosfer) okyanus tabanı ile kıtalar için farklı jeolojik yapı içerir. Okyanus altı kabuk kalınlığı 5-10 km dir. Büyük oranda basalt kayalardan oluşmaktadır. Buna karşın kıtasal kabuk kalınlığı 20-70 km dir. Kıtasal kabuğu oluşturan kayaların yoğunluğu okyanus altı kayalara göre daha düşüktür. Tektonik plakalar astenosfer tabakası üzerinde kayarken kıtalar ve okyanuslar da bu plakalar ile

hareket eder. Dünyada gerçekleşen jeolojik aktivitelerin çoğu plaka sınırları boyunca oluşur. Komşu plakalar birbirlerine göre bağlı hareketlerini üç değişik şekilde yaparlar. Bu hareketler sonucu ıraksayan (divergent), yakınsayan (convergent) ve geçiş (transform-transitional) sınırları meydana gelir. Bu sınırlar boyunca depremler, volkanlar, okyanus çukurları, sıra dağlar oluşmaktadır. Tektonik plakaların yatay yer değiştirmeleri yılda 1 ile 16 cm arasında olmaktadır [8], [6], [3].



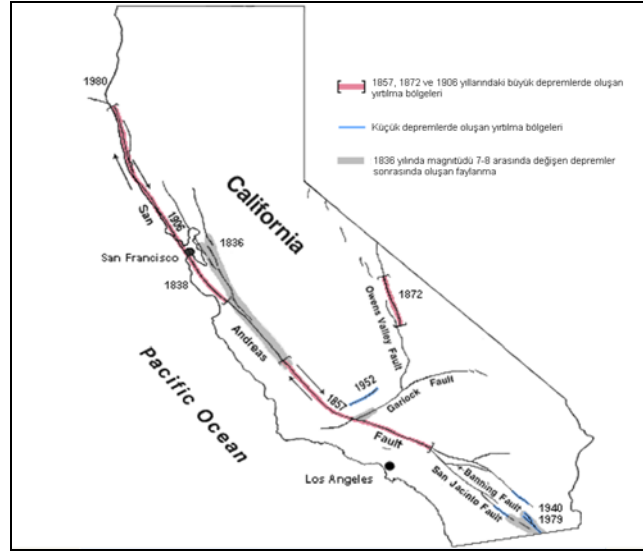
Şekil 1. Dünyadaki global plakalar ve San Andreas Fayı [6]

Şekil 1’de, plakaların hareketleri, aktif volkanlar ve plaka sınırları boyunca oluşan büyük depremler görülmektedir [8], [9]. Bu plakalardan Kuzey Amerika plakası ile Pasifik plakasının batı Kaliforniya’daki kesişimi San Andreas Fay zonunu oluşturur. San Andreas Fayı, Kuzey Amerika kıtasının Pasifik okyanusu kıyısına paralel olarak uzanan sağ yönlü doğrultu-atımlı bir fay zonudur. San Andreas Fay Sisteminin batısındaki Pasifik plakası doğusundaki Kuzey Amerika plakasına göre kuzey batı yönünde hareket eder. San Andreas Fayının adı San Francisco yarımadası fay zonunda yer alan San Andreas fay gölüne atfen verilmiştir San Andreas fayı esasen Kaliforniya kıyısı boyunca uzanan bir çok karışık ve girift fay sisteminin en büyük (master) fayıdır (Şekil 2).



Şekil 2. San Andreas Fay Sistemi [URL 7]

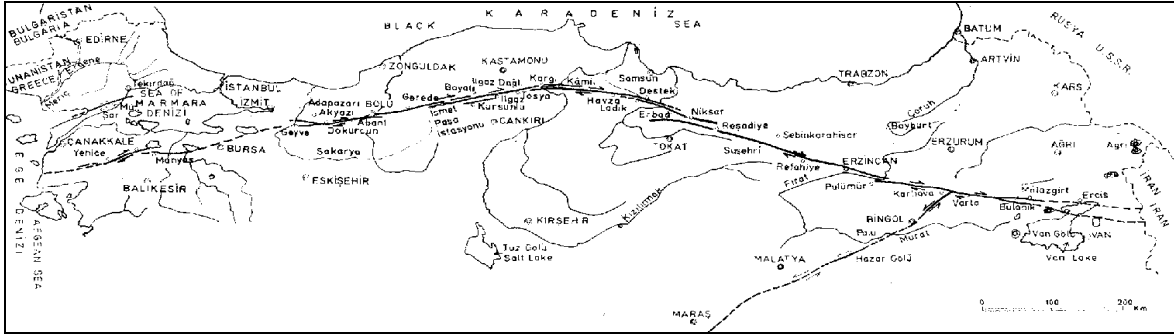
San Andreas Fayı boyunca olan en uzun faylanma bazı araştırmacılara göre [5], [14] 300 kilometre kadardır. Fay zonu boyunca yer yer ötelenmiş dere yatakları, kesilmiş taraçalar, moloz tepeleri, sırtlar ve grabenler, gölcükler, kayaç dilimleri, kayma yüzeyleri, kaynaklar ve traverten oluşumları görülür. San Andreas fayı Üst Miyosen'den (12 milyon yıldan) daha yaşlı değildir ve Üst Oligosen'den (28 milyon yıldan) daha eski olmadığı kesindir. Sağ yönlü kayma hareketi 12 milyon yıl önce, Miyosen sonlarına doğru başlamıştır. San Andreas Fayının dünyaca tanınması ise 18 Nisan 1906 yılında gerçekleşen depremden sonra olmuştur [11]. Bu tarihten itibaren San Andreas Fayı bir çok jeolog ve jeofizikçi tarafından incelenmektedir. Fayda en fazla atım 1906 yılındaki depreme 300 km. boyunca olmuştur ve en fazla sağ yönlü yer değiştirme 6.5 metre olarak belirlenmiştir. Amerika tarihinde en büyük deprem ise Owens Vadisi fayında magnitudü 8 den büyük olan 1872 depremidir. Bu depreme Owens Vadisinde düşey atımı 6 metre ve yatay atımı 3-5 metre olan bir normal fay oluşmuştur. 1857 yılında Güney Kaliforniyanın orta kesiminde magnitudü 8 olan depreme fayın kestiği bir çok dere yatağında 10-11 metrelik sağ yönlü yer değiştirmeler görülmüştür (Şekil 3).



Şekil 3. Kaliforniya'daki büyük depremlerde oluşan fay kırıkları [URL 7]

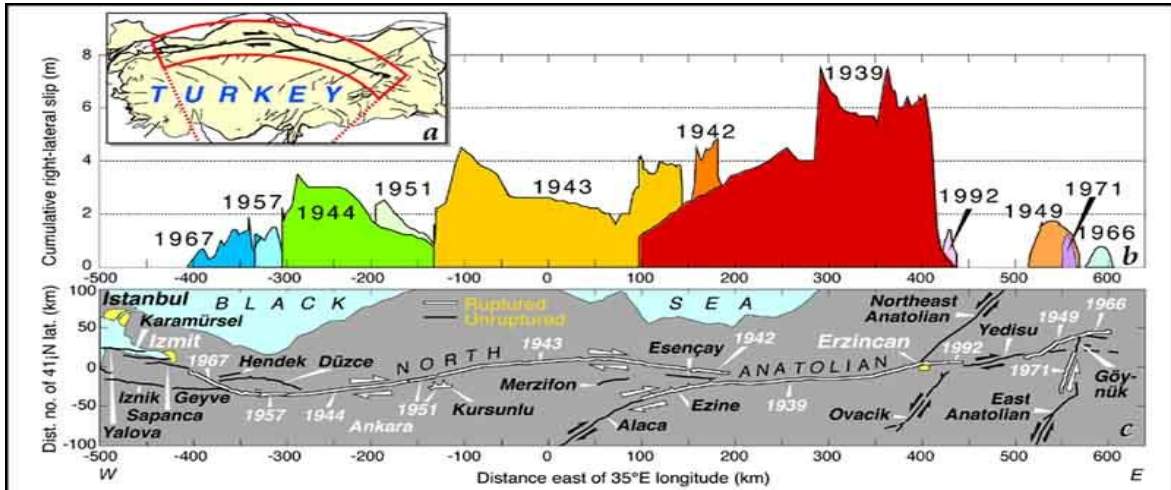
Aynı zamanda bölgede 1857 de olduğu gibi yeryüzünde 10 metrelik bir yerdeğıştirmenin oluşabileceği magnitudü 8 in üzerinde büyük bir depremin tekrar görülebilmesi için bölgede uzun süreli elastik gerilme hızının 2 cm/yıl olduğu takdirde 500 yılın geçmiş olması gerekmektedir [15], [10], [URL 5].

San Andreas fayı ile aynı tektonik ve sismik özellikleri taşıyan aktif bir fay olan Kuzey Anadolu fay davranışlarının bütüncül bir yaklaşım ile ele alınması durumunda gelecekte olası depremlerin kestirimi böylece oluşacak can ve mal kaybının önüne geçilmesi olasıdır. Kuzey Anadolu fayı Karadeniz levhası ile Anadolu levhasını birbirinden ayıran doğrultu-atımlı sağ yönlü transform (dönüşüm) faydır. Karadenize paralel olarak Anadolu'yu doğu-batı yönünde boydan boya kesen bu fayın batıda Sakarya nehri ile doğuda Van gölü arasında kalan ve yeryüzünde kesintisiz olarak gözlenebilen uzunluğu yaklaşık 1100 kilometredir (Şekil 4).



Şekil 4. Kuzey Anadolu Fayı [10]

Kuzey Anadolu Fayında 27 Aralık 1939 yılında oluşan ve magnitudü 8 olan Erzincan depreminden 1967 yılına kadar oluşan depremlerde ölçülen fay parçalarının boyları 40 km ile 340 km arasındadır. Bu depremlerde oluşan yatay yer değiştirme büyüklükleri 1,5 ile 7,8 metre, düşey yer değiştirme büyüklükleri 0,40 ile 2 metre arasında olmuştur (Şekil 5). Bu fay zonu kenarında ve içerisinde çok sayıda ötelenmiş dere yataklarına, ezik kayalardan oluşmuş tepeliklere ve sırtlara, graben biçiminde çukurlara, gölcüklere, sıcak su kaynaklarına, travertenlere ve küçük boyda çok genç volkan konilerine (Erzincan ovasında ve Kelkit vadisinde) rastlanır [3], [10].



Şekil 5. Kuzey Anadolu Fayı, bu fayda oluşan depremler, fay yırtılmalarının uzunlukları ve sağ yönlü yer değiştirme (atım) büyüklükleri [URL 8]

## 2 Kaliforniya Eyaletinin ve Türkiye’de Fay Ağları Oluşturma ve Fay Sistemlerini Tanımaya Yönelik Yapılan Bazı Önemli Çalışmalar

### 3 Kaliforniya eyaletinde fay ağları oluşturma ve fay sistemini tanımaya yö-

nelik çalışmalar

Kaliforniya eyaleti San Andreas Fayında yapılan yer dinamiği çalışmaları, Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Kurumu (National Aeronautics and Space Administration (NASA)), Kaliforniya Berkeley Üniversitesi, (University of California, Berkeley (UCB)), Amerikan Jeolojik Araştırmalar Kurumu (United States of Geological Survey (USGS)) ve Amerika Ulusal Bilim Vakfı (National Science Foundation) tarafından desteklenen University NAVSTAR Consortium (UNAVCO), Earthscope, Plate Boundary Observatory (PBO), gibi ortak projeler ile gerçekleştirilmektedir.

Kuzey Kaliforniya Deprem Veri Merkezi (Northern California Earthquake Data Center (NCEDC)) oluşturulması ve işletilmesi projesi Kaliforniya Üniversitesi Berkeley Sismik Laboratuvarı (University of California Berkeley Seismological Laboratory (BSL)) ve Amerikan Jeolojik Araştırmalar Kurumu (United States Geological Survey (USGS)) ortak projesidir [URL 3], [URL 9]. Kuzey Kaliforniya Deprem Veri Merkezi (NCEDC) kuzey ve merkez Kaliforniya’da jeodezik ve jeodinamik verilerin elde edilmesi, arşivlenmesi ve dağıtımını hizmetini verir. Bu merkezde toplanan verilerin üretildiği fay ağları aşağıda sıralanmıştır:

- Kuzey Kaliforniya Sismik Ağı (Northern California Seismic Network (NCSN))
- Berkeley Dijital Sismik Ağı (Berkeley Digital Seismic Network (BDSN))
- Kuzey Hayward Fay Ağı (Northern Hayward Fault Network (HFN))
- Parkfield Yüksek Çözünürlüklü Sismik Ağı (Parkfield High Resolution Seismic Network (HRSN))
- Mini-Plaka Sınır Gözlemleri (Mini – Plate Boundary Observatories (MPBO))
- Elektro-Manyetik Gözlemleri (Elektro – Magnetic Observatories)
- Earthscope Plaka Sınır Gözlemleri (Earthscope Plate Boundary Observatory (PBO))
- Earthscope San Andreas Fayı Derin Ölçüm Gözlemevi (Earthscope San Andreas Fault at Depth (SAFOD))
- USGS Fay İzleme Ağı (USGS Fault Monitoring Network)
- Koy Alanı Bölgesel Deformasyon Ağı (Bay Area Regional Deformation Network (BARD))

### 3.1 Fay Ağları Gözlemlerindeki Ölçü Araçları

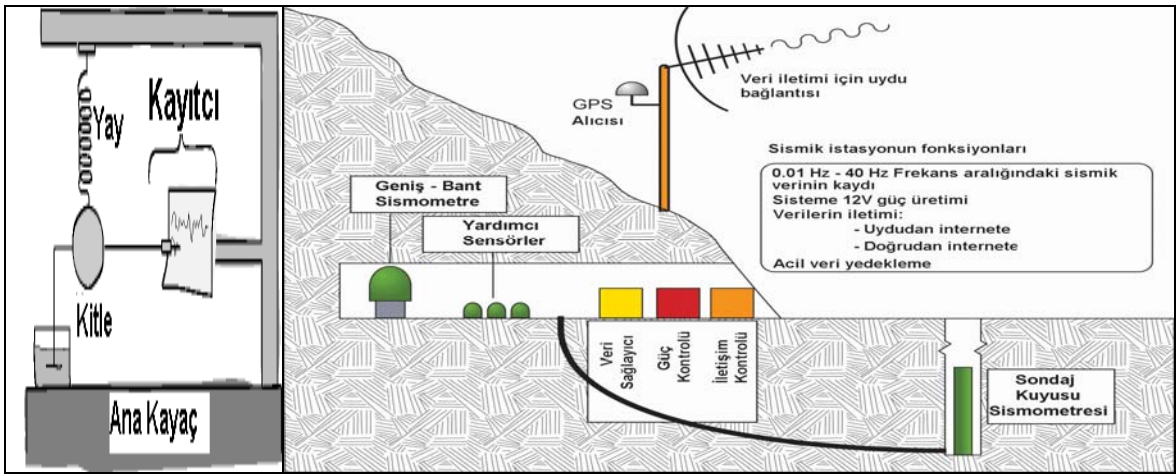
Kuzey Amerika ve Pasifik plakalarının Kaliforniya Eyaletindeki sınır zonunu oluşturan San Andreas Fay Sistemindeki fayların davranışlarını modellemek, olası depremleri önceden kestirebilmek ve zararlarını minimuma indirgeyebilmek için kurulan fay ağları, jeodezik, jeofizik ve jeolojik ölçü araçlarını kullanmaktadır. Bu ölçü araçları aşağıda sunulmuştur:

- 3-bileşenli genişbant sismometre (3-component broadband seismometer),
- 3-bileşenli kısa-periyot sismometre (3-component short-period seismometer),
- 3-bileşenli kuvvetli yer hareketi sismometresi (3-component strong-motion seismometer)
- 3-bileşenli kuvvetli-hareket ivme ölçer (3-component strong-motion accelerometer),
- Sondaj kuyusu gerilim ölçer (Borehole strainmeter),
- Sürekli küresel konumlama sistemi alıcısı (Continuous GPS receiver)
- Gravimetre (Gravimeter)
- Manyetik alan sensörü (Manyetometre) (Magnetic field sensor (Magnetometer))
- Elektrik alan sensörü (Electric field sensor)
- Tiltmetre (Tiltmeter)
- Atmosferik basınç sensörü (Pressure sensor)
- Gözenek basınç sensörü (Pore pressure sensor)
- Sıcaklık sensörü (Temperature sensor)
- Isı akışı (Heat flow)
- Radon gazı ölçümü
- Interferometrik Yapay Açıklı Radar (Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR))

Yukarıda adı geçen ölçü araçlarının çalışma prensiplerine ilişkin kısa bilgiler aşağıda sunulmuştur:

*Sismograf*, sismometre, sinyal koşullandırma birimi ve kayıt sisteminden oluşur. *Sismometre*, yer hareketlerini algılamak amacıyla, bir yay ile havada asılı duran ağır bir kütle, bu kütlede etrafında

bulunan bir kutudan oluşmaktadır. Kutu, deprem sonucunda oluşan yeryüzü sarsıntularına göre hareket eder. Kütleyle bu hareketten hemen hemen hiç etkilenmez. Kutunun kütleyle göre yaptığı hareketler, bir sensörle algılanıp elektriksel sinyale dönüştürülür. *Sinyal koşullandırma birimi*, sismometreden alınan elektrik sinyallerinin amplifikatörler yardımıyla kuvvetlendirildiği aygıttır. *Kayıt sisteminde* ise kağıt, film veya manyetik bantlara sinyal koşullandırma biriminden gelen kuvvetlendirilmiş sinyaller kaydedilir. 3-bileşenli sismometrelerde 2 yatay (Kuzey-Güney ve Doğu-Batı) ve 1 düşey yönde oluşan titreşimleri algılayan 3 ayrı sensör vardır. Sismometrelerin kısa, uzun veya geniş bant olmaları kayıt frekanslarına bağlıdır. Kısa-periyot sismometreler 0,1-1 saniye periyot aralıklı, uzun bant sismometreler 10 s'den daha büyük periyot aralıklı, genişbant sismometreler ise en az 20s periyotundan, 300s periyoda kadar sismik dalgaları duyarlı olarak algılayabilirler. Bu özellikleri mikrodeprem aktivitesinin yeterli duyarlılıkta izlenebilmesini sağlar (Şekil 6) [2].

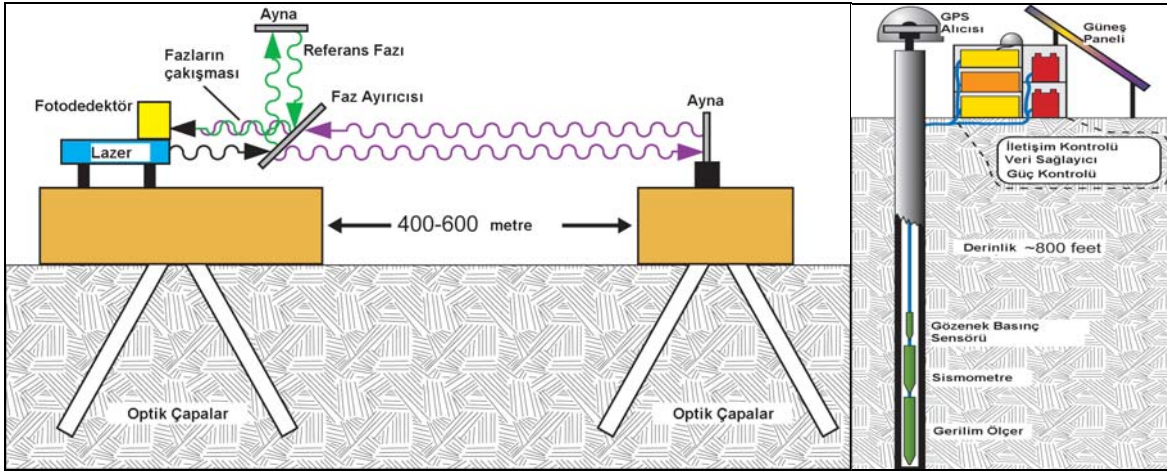


Şekil 6. Sismometre ve Geniş band sismometre istasyonu şematik görüntüsü

**İvme Ölçer (accelerometer):** Deprem anında yer hareketinin ivmesini kaydeden cihazlardır. Ayrıca kuvvetli yer hareketi sismometresi olarak da adlandırılırlar. Aletin ölçtüğü değer birimi  $\text{cm/sn}^2$  (gal) dir. Yerçekimi ivmesinin ( $g=981 \text{ cm/sn}^2$ ) kesri olarak kayıt alırlar [URL 6].

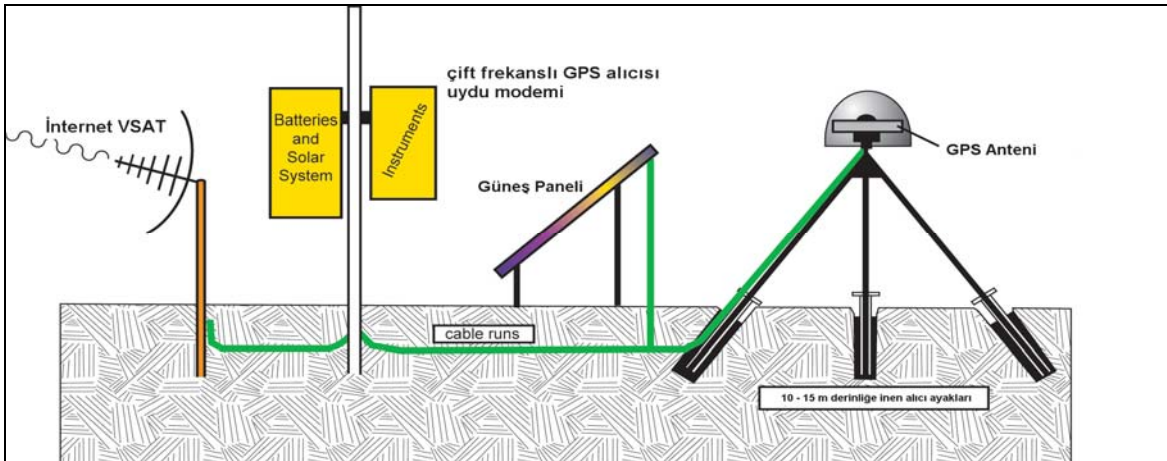
**Gerilim ölçer (Strainmeter):** Gerilim ölçerler bir uzunluğun bağıl değişimi ölçerler. Gerilim ölçerler sondaj kuyusu, yeryüzü ve uzun-baz lazer olmak üzere üç gruptur. *Sondaj kuyusu gerilim ölçerleri* ortamdaki kaynaklanabilecek gürültülerden etkilenmemesi için yer yüzeyinin birkaç yüz metre altına yerleştirilir. *Uzun-baz lazer gerilim ölçerler* yeryüzünde birbirinden birkaç yüz metre uzaklıktaki iki noktanın arasındaki bazın uzunluğundaki değişimi ölçer. Gerilim ölçerlerin prezisyonları 0,02 nanogerilime (nanostrain) ulaşmaktadır. Diğer bir ifade ile 1000 km uzunlukta oluşan 0,02 mm boyutundaki bir değişimi ölçebilirler (Şekil 7) [URL 6].





Şekil 7. Uzun-baz lazer gerilim ölçer ve sondaj kuyusu şematik görüntüsü

Küresel konumlama sistemi (GPS), yeterli duyarlıkta tanımlanmış global bir koordinat sisteminde (WGS 84, ITRF 2000, ITRF 2005), fay zonuna yeterli sıklıkta dağılmış ve ana kayaç üzerine inşa edilmiş jeodezik noktaların 3 boyutlu kartezyen koordinatlarının milimetre duyarlıkta konumlarının belirlenebildiği yapay uydu tabanlı küresel konumlama sistemidir. Sürekli veri alan GPS alıcıları ile noktanın konumunda olan değişimler farklı zaman ölçekleri için analiz edilerek fay davranışlarının geometrik bileşeni olan farklı zaman ölçeklerindeki nokta hızları ve ivmeleri belirlenebilmektedir (Şekil 8). Jeodezinin fay davranışlarının ortaya çıkarılmasındaki önemi bu anlamda çok büyüktür. Ayrıca jeodinamik olayların (kutup gezinmesi (polar motion), yerin dönme hızı parametreleri) belirlenmesinde, fay haritalarının oluşturulması ve güncellenmesinde, yer kürenin gravite alanının belirlenmesinde jeodezik ölçüm ve modellerden faydalanılır [13].



Şekil 8. Sürekli GPS istasyonu şematik görüntüsü

Gravimetre: Gravimetreler yardımı ile araştırılan bölgede yerçekimi ivmesindeki değişimler ölçülür. İvme birimi gal (Galileo) dir. 1 miligal 1/1000 gal'dir. İvme değerlerindeki farklılığın başlıca nedenleri dünyanın dönmesi, bulunulan enlem, yükseklik, topoğrafya ve jeolojik özellikler (eğer bir kaya kütlelerinin yoğunluğu çevreye nazaran büyükse pozitif, küçükse negatif anomalilerin elde edilmesi).

Manyetometre (Magnetometer): Dünya üzerinde herhangi bir noktadaki manyetik alanın şiddetini ölçen alete manyetometre denir. Manyetik alanın ölçü noktasındaki yönü ve şiddeti ile tanımlanan manyetik alan vektörünü ölçer. Bu vektörün bileşenleri manyetik deklinasyon (D), yatay bileşen (H) ve düşey bileşen (Z) dir. Dünya küre şeklinde bir mıknatıs gibidir. Dünya'nın manyetik alanı, Dünya'nın merkezine konmuş çubuk bir mıknatısın (dipol) oluşturduğu manyetik alana benzer. Bu dipolün eksenini, dünyanın dönme eksenine 11 derecelik bir açı yapar. Bu da coğrafik kuzey ve güney kutuplarının, manyetik kuzey ve güney kutuplarından farklı yerlerde olduğunu gösterir. Manyetik alan değişik yerlerde farklı değerlere sahiptir ve bölgesel değişimlerin yanısıra zamana bağlı olarak da değişim gösterir. Bu nedenle bir bölgenin manyetik alanını tanımak için, belli aralıklarda sürekli ölçüm yapmak gerekir [URL 6].

Elektrik alan sensörü: Formasyonların elektrik akımına karşı göstermiş oldukları görünür direnci (rezistivite) ölçme esasına dayanır. Direnci etkileyen faktörler formasyon rezistivitesi, ölçülen birimlerin alt ve üstündeki birimlerin rezistivitesi ve formasyon kalınlığıdır. Yeryüzünde depremlerin önceden kestirilmesine yönelik olarak yapılacak jeofizik ölçümlerden biri de elektrik özdirenç ölçümüdür. Yere akımın verildiği elektrodların geniş olarak arazide yayılımı ile yer içinin derin kesimlerinin araştırılması bu teknikle mümkündür [URL 6].

Tiltmetre (Tiltmeter): Deprem dalgalarının oluşturduğu yeryüzündeki eğim değişimlerini ölçer.

Gözenek basınç sensörü (Pore pressure sensor): Bir zeminde çok sayıda tane bir arada bulunmaktadır ve bunlara yakından bakıldığında, her tanenin çevresindeki diğer tanelerle temas halinde olduğu görülür. Her tanenin kendi üzerindeki diğer tanelerin ağırlığından dolayı taneler arasında temas kuvvetleri oluşur ve bu kuvvetler taneleri bir arada tuttuğu gibi, zeminin bir dayanıma sahip olmasını da sağlar. Taneler arasında boşluklar ise, su ve hava ile doludur. Suyun tanelere yaptığı basınç gözenek suyu basıncı olarak adlandırılır. Deprem sırasında sismik dalgalar, özellikle makaslama dalgaları, suya doygun (su tablası altındaki) gevşek kum zeminler içinde yayılırken birbirine göre ters yönde etkiyen kuvvet çiftleri yaratarak (makaslama kuvvetleri ) zeminin tanelerinde yer değişimlerine neden olur. Bu koşullar altında gevşek konumda kum tanecikleri birbirlerine yakınlaşma eğilimi gösterirler ve bu davranış sırasında tanelerin temas noktalarındaki gerilim, taneleri çevreleyen suya aktarılır. Depremlerin ani ve çok kısa süreli hareketlere neden olması, taneler arasındaki suyun kaçması (drene olması) için gereken yeterli süreye olanak tanınmakta, dolayısıyla ortamdan uzaklaşamayan gözenek suyunun basıncını aniden arttırmaktadır [URL 6].

Isı Akışı (Heat Flow): Yerin merkezinden yeryüzüne doğru gerçekleşen ısı akışındaki değişimlerin ölçülmesidir. İki plakanın birbiri ile sürtünmesinden kaynaklanan termal enerjinin yeryüzüne doğru akımı ısı akışındaki değişimleri meydana getirir. Birim alandan geçen enerjinin miktarını belirlemek amacıyla açılan bir sondaj kuyusuna yerleştirilen homojen kayaktan geçen sıcaklığın bir fonksiyonudur [URL 23].

Radon gazı (Radon gas): Radon (Rn), renksiz, kokusuz, tatsız, radyoaktif bir gazdır. Radon; kaya, toprak ve sudaki doğal Uranyumun (U) radyoaktif bozunması sonucunda oluşur. Kuyu ve kaynak sularındaki radon gazı değişimi depremin bir habercisidir. Şöyleki, bir büyük deprem öncesinde gerek atmosferde, gerek yer kabuğunda meydana gelen ve “deprem öncülleri” olarak adlandırılan anormal ısı artışı, yeraltı suyu seviyesindeki ani değişiklikler, kaynak sularında radon gazı artışı insan duyularının algılayamadığı düşük şiddetli sismik titreşimlerde artış, gerilimlerde ve yerin manyetik alanında değişimler görülmektedir. Toprak radon gazı hareketi ile soğuk/sıcak su kaynaklarının fiziksel ve kimyasal parametrelerinin sismoloji ve GPS verileri yardımıyla izlenmesi ve bu parametrelerdeki anomalilerin belirlenmesi depremlerin önceden kestirilmesine yönelik çalışmalara ışık tutar [7].

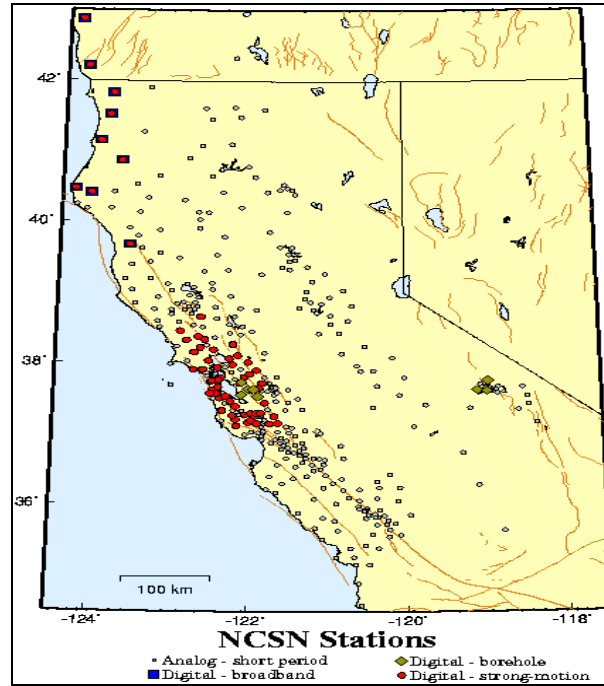


***Interferometrik Yapay Açıklı Radar (Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)):*** InSAR tekniğinde aynı bölgenin iki Yapay Açıklıklı Radar (SAR) görüntüsü birleştirilir. SAR görüntüsü görüntüleme alanında hedeflerden yansıyan genlik ve fazların kayıdır. Genlik hedefin yansıma özelliklerini ifade ederken faz hedefe olan mesafenin bir fonksiyonudur. InSAR tekniği, aynı bölgenin farklı zamanlarda hava veya uzay tabanlı bir platformdan elde edilen SAR görüntüsünün birbirine karşılık gelen piksellerin fazlarının farkını belirler. 20 veya 80 metre boyutlu her bir pixelin fazlarının farklarından elde edilen 20x20 veya 80x80 metrelik bolkların milimetre duyarlıklı deformasyonlarının belirlenebildiği InSAR sistemi fay zonu boyunca oluşan yüzeysel deformasyonun belirlenebilmesine olanak sağlar [4], [12].

### 3.2 Kaliforniya Eyaletinde Yapılan Çalışmalar

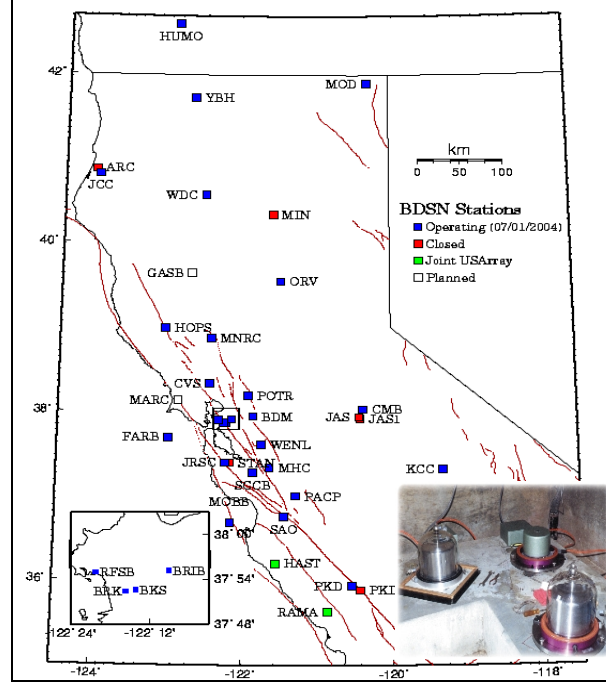
Kaliforniya’da bugüne değin fay sistemlerini tanımaya yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde önemli bulduğumuz çalışmalardan bahsedilerek, San Andreas Fay Sistemindeki ağların kuruluş amaçları, gözlemlerinin dağılımları ve bu gözlemlerinde ne tür ölçü araçları kullanıldığına ilişkin kısa özet bilgiler verilmeye çalışılmıştır.

***Kuzey Kaliforniya Sismik Ağı (Northern California Seismic Network (NCSN)):*** 1967 tarihinden buyana USGS bilimsel araştırma ve tehlike azaltıcı çalışmalara yönelik yerdinamiği verisi sağlamak amacıyla Kuzey Kaliforniya Sismik Ağını (North California Seismic Network (NCSN)) işletmekte ve geliştirmektedir. Kuzey Kaliforniya Sismik Ağ konfigürasyonu sığ odaksal derinlikli (0-15) kabuksal depremlerin belirlenebileceği yeterli sıklıkta istasyondan oluşturulmuştur. Kuzey Kaliforniya Sismik Ağı farklı amaçlı 412 istasyondan oluşmaktadır. Bu istasyonların dörtte biri dijital geri kalanı analog istasyonlardır [URL 2], [URL 3]. Kısa periyot-analog, genişbant-dijital, sondaj kuyusu-dijital, kuvvetli yer hareketi-dijital istasyonlarının oluşturduğu Kuzey Kaliforniya Sismik Ağı’nın dağılımı Şekil 9’da görülmektedir.



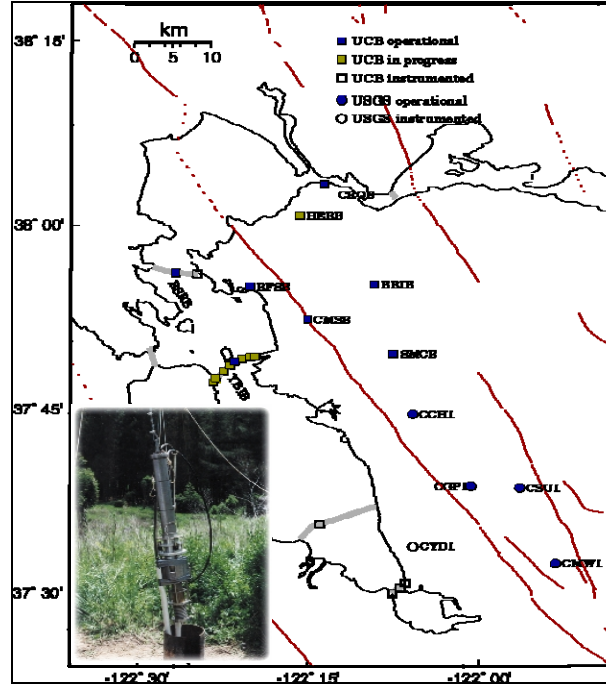
Şekil 9. Kuzey Kaliforniya Sismik Ağı [URL 4]

**Berkeley Dijital Sismik Ağı (Berkeley Digital Seismic Network (BDSN)):** Berkeley Dijital Sismik Ağı, Berkeley Sismik Laboratuvarı tarafından kuzey ve merkez Kaliforniya’da işletilmekte olan 7 sismik ağdan biridir. Berkeley Dijital Sismik Ağındaki (BDSN) 25 istasyon genişbant sismometre, kuvvetli-hareket ivme ölçeri ve 24-bit dijital veri kayıt sistemi olmak üzere 3 temel aygıtla donatılmıştır. Tüm istasyonlardan alınan veriler dijital telemetri bağlantısı ile University of California, Berkeley (UC Berkeley) veri merkezine aktarılmaktadır. Şekil 10’de Berkeley Dijital Sismik Ağındaki genişbant sismik istasyonlarından işletilmekte olanlar, işletimi sonlandırılmış olanlar ve planlanan istasyonların kuzey Kaliforniya’ya dağılımları görülmektedir [URL 20].



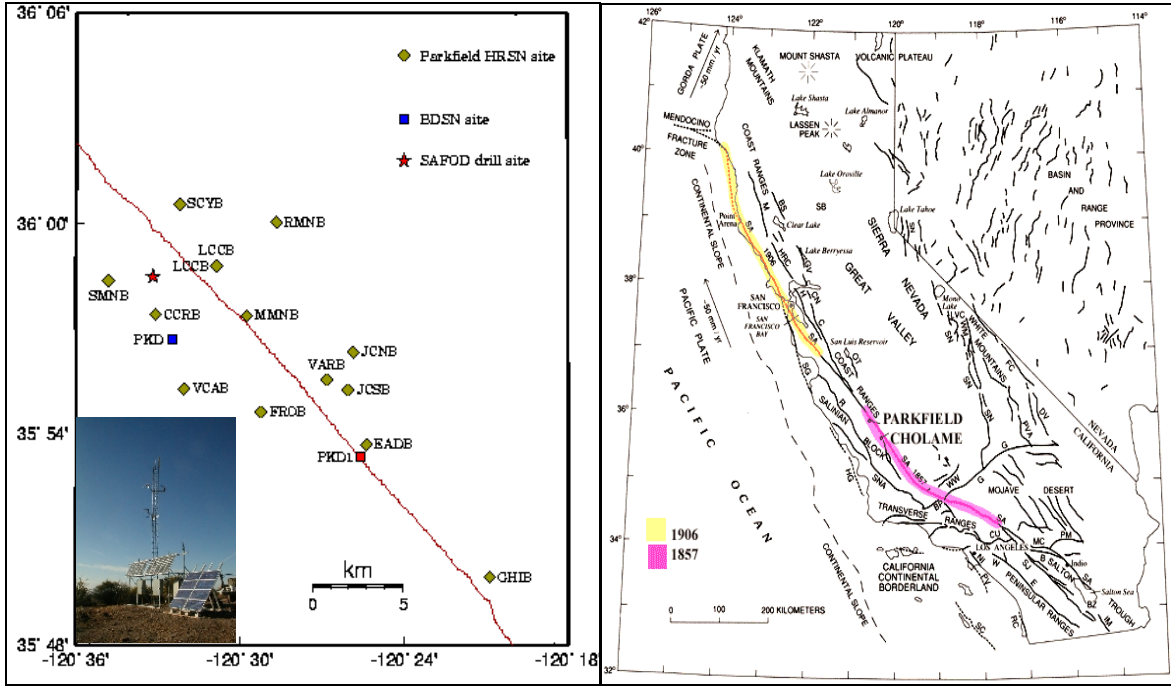
Şekil 10. Berkeley Dijital Sismik Ağı (Berkeley Digital Seismic Network (BDSN)) [URL 21]

**Kuzey Hayward Fay Ağı (Northern Hayward Fault Network (HFN)):** Hayward Fay Ağı, Hayward fayı boyunca tesis edilmiş sondaj kuyularından oluşmaktadır (Şekil 11). Yapılan bir anlaşma gereği Fayın kuzey bölümündeki tesisler UC Berkeley, güney bölümündeki tesisler ise USGS tarafından işletilmektedir. Her sondaj kuyusunda sismik hareketliliğin belirlenmesi amaçlı düşük frekanslı ivmeölçer ve geophone denilen titreşim sensörü ve 24-bit dijital veri kayıt cihazı bulunmaktadır [URL 18].



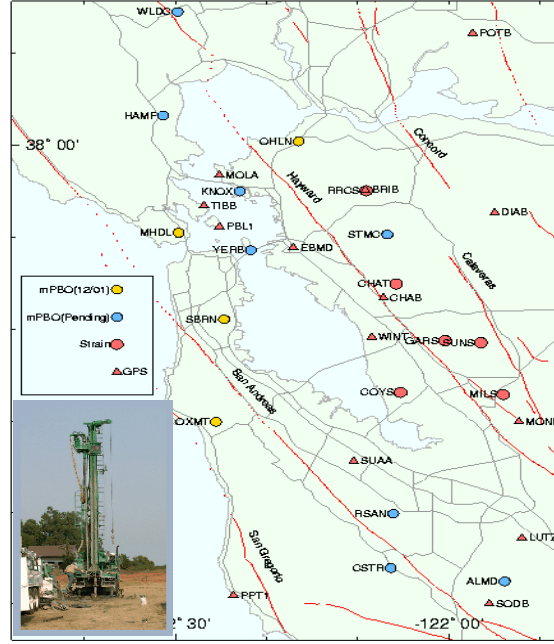
Şekil 11. Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley (UC Berkeley) ve Amerikan Jeolojik Araştırmalar Kurumu (USGS) tarafından işletilen Kuzey Hayward Fay Ağı gözlemlerinin, Hayward Fayı boyunca dağılımı [URL 19].

**Parkfield Yüksek Çözünürlüklü Sismik Ağı (Parkfield High Resolution Seismic Network (HRSN))**: Yüksek Çözünürlüklü Sismik Ağ (High Resolution Seismic Network (HRSN)) Parkfield bölgesine, San Andreas Fayındaki mikrosismisiteyi izlemek için kurulmuş bir ağıdır. Bu ağ ilk olarak 1986 yılında 10 sondaj kuyusu ile işletilmeye başlatılmıştır. Bu ağdan deprem kayıtlarının duyarlı olarak izlenebildiği görülerek 1987 yılında ağ günlük lokal mikro depremleri izleyebilecek şekilde geliştirilmiştir. Şu an 14 istasyon ile hizmet vermektedir (Şekil 12) [URL 16].



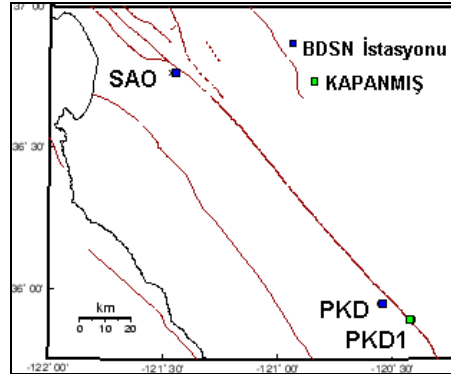
Şekil 12. Berkeley Dijital Sismik Ağı (BDSN), Parkfield Yüksek Çözünürlüklü Sismik Ağı (HRSN) ve San Andreas Fayı Derin Ölçüm Gözlemevi (San Andreas Fault Observatory at Depth (SAFOD)) istasyonlarının San Andreas Fayı Parkfield bölgesine dağılımı [URL 17].

**Mini-Plaka Sınır Gözlemevleri (Mini – Plate Boundary Observatories (MPBO)):** “Mini-PBO” olarak adlandırılan Plaka Sınırı Deformasyonlarının belirlenmesi projesi 3 aşamaya ayrılmıştır. Birinci aşama San Francisco koy alanında Hayward ve San Andreas Fay zonlarına dağılmış 8 istasyonlu ağıdır. Bu ağıdaki her istasyona 3-bileşenli gerilimölçer, 3-bileşenli sismometre, jeodezik GPS alıcısı, ısı akışı (heat flow), gözenek basıncı (pore pressure) ve eğim (tilt) sensörü yerleştirilmiştir. İkinci aşama ise San Francisco Koy Alanı Bölgesel Deformasyon Ağı (Bay Area Regional Deformation Network (BARD)) ile ilişkilendirilmiş merkez Kaliforniyadaki Parkfield alanına tesis edilmiş 9 sürekli GPS istasyonudur (continuous GPS station). Üçüncü aşama ise Interferometrik Yapay Açıklıklı Radar (Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)) görüntülerinden bölgede oluşan yüzeysel deformasyonun belirlenmesidir [URL 14]. Mini-Plaka Sınır Gözlemevlerinin San Andreas ve Hayward fayları boyunca dağılımları Şekil 13’de görülmektedir.



Şekil 13. Mini-Plaka Sınır Gözlemevleri Ağı [URL 15]

**Elektro-Manyetik Gözlemevleri (Elektro-Magnetic Observatories):** Berkeley Sismoloji laboratuvarı (BSL) tarafından elektromanyetik alan gözlemlerini yapmak amacıyla PKD1, PKD ve SAO gözlemevleri tesis edilmiştir (Şekil 14). Bu gözlemevlerinde 3-bileşenli manyetik alan sensörü, elektrik alan sensörü, 24-bit veri kayıt cihazı, UC Berkeley'ye sürekli telemetry bağlantısı ve GPS saati vardır [URL 22].



Şekil 14. Berkeley Dijital Sismik Ağı elektro-manyetik gözlemevleri [URL 22]

**Earthscope Plaka Sınır Gözlemevleri (Earthscope Plate Boundary Observatory (PBO)):** EarthScope projesinin bir bileşeni olan Plaka Sınırı Gözlemevleri (Plate Boundary Observatory (PBO)) Pasifik ve Kuzey Amerika plakalarında aktif sınır zonu boyunca oluşan deformasyonların 3 boyutlu gerilim alanını belirlemek amacıyla tesis edilmiştir. Gözlemevlerinde Yersel Konum Belirleme (Global Positioning System (GPS)) alıcısı ve gerilimölçer (strainmeter) bulunmaktadır. Bu ağın kurulmasındaki amaç günlük zaman ölçeğinden on yıllık zaman ölçeğine deformasyon bölgesinin gerilim alanını elde etmektir.



Gerilim ölçerler sondaj kuyusu gerilim ölçerleri ve uzun-baz lazer gerilimölçerleri olmak üzere iki gruptur. PBO ağında toplam 103 adet sondaj kuyusu gerilimölçer ve 5 lazer gerilimölçer istasyonu bulunur. Bunlardan 20 sondaj kuyusu gerilimölçer ve 1 lazer gerilimölçer istasyonu 2006 yılı Ağustos ayından itibaren işletilmektedir. Gelecek 4 yıl boyunca 5 lazer gerilimölçer ve 175 sondaj kuyusu gerilimölçer istasyonu daha tesis edilmesi planlanmaktadır [URL 1]. PBO kapsamında yapılan çalışmalar ile şu soruların yanıtı aranmaktadır:

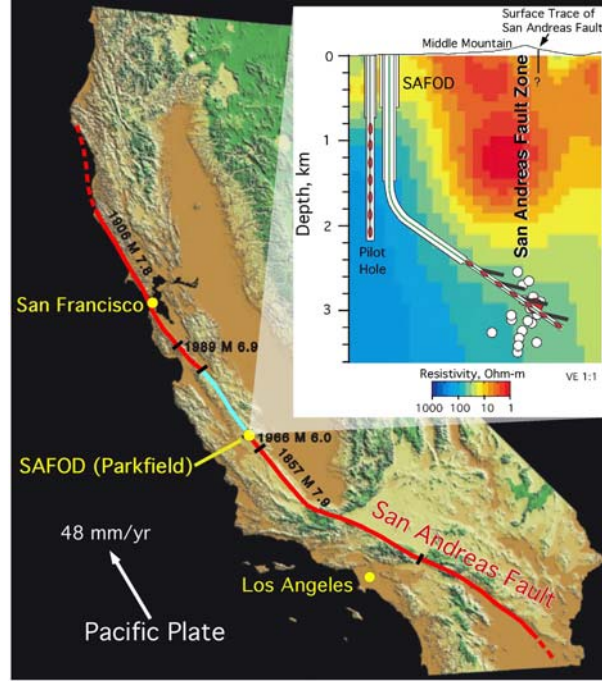
- Plaka sınırı deformasyonlarına neden olan etken kuvvetler nelerdir?
- Plaka sınır zonunda oluşan deformasyonların bölgesel dağılımındaki farklılıkları hangi parametreler belirler?
- Plaka sınır deformasyonu hangi parametrelere bağlı değişim gösterir?
- Depremin oluşumundaki uzay-zaman modelini ne kontrol eder?
- Mağmanın yükselmesi ve patlamasına neden olan dinamikler nelerdir?
- Deprem ve volkanik patlamaların zararları nasıl en aza indirgenebilir?

**Earthscope San Andreas Fayı Derin Ölçüm Gözlemevi (Earthscope San Andreas Fault at Depth (SAFOD))**: Earthscope San Andreas Fayı Derin Ölçüm Gözlemevi (SAFOD) derin sondaj kuyusu ölçüleri ile plaka sınırı depremlerinin oluşmasındaki fiziksel koşulları belirlemek, direk olarak fay zonundaki materyalleri (kayaçlar ve akışkanlar) çıkarmak ve sismik aktiviteyi faylanmanın olduğu bölgeden ölçmek için tesis edilmiştir. Şekil 15’de SAFOD sondaj kuyusu açma çalışmaları ve analiz merkezi görülmektedir.



Şekil 15. SAFOD istasyonunda yapılan çalışmalar [URL 13]

Sondaj kuyusu San Andreas Fay zonunun 1966 M-6 Parkfield depreminin hipocenterına yakın yerde açılmıştır. Şekil 16’da Kaliforniya’da büyük depremlerin meydana getirdiği fay kırıkları ve SAFOD’un tesis edildiği bölge görülmektedir. SAFOD herhangi bir major plaka sınır kesişim zonundaki faylanmayı ve deprem oluşumunu kontrol eden, fiziksel ve kimyasal sürecin tanınması için gerekli olan verilerin elde edilebilmesine olanak tanıyacak yapıdadır.

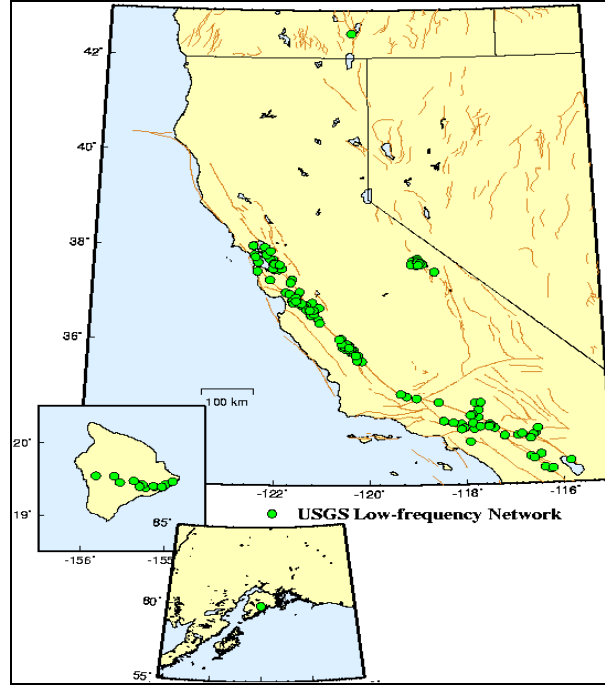


Şekil 16. Kaliforniya’da büyük depremlerin meydana getirdiği fay kırıkları ve SAFOD’un tesis edildiği bölge [URL 12]

1.4 kilometre derinliğinde açılan pilot kuyunun tabanında 3-bileşenli sismometre, tiltmetre, gerilim ölçer (strainmeter), akselerometre (ivme ölçer), basınç ölçer ve sıcaklık ölçer yerleştirilmiştir. Ana kuyunun tabanına 250 metrelik yan galeriler açılmıştır. Bu galerilerin birine tabanında 3-bileşenli sismometre, tiltmetre, gerilim ölçer, akselerometre, basınç ölçer ve sıcaklık ölçer, diğer galerilere lazer gerilim ölçer (laser strainmeter) ve sismometre monte edilmiştir. Bu ölçüm enstrümanları ile sismosite, deformasyon, akışkan basıncı, sıcaklık, kayaların ve akışkanların kimyasal özellikleri parametreleri 20 yıl boyunca izlenebilecektir.

SAFOD fayın yeraltındaki bölgelerinde bulunan materyallerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini, fayın davranışına etken yeni parametrelerin belirlenmesini ve bu parametreler arasındaki ilişkilerin ortaya çıkarılmasını sağlayacaktır ayrıca bölgede oluşan depremlere bağlı olarak oluşan gerilim değişimleri ile ilgili direkt bilgi edinilecektir. San Andreas fay zonunda yüksek oranda gözenek akışkan basıncı (high pore fluid pressure) olduğu ve gözenek akışkan basıncı değişiminin fayın davranışını önemli ölçüde etkilediği hipotezine açıklık getirilecektir [URL 12].

**USGS Fay İzleme Ağı (USGS Fault Monitoring Network):** USGS 25 yıl boyunca San Andreas fayını izleme amaçlı yaptığı çalışmalar kapsamında bir çok jeofizik veri elde etmiştir. Gerilim, eğim, gravite, manyetik alan, kuyu su seviyesi, göl su seviyesi, elektrik potansiyeli (elektrik potential), gözenek basıncı, rüzgar hızı, yağış miktarı, radon gazı, basınç, kar yüksekliği, farklı derinliklerdeki kabuksal ısı değişimi bunlardan birkaçıdır. Bu veriler genellikle düşük-frekanslı veri "low-frequency data" şeklinde adlandırılır. Bu verilerin büyük bir bölümü San Andreas Fay sisteminde ölçülmüştür. Bununla birlikte Oregon, Alaska ve Güney Pasifik fay sistemlerinde de düşük-frekanslı veri setleri ölçülmektedir. Bu veri setleri Kuzey Kaliforniya Deprem Veri Merkezi’de toplanmakta ve güncellenmektedir [URL 11]. Şekil 17’de San Andreas Fayı boyunca kurulan USGS düşük frekanslı jeofizik veri ağı (USGS low frequency geophysical network) görülmektedir.

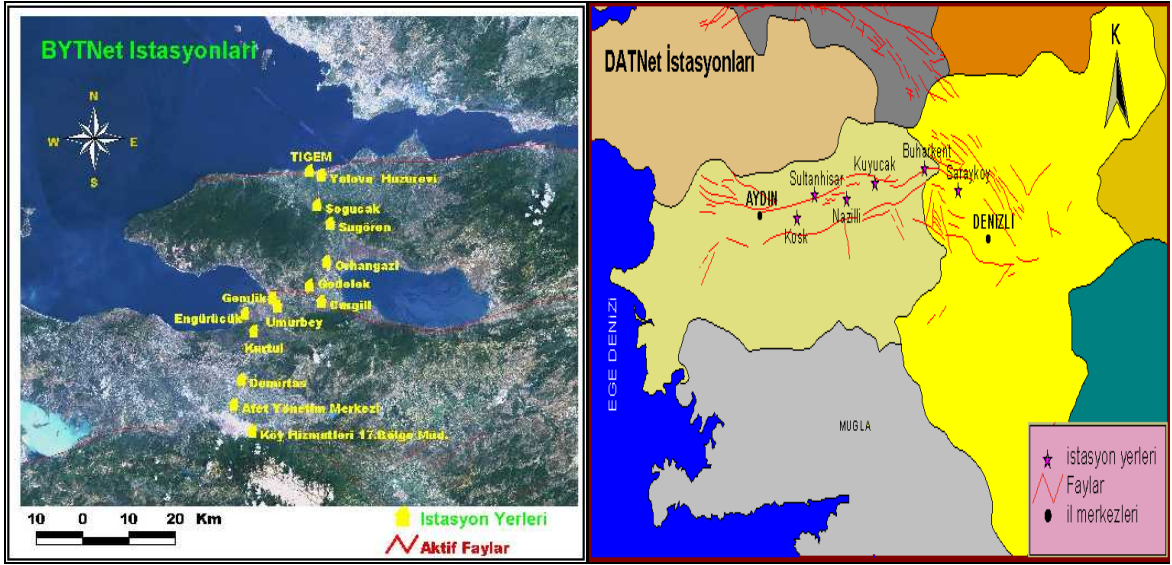


Şekil 17. USGS düşük frekanslı jeofizik veri ağı (USGS low frequency geophysical network) [URL 11]

***Koy Alanı Bölgesel Deformasyon Ağı (Bay Area Regional Deformation Network (BARD))***: San Francisco koy alanı bölgesel GPS deformasyon ağı, kuzey Kaliforniya'ya dağılmış 67 adet sabit sürekli veri alan GPS alıcısından oluşmaktadır (Şekil 18). Bu ağın kurulmasındaki en önemli hedef Pasifik-Kuzey Amerika plakaları sınır zonu boyunca oluşan kabuksal deformasyonların eş zamanlı belirlenmesi ve böylece olası deprem tehlikelerinin minimuma indirilmesi için acil uyarı sisteminin oluşturulmasıdır. Ağdan elde edilen ham ve RINEX (Receiver Independence Exchange Format) veriler USGS veri analiz merkezlerinde değerlendirilerek bağıl hareketler hesaplanmaktadır.



**Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Sisteminin Genişletilmesi ve Yoğun Yerel Ağların Kurulması Projesi:** ODTÜ Afet Yönetimi Uygulama ve Araştırma Merkezi'nin TÜBİTAK başkanlığının aktif desteğiyle NATO Bilim ve Çevre İşleri Direktörlüğüne sunulan “Türkiye'nin Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Sisteminin Genişletilmesi ve Yoğun Yerel Ağların Kurulması” projesi teklifi kabul edilmiştir. Projenin yönlendirilmesinde araştırma ekibi ODTÜ, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, TÜBİTAK ve USGS temsilcilerinin meydana getirdiği bir kurul ile birlikte hareket etmektedir. Projenin amacı, tahsis edilen ödenek ile 20 kadar modern ivme kaydedicisi (akselerograf) tedarik edip bunları Yalova-Bursa (BYTNet) ve diğeri de Aydın-Denizli (DATNet) illeri kapsamında yer alan iki yerel ağda konumlandırmaktır (Şekil 19) [URL 27], [URL 28].

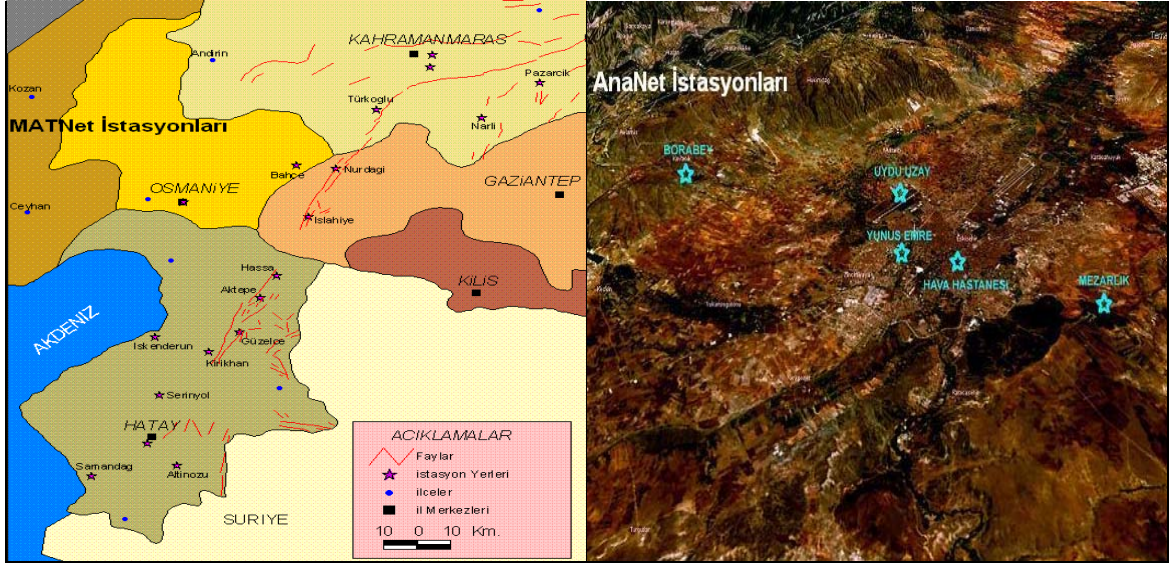


Şekil 19. Aydın-Denizli İvme-Ölçer Ağı (DATNet), Yalova-Bursa İvme-Ölçer Ağı (BYTNet), (<http://angora.deprem.gov.tr/DATNetmap.jpg>; [URL 27])

**AnaNet Projesi:** Eskişehir Anadolu Üniversitesi ile Afet İşleri Genel Müdürlüğü arasında imzalanan protokolle yürürlüğe girmiş olan projenin amacı, Eskişehir ilinin jeolojik koşullarının, yerel zemin koşullarının ve yapı envanter bilgilerinin, coğrafi koordinatları da göz önünde bulundurularak, bir arada değerlendirilmesi ve olası bir depremin yerel zemin koşullarına bağlı etkilerinin deprem anında belirlenmesidir. Bu amacı sağlamaya yönelik olarak 5 adet ivme ölçer cihazı alınmış ve bu cihazlar aktif fay düzlemi boyunca bir hat dahilinde yerleştirilmiştir (Şekil 20) [URL 28].

**MATNet Projesi:** TÜBİTAK Mahalli Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Ağlarının Kurulması isimli proje kapsamında Hatay-Kahramanmaraş illeri arasında 18 adet istasyondan oluşan ivme-ölçer ağı kurulmuştur (Şekil 20) [URL 28].





Şekil 20. Eskişehir İli Kuvvetli Yer Hareketi Ağı (AnaNet) ve K.Maraş - Antakya Yerel İvme-Ölçer Ağı (MATNet) [URL 28], [URL 29]

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi bünyesinde işletilmekte olan *Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Şebekesi*, 1973 yılında Ülke ölçeğinde kurulmuştur. Depremle her tür yapıya gelen ve hasar yapabilen kuvvetleri ölçmek, depreme dayanıklı yapı yapma teknikleri geliştirmek ve veri tabanı oluşturmak amacıyla, sınırlı sayıda ivme-ölçerler, yaklaşık 50-80 kilometre aralıklarla ülkemizde şiddetli depremlerin olduğu veya beklendiği Kuzey Anadolu Fay Zonu, Doğu Anadolu Fay Zonu ve Ege Graben Sistemleri boyunca yerleştirilmiştir (Şekil 21).

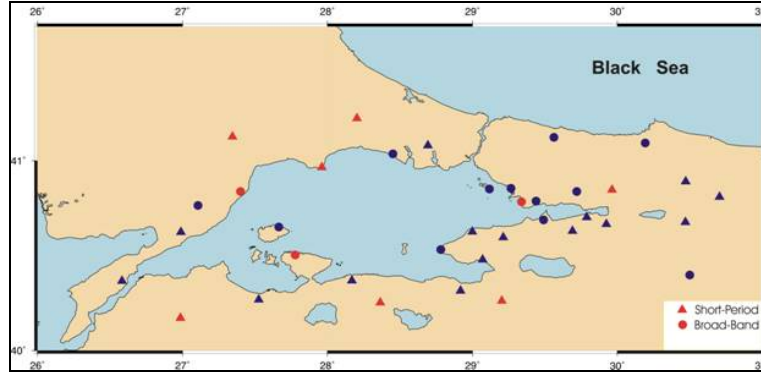


Şekil 21. Türkiye ulusal yer kuvvetli yer hareketi şebekesi [URL 26]

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi bünyesinde işletilmekte olan 61 adet analog ve 53 adet sayısal istasyondan oluşan *Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Ağı* 2001 yılı itibariyle NATO'nun finansman desteği ile sağlanan 20 adet sayısal istasyonun şebekeye dahil edilmesi sonucu; Bursa – Yalova (*BYTNet*) ve Aydın – Denizli yerel ağları (*DATNet*) kurularak, çalışır haldeki istasyon sayısı 134 olmuştur. Ayrıca, TÜBİTAK'ın

desteği ile sağlanan ve Hatay -K.Maraş yerel ağını (*MATNet*) oluşturacak 18 adet sayısal istasyon kurulmuş olup, 2005 yılında Eskişehir Anadolu Üniversitesi ile ortaklaşa kurulan (*AnaNet*) yerel ağı ile istasyon sayısı 157 olmuştur. Şebekenin kuruluşundan günümüze ülkemizde meydana gelmiş depremlerden alınan ivme kayıtları derlenerek, ivme kayıt arşivi oluşturulmakta ve bu arşiv sürekli güncellenmektedir. Bu kayıtlar, tüm araştırmacıların ve bilim dünyasının hizmetine İnternet aracılığıyla sunulmaktadır [URL 26].

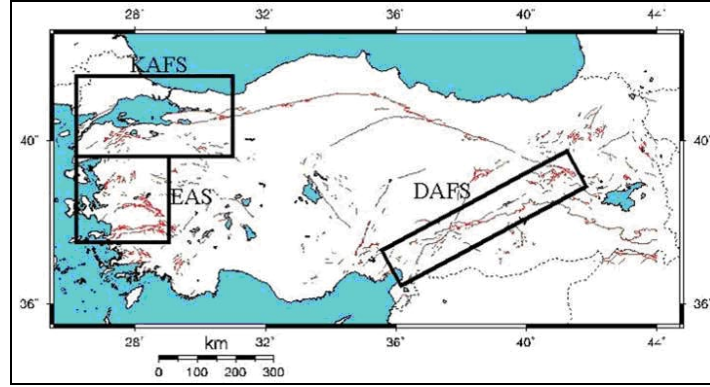
**Marmara Bölgesi Sürekli Sismoloji Gözlem Ağı (MARSİS) Projesi:** TÜBİTAK-MAM desteği ile 2001 yılında başlayıp 2003 yılında tamamlanmış projenin amacı başta İstanbul olmak üzere Marmara Denizi çevresindeki metropolitan bölgelerin deprem risk analizleri için gerekli ve kritik öneme sahip sismolojik, jeodezik ve jeolojik unsurların saptanması ve buna bağlı olarak deprem riskini ortaya çıkarmaktır. Proje kapsamında kullanılan, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi tarafından Marmara Bölgesinde kurulmuş kısa ve uzun periyot deprem kayıt istasyonları Şekil 22'da görülmektedir.



**Şekil 22.** TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi tarafından Marmara Bölgesinde kurulmuş kısa ve uzun periyot deprem kayıt istasyonları [URL 24]

Proje sonucunda, Marmara Denizi içindeki ana fay zonunun, günümüzde aktivitesini sürdürmekte olduğu, Marmara Denizi'nin Merkez ve Çınarcık Basenleri arasında, 35 km uzunluğunda, suskun bir fay zonu olduğu, Marmara Fayı boyunca oluşan 4 ve üstü büyüklüğündeki ( $M_w=4$ ) depremlerin Fay düzlemi çözümleri, sağ yönlü doğrultulu atımlı bir hareketin olduğunu açık ve net olarak kanıtlamıştır [URL 24].

**Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik "ancak tektonik rejimleri farklı" Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması (TÜRDEP) Projesi:** TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü tarafından yürütülen projeye 2005 yılında başlanmış ve 2009 yılı sonuna bitirilmesi planlanmaktadır. Projenin amacı, Marmara'da deprem araştırmaları konusunda yapılan sürekli gözlem çalışmalarının deniz tabanını da kapsayacak şekilde genişletilerek yoğunlaştırılması ve kritik bölgelerde yeni tekniklerin uygulanması yanı sıra, Marmara bölgesinde kazanılan deneyimin uygulayıcı kuruluş olan Bayındırlık Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü ve üniversitelerle işbirliği içinde ülke çapında deprem riski yüksek diğer alanlara aktarılmasıdır. Proje kapsamında Marmara bölgesi (KAFS), EAS ve DAFS olmak üzere Şekil 23'deki Türkiye Aktif fay haritasında gösterilen "deprem riski yüksek" üç ana bölgede uzun süreli çok parametrelî gözlem çalışmaları ve bunların entegrasyonlarının yapılması hedeflenmektedir.



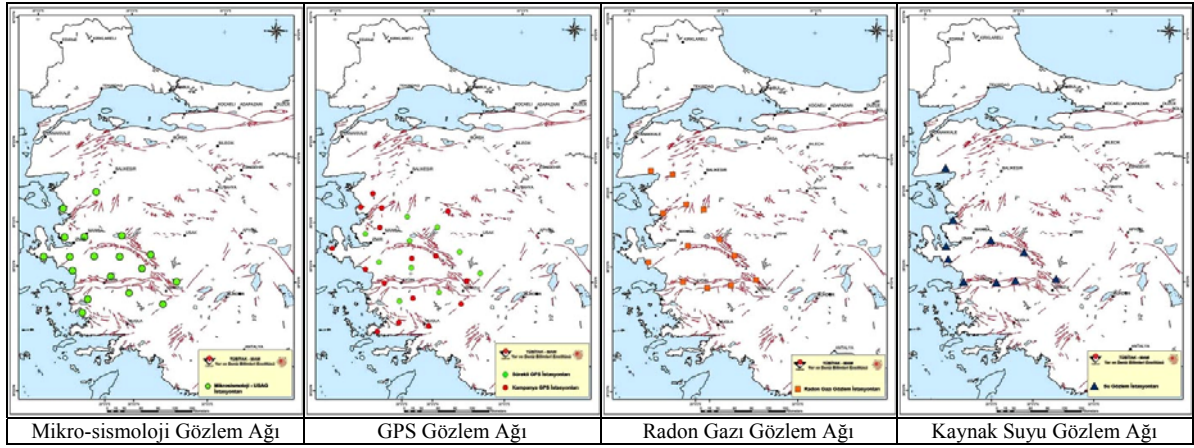
Şekil 23. Deprem riski yüksek üç ana bölge [URL 24]

Proje kapsamında ülkemizin deprem açısından jeostratejik öneme sahip üç ayrı bölgesinde ayrı ayrı ancak bütünleyici şekilde çok disiplinli çalışmalar yürütülecektir. Çalışılacak bölgeler, Kuzey Anadolu Fay Sisteminin Batı kesimleri (KAFS), Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) ve Ege Açılma Sistemi (EAS) kapsamaktadır. Her bir bölgede yapılacak çalışmalar, yerel üniversitelerin katkısını ve işbirliğini öngörmekte böylece ulusal ölçekte sinerji yaratmayı, bilgi paylaşımını ve yaygınlaştırılmasını hedeflenmektedir. Proje kapsamında, *DAFS* (Şekil 24), *EAS* (Şekil 25) ve *KAFS* (Şekil 26) izleme ağları ile karada yüksek duyarlı sismolojik gözlemler (makro ve mikro sismoloji), jeokimyasal (Radon gazı ve kaynak suyu) gözlemler, GPS, InSAR, mikrogravite, tilt ve strain ölçümleri, yer büyütme etkisini ölçmeye dayalı, yapay kaynaklı sismolojik ölçümler yapılacaktır. Tüm verilerin, veri kontrolü sonrası, CBS veri tabanına aktarılması - anlık izlenmesi- ve kabuk deformasyon modellemesinin sürekli yapılması hedeflenmektedir [URL 24].

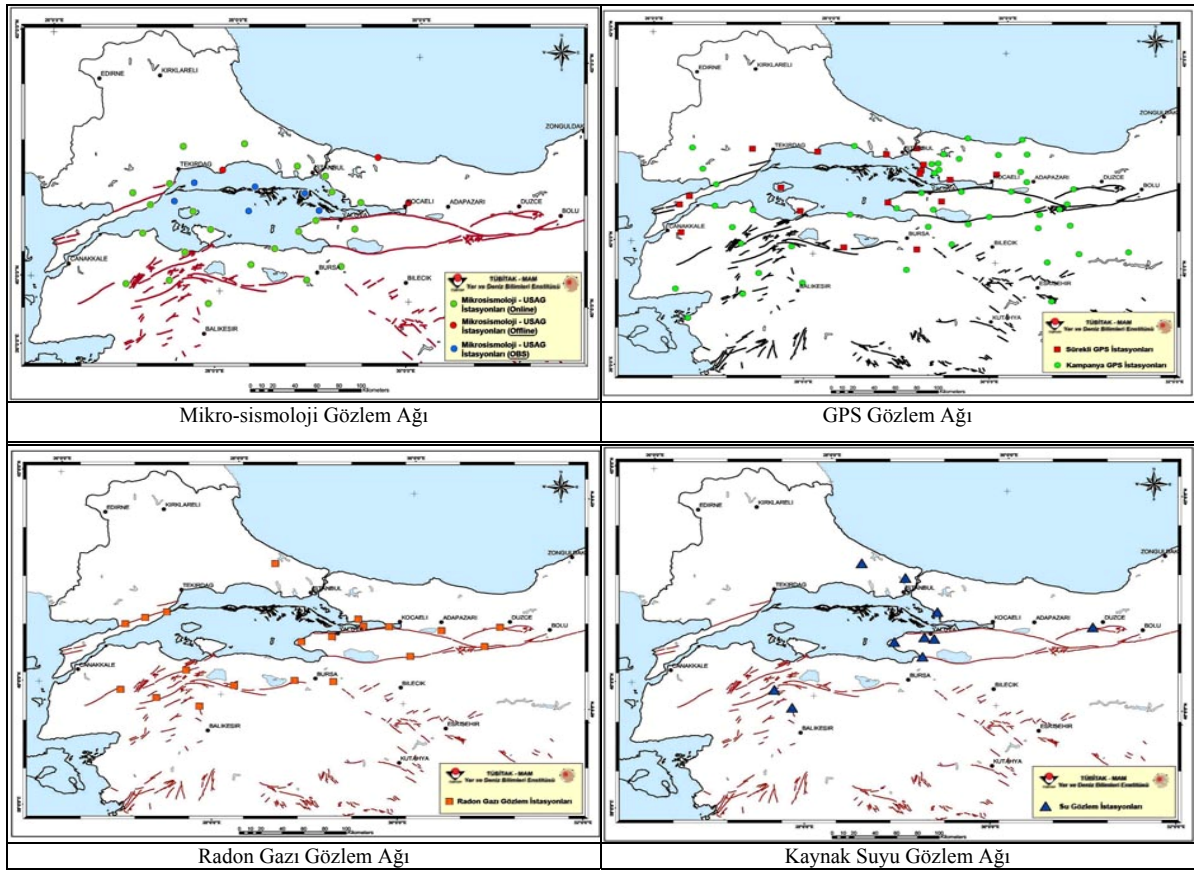


Şekil 24. Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) izleme ağları [URL 24]





Şekil 25. Ege Açılma Sistemi (EAS) izleme ağları [URL 24]



Şekil 26. Kuzey Anadolu Fay Sisteminin Batı kesimleri (KAFS) – Marmara Bölgesi Fay Sistemi izleme ağları [URL 24]

## 5 Sonuç

## Kaynaklar

- [1] Badgley P C (1965) Structural and Tectonic Principles, New York.
- [2] Bayrak Y ve Yılmaztürk A (1999) Global depremlerin cisim ve yüzey dalgası magnitüdüleri arasındaki ilişkilerin karşılaştırılması, Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, 81, 125-141.
- [3] Bektaş O ve Eyüboğlu Y (2006) Yapısal Jeoloji, KTU, Mühendislik Fakültesi Ders Notları, No:1, Trabzon.
- [4] Burgman R, Rosen P, Fielding E (2000) Synthetic Aperture Radar Interferometry To Measure Earth's Surface Topography And Its Deformation, Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 28:169-209.
- [5] Crowell JC (1975) San Andreas fault in southern California: Division of Mines and Geology, Special Report, 18.
- [6] Davidson JP, Reed WE, Davis PM (2002), Exploring Earth: An Introduction to physical geology 2nd Ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- [7] Ercan A (1983) Özdirençin gerilme – yamulma ile ilişkisi, Türkiye Jeoloji Krumu Bülteni, C.26, 73-82.
- [8] Gubbins D (1990) Seismology and plate tectonics, Cambridge University Press, Cambridge, USA.
- [9] Gülen L (1989) From plate tectonics to global domain tectonics. In crust/mantle recycling at convergence zones, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, 173-179.
- [10] Ketin İ (1976) A Comparison between the San Andreas and the North Anatolian Faults, Bulletin of the Geological Society of Turkey, 19, 149-154.
- [11] Lawson AC (1985) Sketch of the geology of the San Francisco Peninsula: P.S. Geol. Survey 15<sup>th</sup> Ann. Rept. 405-447.
- [12] Şengün SY, Kılıçoğlu A (2005) Interferometrik Yapay Açıklıklı Radar Tekniğinin Jeodezide Kullanılması, Deprem Sempozyumu, 23-25, Mart, 2005, 307-309, Kocaeli.
- [13] Teunissen JGP ve Kleusberg A (1998) GPS for Geodesy, 2<sup>nd</sup> edition Springer-Verlag Berlin Heidelberg Newyork.
- [14] Vedder JG (1975) Juxtaposed Tertiary strata along the San Andreas fault in the Temblor and Caliente Ranges: Calif. Div. Mines and Geology. Special Report 18.
- [15] Wallace RE (1975) The San Andreas fault in the Carrizo Plain – Temblor Range region: Calif. Div. Mines and Geology, sp. Eep. 18.
- [URL 1]: <http://pboweb.unavco.org>
- [URL 2]: <http://seismo.berkeley.edu>
- [URL 3]: <http://www.ncedc.org>
- [URL 4]: <http://www.ncedc.org/ncsn/map.html>
- [URL 5]: <http://www.consrv.ca.gov/CGS>
- [URL 6]: <http://www.usgs.gov>
- [URL 7]: <http://www.usgs.gov/state/state.asp?State=CA>
- [URL 8]: <http://quake.usgs.gov/research/geology/turkey/images/slip-dist.jpeg>
- [URL 9]: <http://www.nehrp.gov>
- [URL 10]: <http://www.ncedc.org/bard>
- [URL 11]: <http://www.ncedc.org/ul>
- [URL 12]: [http://quake.usgs.gov/research/parkfield/safod\\_pbo.html](http://quake.usgs.gov/research/parkfield/safod_pbo.html)
- [URL 13]: [http://www.icdp-online.de/contenido/icdp/front\\_content.php?idart=1106](http://www.icdp-online.de/contenido/icdp/front_content.php?idart=1106)
- [URL 14]: <http://www.ncedc.org/bdsn/mpbo.overview.html>
- [URL 15]: [http://seismo.berkeley.edu/bdsn/mpbo\\_map.html](http://seismo.berkeley.edu/bdsn/mpbo_map.html)



- [URL 16]: <http://seismo.berkeley.edu/bdsn/hrsn.overview.html>  
[URL 17]: [http://seismo.berkeley.edu/bdsn/hrsn\\_map.html](http://seismo.berkeley.edu/bdsn/hrsn_map.html)  
[URL 18]: <http://seismo.berkeley.edu/bdsn/hfn.overview.html>  
[URL 19]: [http://seismo.berkeley.edu/bdsn/hfn\\_map.html](http://seismo.berkeley.edu/bdsn/hfn_map.html)  
[URL 20]: <http://seismo.berkeley.edu/bdsn/bdsn.overview.html>  
[URL 21]: [http://seismo.berkeley.edu/bdsn/bdsn\\_map.html](http://seismo.berkeley.edu/bdsn/bdsn_map.html)  
[URL 22]: <http://seismo.berkeley.edu/bdsn/em.overview.html>  
[URL 23]: <http://quake.usgs.gov/heatflow/hfintroduction.html>  
[URL 24]: <http://www.mam.gov.tr/enstituler/ydbe>  
[URL 25]: <http://www.koeri.boun.edu.tr>  
[URL 26]: <http://angora.depren.gov.tr>  
[URL 27]: <http://angora.depren.gov.tr/BYTNNetTR.htm>  
[URL 28]: <http://angora.depren.gov.tr/TKYHAKK.htm>  
[URL 29]: <http://angora.depren.gov.tr/MATNet.htm>