

GPS VE INSAR İLE YERDEĞİŞTİRMELERİN BELİRLENMESİ

Aslı Doğru¹, Haluk Özener¹

¹Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeodezi Anabilim Dalı, Üsküdar, İstanbul. asli.dogru@boun.edu.tr

ÖZET

Uydu jeodezisindeki gelişmeler ile Yeryuvarı'na ait büyüklüklerin hassas olarak saptanması ve bunlardaki değişimlerin yüksek duyarlılıkla belirlenmesi mümkün olmuştur. Özellikle GPS (Küresel Konum Belirleme Sistemi) ve InSAR (İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar Sistemi) kullanımının yaygınlaşması ile dinamik deformasyonların ölçülmesi ve modellenmesi mümkündür. InSAR tekniği, her türlü hava koşulunda, geniş alanlarda (100km), yüksek çözünürlükte (10m) radar görüntüleri ile cm altı yüzey deformasyonlarının belirlenmesinde kullanılan bir tekniktir. InSAR Yer bilimlerinde en çok deprem öncesi ve sonrası, deprem arası kabuk deformasyonlarının, çökme ve heyelanların izlenmesinde kullanılmaktadır. InSAR tekniğinde interferogramların elde edilmesinde topografik etkiyi ortadan kaldırmak için iki radar görüntüsü ve çalışma bölgesine ait sayısal arazi modeli kullanılmaktadır.

Anahtar Sözcükler: *Deformasyon Analizi, Interferometri, GPS/GNSS, Jeodezi, SAR*

ABSTRACT

DETERMINING DISPLACEMENTS BY GPS AND INSAR

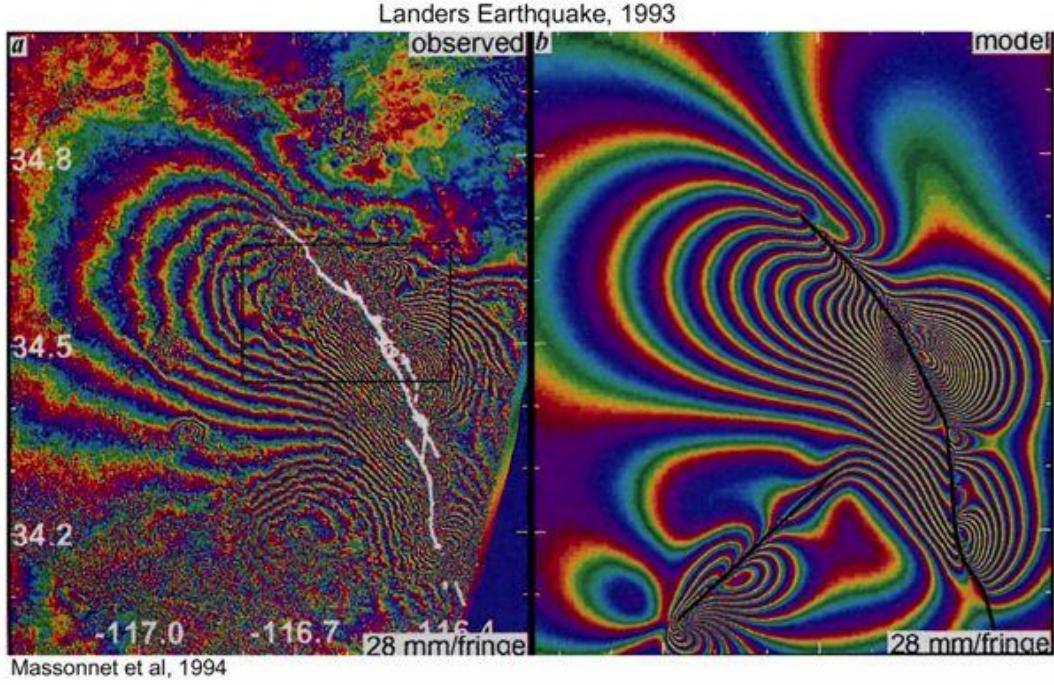
Advances in space geodesy have made it possible to detect and measure variations on the Earth with high precision. Especially widespread use of GPS and InSAR has provided to observe and model dynamic deformation. InSAR technique, covering large areas (100km), can be used in all weather conditions at high spatial resolution which achieves sub-cm level in detecting surface deformation. InSAR is most often used to monitor (pre-seismic/co-seismic/post-seismic) crustal deformation, subsidence and landslides. In this technique, interferograms are produced by using two radar images and digital elevation model of the region of interest to remove topographic phase.

Keywords: *Deformation analysis, Interferometry, GPS/GNSS, Geodesy, SAR*

1. GİRİŞ

InSAR, aynı bölgeye ait iki SAR görüntüsünün interferogram denilen faz girişimi görüntüsünü elde etmek üzere birleştirilmesidir (Zebker ve Goldstein, 1986; Dixon, 1994; Massonnet, 1997). SAR görüntüleri faz ve genlik (amplitude) değerlerinden oluşur. Genlik bilgisi yansıma özelliklerini içerir, faz değeri ise radar anteni ile hedef arasındaki uzaklık bilgisini içerir. SAR algılayıcıları gönderdiği elektromanyetik sinyalin hem geri yansıyan kısmının şiddetini (amplitude), hem de sinyaldeki gecikme zamanlarını (phase) kaydeder. İnterferogramdaki faz bilgisi kullanılarak çalışılan bölgeye ait sayısal yükseklik modeli (DEM), yükseklik değişimleri ve deformasyonlar tespit edilebilmektedir.

InSAR tekniğinin deprem araştırmalarındaki ilk kullanımı 1992 Landers (Kaliforniya) depremi ile olmuştur (Şekil 1). Bu çalışmalar, InSAR tekniğinin ko-sismik deformasyonu belirlemedeki gücünü çok iyi göstermiştir (Massonnet vd., 1993; Zebker vd., 1994). Bu çalışmaları diğer birçok çalışma takip etmiş ve deprem araştırmalarına oldukça büyük katkılar sağlanmıştır. 1999 Hector Mine (Kaliforniya) depreminde olduğu gibi (Jonsson vd., 2002), büyük depremlerin kayma dağılımı (fault slip distribution) InSAR tekniği ile belirlenebilmektedir. Peltzer vd. (1999), bu tekniği kullanarak Mw=7.6 Manyi (Tibet) depremindeki asimetrik ko-sismik yer değiştirmeleri ölçebilmişlerdir. Michel vd. (1999), iki radar görüntüsüne ait piksellerin genlik değerlerinden faydalanarak uydu azimut doğrultusuna paralel yer değiştirmeleri tespit etmişlerdir. Fialko vd. (2001), Güney Kaliforniya'da gerçekleşen Hector Mine depremindeki üç boyutlu ko-sismik yer değiştirmeleri InSAR tekniği ile uydunun alçalan ve yükselen yörüngelerini kullanarak elde etmişlerdir.



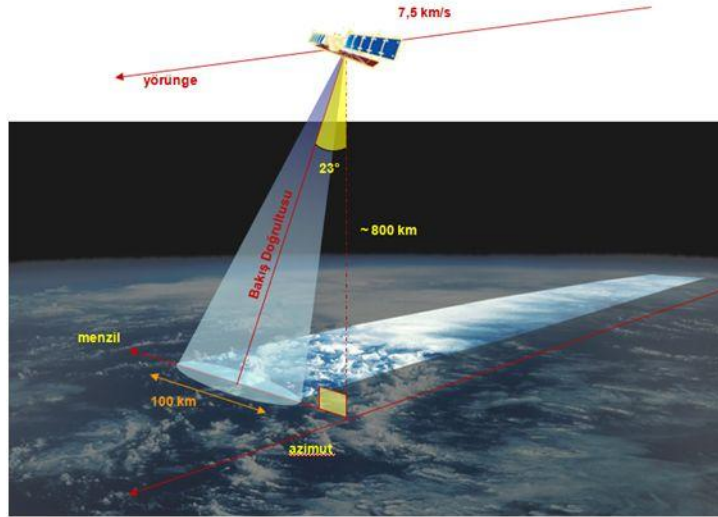
şekil 1: 1992'de gerçekleşen 7.3 büyüklüğündeki Landers depremine ait interferogram görüntüsü (Massonnet vd., 1994) İnterferogramda komşu pikseller arasındaki her 2 lik faz değişimine saçak/rge (fringe) denir ve genellikle bu girişim tam bir RGB renk döngüsü ile ifade edilir. Bu örnekte her bir saçak 28 mm'lik bir deformasyona karşılık gelmektedir ki bu da dalga boyunun yarısı kadardır.

InSAR tekniği kullanılarak yapılan post-sismik deformasyon belirleme çalışmalarına örnek olarak Peltzer vd. (1996)-1992 Landers (Kaliforniya) depremi ve Pollitz vd. (2001)-1999 Hector Mine (Kaliforniya) depremi verilebilir. İnter-sismik deformasyon ise interferogramda bulunan uzun dalga boyundaki gürültüyü gerçek deformasyondan ayırmanın güçlüğü nedeniyle InSAR tekniği ile belirlemenin en zor olduğu deformasyondur. Bununla birlikte, Wright vd. (2001a) InSAR tekniğini kullanarak Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun doğu kesiminde biriken gerinimi (strain) interferogramlardan belirleyebilmişlerdir. Bürgmann vd. (2000), Hayward Fay'ındaki (Kaliforniya) asismik deformasyonu da bu teknikle çalışmışlardır.

Yine InSAR tekniği ile ko-sismik deformasyon belirleme çalışmalarına örnek olarak Wright vd. (1999) (ERS-1/2 uydu görüntüleri kullanılarak 1995 Dinar depremi), Wright vd. (2001b) (ERS-1/2 uydu görüntüleri kullanılarak 1999 Kocaeli depremi), Bürgmann vd. (2002) (ERS-1/2 uydu görüntüleri kullanılarak 1999 Düzce depremi) ve Feigl vd. (2002) (ERS-1/RADARSAT-1 uydu görüntüleri kullanılarak 1999 Kocaeli depremi) gösterilebilir.

2. TEMEL PRENSİPLER

Radar ile uzaktan algılama aktif bir sistemdir. Optik sistemlerdeki gibi güneş işığına ihtiyaç duymaz. Mikrodalga frekansında çalışır ve bulutlardan geçebilme özelliği vardır. InSAR tekniğinin temeli faz bilgisine dayanır. Radar uydu algılayıcılarının eğik görüntüleme açısı sayesinde sinyalin uydudan hedefe gidiş ve dönüş süreleri arasındaki fark bilgiyi üretir (şekil 2).



Şekil 2: Veri elde etme geometrisi (Novali, 2010)

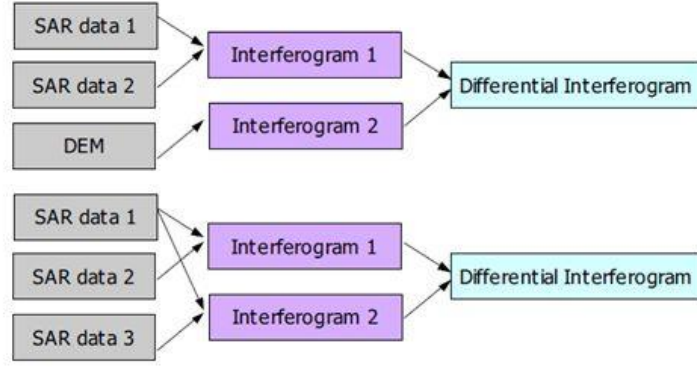
İnterferometri sayesinde uydu-hedef doğrultusundaki değişimleri prezisyonlu olarak ölçebilmektedir. InSAR teoride geniş alanlardaki yüzey deformasyonunu tespit etmede milimetrik prezisyona sahipken, pratikte kısa zaman aralığından elde edilen kabuk deformasyonu sinyali atmosfer, topografya ve yörüngesel hataların etkisi altındadır (Wright, 2001). SAR uyduları dünyanın her bölgesini görüntülemesi ve gizli yüzey şekillerini ortaya çıkarabilmesi özellikleriyle üstündür. İlk radar uydusu SEASAT 1978 fırlatılmıştır. Tablo 1 radar uydularının tarihsel gelişimini göstermektedir.

Tablo 1: Radar uydularının tarihsel gelişimi (Taşıyıcı dalga boyu olarak L:24 cm, C:5.7 cm, X:3.1 cm'ye karşılık gelmektedir.)

| Uydu | Tarih | Bant | Kurum |
|--------------|----------------|-------|--|
| SeaSAT | 1978 (110 gün) | L | NASA (ABD) |
| SIR-B* | 1984 | L | NASA (ABD) |
| ERS-1 | 1991-2000 | C | ESA (Avrupa) |
| JERS-1 | 1992-1998 | L | NASDA (Japon) |
| SIR-C/X-SAR* | 1994 | L/C/X | NASA/ASI (ABD/İtalya) |
| ERS-2 | 1995-halen | C | ESA (Avrupa) |
| RADARSAT-1 | 1995-halen | C | CSA (Kanada) |
| SRTM* | 2000 | C/X | JPL/NASA/NIMA/DLR/ASI (ABD/Almanya/İtalya) |
| ENVISAT | 2003-halen | C | ESA (Avrupa) |
| ALOS | 2006-halen | L | JAXA (Japonya) |
| RADARSAT-2 | 2007-halen | C | CSA (Kanada) |
| COSMO SkyMed | 2007-halen | X | ASI (İtalya) |
| TerraSAR-X | 2007-halen | X | DLR/EADS (Almanya/Avrupa) |

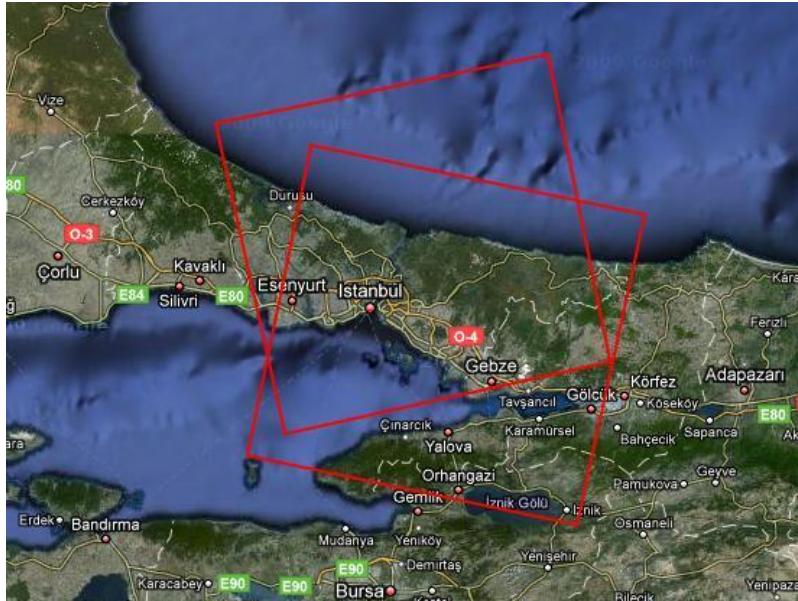
*Birkaç gün periyoduyla görevini tamamlayan uzay mekiği

InSAR veri işleme için görüntü seçimi çok önemlidir. Görüntüler arasındaki zamansal fark, meteorolojik durumlar, geometrik baz doğrultusu ve uydunun alçalan/yükselen yörüngeleri başlıca parametreleri oluşturmaktadır. Veri işleme için bilimsel (ROI_PAC/ABD, NEST/Avrupa, DORIS/Hollanda) ve ticari (GAMMA*, DIAPASON*, SARscape*, Info PACK*, ERDAS, ENVI, ER Mapper) bazı yazılımlar mevcuttur (* Sadece InSAR veri işleme için). InSAR tekniği ile dijital yükseklik modeli oluşturulabilmektedir. Özellikle deprem sonrası oluşan yerkabuğu hareketlerinin saptanmasında diferansiyel interferometri adı verilen InSAR tekniğinden yararlanılır. Burada deprem öncesi ve deprem sonrası topografyayı temsil eden iki farklı interferogram üretilir. Üretilen bu interferogramların birbirlerinden çıkarılması sonucu elde edilen fark interferogram görüntüsü deprem sonrası oluşan deformasyona karşılık gelir. Diferansiyel interferometri için kullanılan yöntemler Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 3: İki geçiş ve DEM yöntemi ile diferansiyel interferometri (DInSAR), Üç geçiş (çifte fark) yöntemi ile DInSAR

Group on Earth Observations tarafından 2007 yılında Supersites Initiative adı ile, dünyada jeolojik olarak aktif bölgelerde (depremler, volkanlar, buzul hareketleri) doğal tehlikeler ile ilgili çalışılabilmesi için GPS ve InSAR verilerine ulaşımı açmak ve bu ulaşımı sağlayacak bilgi teknolojisi altyapısını geliştirmek üzere bir oluşum başlatılmıştır. İstanbul şehir de bu kapsamda Supersites olarak değerlendirilmektedir. Bu sayede elde edilmesi zor ve pahalı olan veriye ulaşım kolaylaşacak ve bilime ayrılan zaman artacaktır (Şekil 4).



Şekil 4: İstanbul Supersite görüntü çerçeveleri

NASA Jet Propulsion Laboratory tarafından desteklenen DESDynI projesi (Deformation, Ecosystems, and Dynamics of Ice) küresel çevresel değişikliklerin (iklim değişikliği, karbon üretimim) ve doğal tehlikelerin (depremler, volkanik patlamalar ve heyelanlar) InSAR ve LIDAR (Light Detection and Ranging) teknikleri ile araştırılmasına yönelik olarak özel uydu sistemlerinin geliştirilmesini kapsamaktadır.

3. SONUÇLAR

1990'lı yıllara kadar teorik olarak sürdürülen InSAR çalışmaları günümüzde aktif bir şekilde hızla artarak sürdürülmektedir. Bu teknikte, incelenen bölge üzerinde uydunun tekrarlı geçişleri arasında faz, meteorolojik ve topografik düzeltmeler yapıldıktan sonra, deformasyon miktarları ve olası gerilim bölgeleri belirlenir. Deformasyon belirleme çalışmalarında SAR uydu verilerinden ve InSAR tekniğinden elde edilen sonuçların, GPS verileri ile birlikte yorumlanmasıyla doğruluğu yüksek sonuçlar elde edilebilmektedir. Görüntülenen bölgenin yüzey özelliklerine ve uydunun geçiş döngüsüne bağlı olarak oluşan kısıtlarına rağmen, güncelliği, doğruluğu ve maliyet-fayda bakımından avantajları göz önüne alındığında InSAR tekniği, GPS verileri ile de desteklendiğinde Yer kabuğu deformasyonu çalışmalarında gelecek vadede bir teknik olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- Bürgmann, R., Schmidt, D., Nadeau, R., D'Alessio, M., Fielding, E., Manaker, D., McEvelly, T. V. and Murray, M. H. 2000, *Earthquake potential along the northern Hayward fault, California*, Science, 289, 1178-1182.
- Bürgmann R., Ayhan, M. E., Fielding, E. J., Wright, T. J., McClusky, S., Aktug, B., Demir, C., Lenk, O., and Turkezer A. 2002, *Deformation during the 12 November 1999 Duzce, Turkey, earthquake from GPS and InSAR data*, Bull. Seismol. Soc. Am., 92, 161-171.
- Feigl, K. L., Sarti, F., Vadon, H., McClusky, S., Ergintav, S., Durand, P., Bürgmann, R., Rigo, A., Massonnet, D., and Reilinger R., 2002, *Estimating slip distribution for the Izmit mainshock from coseismic GPS, RADARSAT, ERS-1, and SPOT measurements*, Bull. Seismol. Soc. Am., 92, 138-160.
- Fialko, Y. 2001, *On origin of near-axis volcanism and faulting at fast spreading mid-ocean ridges*, Earth Planet. Sci. Lett., 190, 31-39.
- Jonsson, S., Zebker, H., Segall, P., and Amelung F., 2002a, *Fault slip distribution of the 1999 Mw7.1 Hector Mine earthquake, California, estimated from satellite radar and GPS measurements*, Bull. Seismol. Soc. Am., 92.
- Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Feigl, K., and Rabaute T., 1993, *The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry*, Nature, 364, 138-142.
- Michel, R., Avouac, J.-P., Taboury J., 1999a, *Measuring ground displacements from SAR amplitude images: Application to the Landers earthquake*, Geophys. Res. Lett., 26, 875-878
- Peltzer, G., Rosen, P., Rogez, F., and Hudnut K., 1996, *Postseismic rebound in fault stepovers caused by pore fluid flow*, Science, 273, 1202-1204.
- Peltzer, G., Cramp' e, F., and King G., 1999, *Evidence of nonlinear elasticity of the crust from the Mw:7.6 Manyi (Tibet) earthquake*, Science, 286, 272-276.
- Pollitz, F. F., Wicks, C., and Thatcher, W., 2001, *Mantle flow beneath a continental strike-slip fault: Post-seismic deformation after the 1999 Hector Mine earthquake*, Science, 293, 1814-1818.
- Wright, T. J., Parsons, B. E., Jackson, J. A., Haynes, M., Fielding, E.J., England, P.C., Clarke, P.J., 1999, *Source parameters of the 1 October 1995 Dinar (Turkey) earthquake from SAR interferometry and seismic bodywave modelling*, Earth Planet. Sci. Lett., 172, 23-37.
- Wright, T., Parsons, B., and Fielding, E., 2001a, *Measurement of interseismic strain accumulation across the North Anatolian fault by satellite radar interferometry*, Geophys. Res. Lett., 28, 2117-2120.
- Wright, T., Fielding, E., and Parsons, B., 2001b, *Triggered slip: Observations of the 17 August 1999 Izmit (Turkey) earthquake using radar interferometry*, Geophys. Res. Lett., 28, 1079-1082.
- Zebker, H. A., Rosen, P. A., Goldstein, R. M., Gabriel, A., and Werner, C. L., 1994, *On the derivation of coseismic displacement fields using differential radar interferometry: The Landers earthquake*, J. Geophys. Res., 99, 19, 617-19,