

**İTERFEROMETRİK YAPAY AÇIKLIKLI RADAR TEKNİĞİNİN
JEODEZİDE KULLANILMASI**
(THE USE OF INTERFEROMETRIC APERTURE RADAR TECHNIQUE
IN GEODESY)

**Yavuz Selim ŞENGÜN
Ali KILIÇOĞLU**

ÖZET

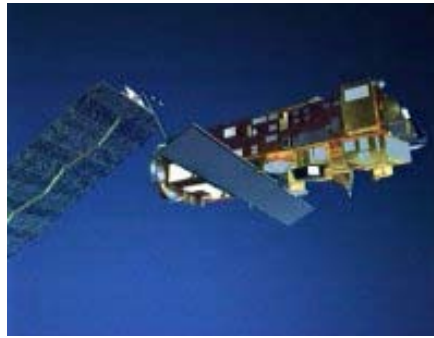
Son yıllarda InSAR (İnterferometik Yapay Açıklıklı Radar) tekniği gelişmeye başlamıştır. Bu teknik, SAR (Yapay Açıklıklı Radar) görüntülerini kullanmaktadır. InSAR tekniği yardımıyla; herhangi bir bölgeye ait orta çözünürlükte ve doğrulukta SYM (Sayısal Yükseklik Modeli), herhangi bir bölgedeki herhangi bir nedenden dolayı oluşabilecek deformasyon hassas bir şekilde belirlenebilir. Günümüze dek kullanılan tekniklerle InSAR yöntemi karşılaştırıldığında, InSAR yöntemi sadece uydunun bakış doğrultusundaki değişimleri vermesine rağmen bütün bölge için orta çözünürlükte bilgi sağlamaktadır.

ABSTRACT

Interferometric Synthetic Aperture Radar(InSAR) Technique has begun to develop in last years. This method uses Synthetic Aperture Radar (SAR) images. By the help of InSAR, DEM (Digital Elevation Model) of any area and deformation of any area that was caused by any reason can be determined with medium resolution and accuracy. If the method that had been used up to now compared with the InSAR, even if InSAR gives deformation in the line of sight of satellite, it can supply medium resolution and accurate data for the whole area.

1. GİRİŞ

Yapay Açıklıklı Radar (SAR) sistemleri son yirmi yıldır yüksek çözünürlüklü haritalama ve diğer uzaktan algılama uygulamaları için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. SAR sistemleri mikrodalga frekanslarında çalışıp, her hava koşulunda, aydınlatma kaynağını kendi sağladığı için gece ve gündüz yüzeyin geometrik ve elektriksel özelliklerini gösteren görüntüler sağlamaktadır /9/. Günümüzde bir çok ülke ve uzay ajansına ait uydu SAR sistemleri bir çok değişik araştırma için düzenli olarak veri sağlamaktadır. ENVISAT uydu SAR sistemine ait bir görüntü Şekil-1'de verilmiştir.



Şekil-1: ENVISAT uydu SAR sistemi

Klasik SAR sistemleri hedefin konumunu sadece iki boyutlu koordinat sisteminde belirleyebilir. InSAR tekniğinin gelişimi üçüncü boyutun ölçümüne de imkan sağlamıştır. İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (InSAR) ilk olarak Ayın topoğrafyasını ölçmek üzere

yere konuşlu radarlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir /12/. Massonet, 1993'de uydu SAR sistemleri kullanarak InSAR'ın yer yüzü deformasyonunu ölçme kabiliyetini gösteren ilk çalışmaları gerçekleştirmiştir. /10/. 1992 Landers depremi interferogramları InSAR'ın jeodezik araç olarak büyük potansiyelini göstermeye yetmiştir. Bu tarihten itibaren, teknik hızlı bir şekilde gelişmiştir.

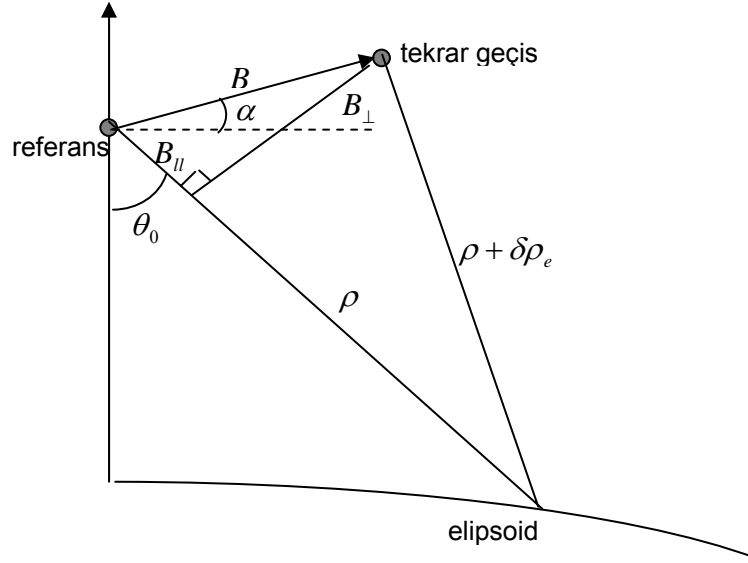
2. DEFORMASYON BELİRLEMEK VE SAYISAL ARAZİ MODELİ ELDE ETMEK İÇİN İNTERFEROMETRİK YAPAY AÇIKLIKLI RADAR YÖNTEMİNİN KULLANILMASI

InSAR, yeryüzündeki hedeflerin birbirinden biraz farklı görüntüleme geometrisi ile ölçülen mesafelerindeki farkın hesaplanabilmesi için iki SAR görüntüsünün faz farkının kullanıldığı bir yöntemdir. /4,13/. İnterferogram hedef alanın yüksekliği ile ilgili bilgi sağlayabileceği gibi iki görüntü alımı arasında meydana gelen yer menzil mesafesinde meydana gelebilecek küçük değişimler hakkında da bilgi sağlayabilir/1/. SAR görüntüsü, görüntüleme alanındaki hedeflerden yansıyan genlik ve fazların bir kayıdır. Genlik hedefin yansıma özelliklerini ifade ederken, faz hedefe olan mesafeye bağlı bir değerdir. InSAR; iki SAR görüntüsündeki birbirine karşılık gelen piksellerin fazlarının farkını belirler ve interferogram oluşturur /2/. InSAR uygulamak için uygun platformların listesi Tablo-1'de verilmiştir /5/.

Tablo-1: ΔT tekrar periyodu, H_{uydu} uydu yüksekliği, f_0 taşıyıcı frekansı

İsim	Yıl	ΔT (Gün)	H_{uydu} (km)	f_0 (GHz)
Seasat	1978	3	800	1.275
SIR-B	1984	-	235	1.282
Magellan	1989-92	değ.	290-2000	2.385
ERS-1	1991-92	3	790	5.300
	1992-93	35	790	5.300
	1993-94	3	790	5.300
	1994-95	168	790	5.300
	1995- 2000	35	790	5.300
ERS-2	1995-	35	790	5.300
JERS-1	1992-98	44	568	1.275
Radarsat	1995-	24	792	5.300
SRTM	2000	0	233	5.300
	2000	0	233	5.300
ENVISAT	2001-	35	800	5.300
ALOS		45	700	1.270
Radarsat-2		24	798	5.300

Radar interferometrisinde tek bir platformda iki anten olabileceği gibi, tek bir platform üzerindeki tek bir anten ile aynı yörüngeden geçiş tekrarlanarak görüntü alınabilir. İkinci durumda antenler konumsal ve zamansal olarak birbirinden ayrıdır (tekrar geçişli interferometri) ve tekrarlı geçişlerde ölçülen mesafe farklılıkları topoğrafya, yeryüzü deformasyonu ve atmosferik farklılıkları da içeren bir çok nedene bağlıdır/6/. İki anteni birbirine bağlayan doğruya interferometrik baz denir. (Şekil-2 ve Şekil-3)



Şekil-2: Topoğrafyanın ve yüzey deformasyonunun olmadığı bir elipsoid yeryüzü için InSAR geometrisi. ρ , elipsoid üzerindeki bir noktaya referans geçişinde olan mesafe. $\rho + \delta\rho_e$, aynı noktaya uydu tekrar geçişinde olan mesafe. θ_0 uydu bakış açısı. α baz yükseklik açısı. B , baz uzunluğu. $B_{||}$, bazın uydunun referans geçişindeki bakış doğrultusuna paralel olan bileşeni ve B_{\perp} ise bazın $B_{||}$ 'ye dik olan bileşenidir /8/.

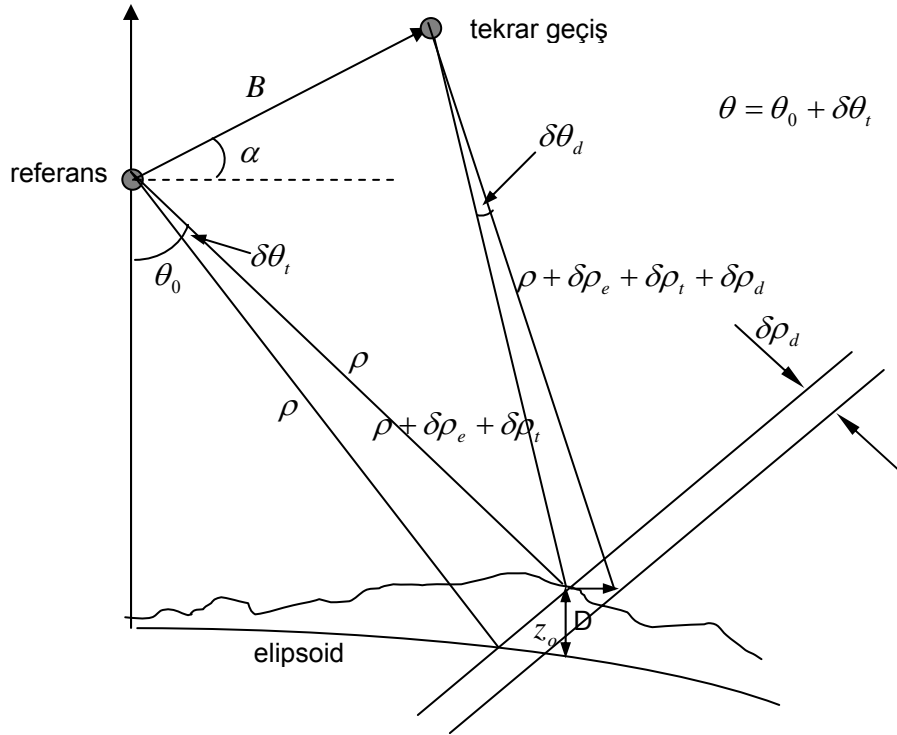
Topoğrafya ve deformasyonun InSAR geometrisi (Şekil-3) ile ilişki uydunun referans ve tekrar geçişleri arasında yeryüzünde olan bir noktaya ölçülen mesafedeki farktır ($\delta\rho$). Mesafedeki bu değişim ile interferometrik faz ϕ arasındaki ilişki ;

$$\phi = \phi_2 - \phi_1 = \frac{4\pi}{\lambda} \delta\rho \quad (1)$$

ϕ_1 , referans görüntüdeki faz ϕ_2 , tekrar görüntüdeki faz, ρ uydunun referans geçişinde hedefe olan mesafedir.

Eğer iki görüntüleme zamanı arasında deformasyon meydana gelmişse, ϕ ; $\delta\rho_e$ geometrik, $\delta\rho_t$ topoğrafik ve $\delta\rho_d$ deformasyonun mesafe değişimine katkılarının toplamı ile orantılıdır /14/;

$$\phi = \frac{4\pi}{\lambda} (\delta\rho_e + \delta\rho_t + \delta\rho_d) \quad (2)$$



Şekil-3: Topoğrafyası ve yüzey deformasyonu olan elipsoid yeryüzü için InSAR geometrisi.

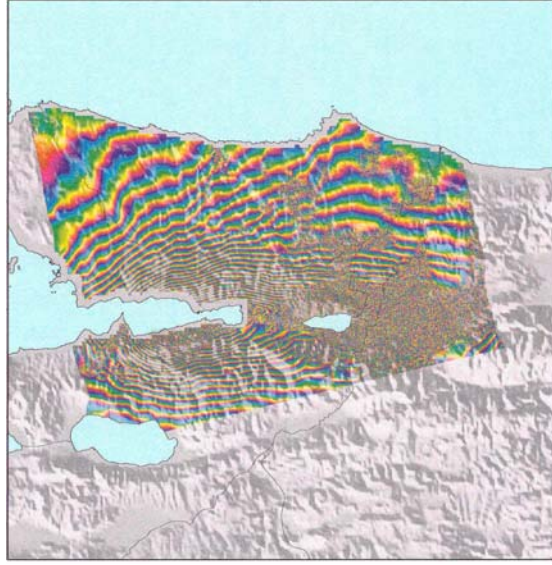
ρ , z_0 yüksekliğindeki bir noktaya uydunun referans geçişindeki mesafesi. $\rho + \delta\rho_e + \delta\rho_t$ aynı noktaya uydunun tekrar geçişindeki mesafe. $\rho + \delta\rho_e + \delta\rho_t + \delta\rho_d$, aynı nokta D kadar hareket ettikten sonra uydunun tekrar geçişindeki mesafe. θ_0 , referans elipsoide ρ mesafesi için bakış açısı. $\delta\rho_t$, topoğrafik açısal distorsiyon. $\delta\rho_d$ yerdeğiştirmenin açısal distorsiyonu. α , baz yükseklik açısı. B baz uzunluğu. Uydü tabanlı InSAR kullanılarak deformasyonlar ölçülürken, şekildeki üç mesafe ışını (referans elipsoide çizilen hariç) bir birine paralel kabul edilebilir. Bu sayede $\delta\rho_d$ sıfır alınabilir. InSAR, D yer değiştirmesinin uydunun bakış doğrultusundaki bileşeni $\delta\rho_d$ 'yi ölçer [8].

Topoğrafik ve geometrik katkılar giderildiğinde kalan fazın deformasyondan kaynaklandığı düşünülebilir. Yeryüzünde meydana gelen u yer değiştirme vektörünün radarın bakış doğrultusundaki bileşeni $\delta\rho_d$ ise, radar ile yer arasındaki mesafede $\delta\rho_d$ kadar bir değişim fazda ϕ kadar bir değişime neden olacaktır.

$$\phi = \frac{4\pi}{\lambda} \delta\rho_d = -\left(\frac{4\pi}{\lambda}\right) \hat{n} \cdot u \quad (3)$$

\hat{n} , gözlem noktasından uyduyu gösteren birim vektör

Yer değiştirme vektörünün, radarın bakış doğrultusundaki $\lambda/2$ büyüklüğündeki (ERS uyduları için 2.8 cm) bir değişimi $\phi = 2\pi$ büyüklüğünde bir frinçe sebep olacaktır. Frinç, her bir gri seviyesi boyunca ve içinde sabit bir faz farkına karşılık gelen konturlar kümesi olarak düşünülebilir. İzmit depremi ile ilgili olarak hesaplanan interferogram Şekil-4'de verilmiştir.



Şekil-4: İzmit Depremi için elde edilen interferogram

Eğer yeryüzünde herhangi bir deformasyon meydana gelmemişse bu durumda InSAR yeryüzü topoğrafyasını belirlemek için de kullanılabilir.

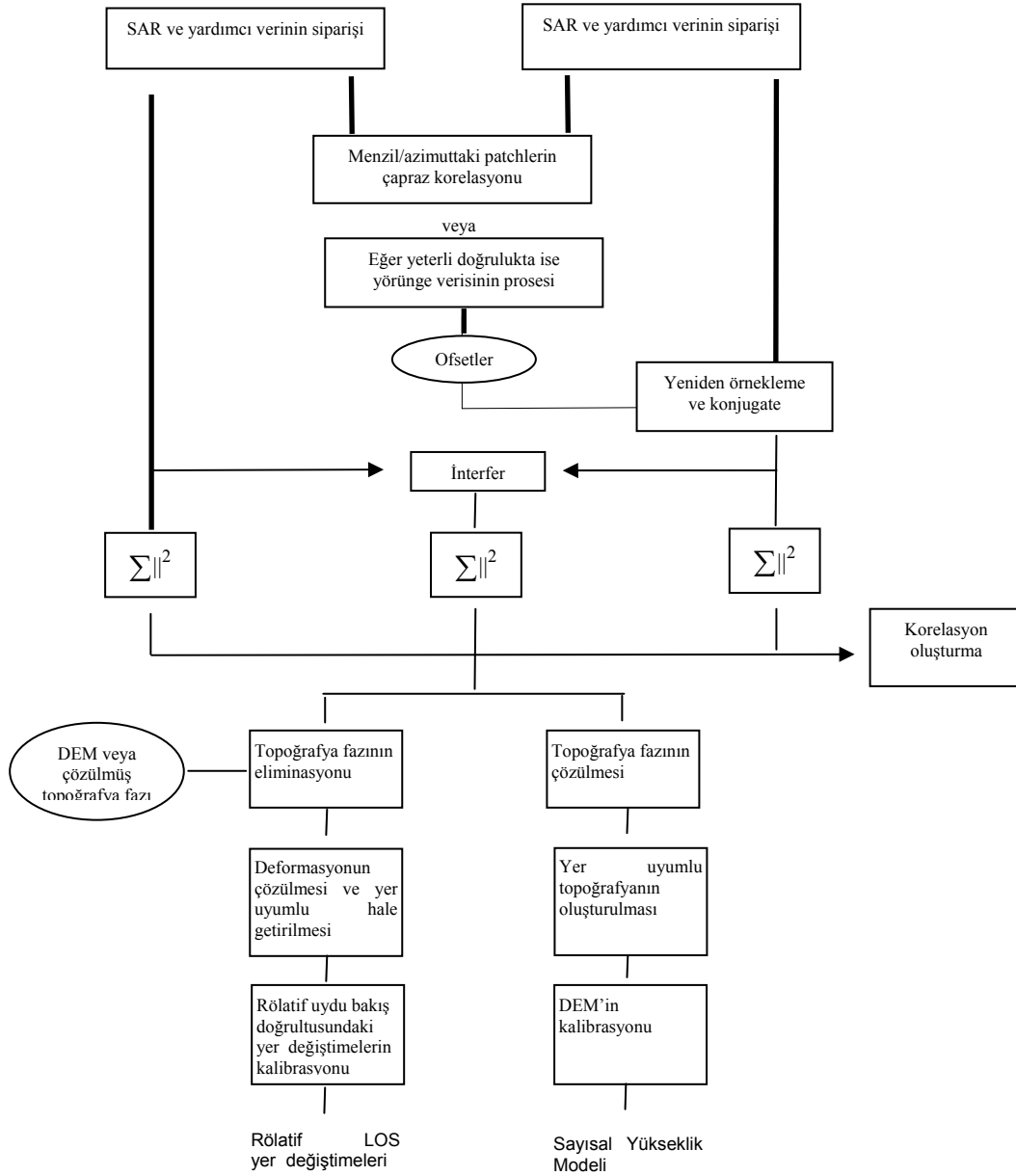
$$h_a = \frac{\rho \lambda \sin \theta}{2B_{\perp}} \quad (4)$$

h_a , yükseklik belirsizliği, fazda 2π değişime yol açacak topoğrafya yüksekliğidir.

Düzeltilme yapılmadığı sürece, eğer bir interferogramın B_{\perp} değeri sıfır değilse, topoğrafyaya sarıli enterferans frinçleri olacaktır. Bu frinçler, h_a aralığında kontur çizgileri gibi görünecektir. ERS için $h_a \approx 10^4 / B_{\perp}$ alınabilir. Bunun anlamı eğer uydular birbirinden 100 m uzaktaysa, topoğrafyanın her ~100 metresi için bir enterferans frinci oluşacaktır. Bu etki InSAR'dan topoğrafik modellerin çıkarılması için kullanılmaktadır. Deformasyonun ölçülmesi içinse topoğrafik fazın giderilmesi gerekmektedir. Bu da genellikle Sayısal Yükseklik Modeli kullanılarak yapılır. Eğer B_{\perp} değerleri küçük olursa büyük h_a değerleri elde etmek mümkün olacak ve yüzey değişim ölçümlerinde topoğrafik hatalar düşük kalacaktır.

InSAR tekniğinin topoğrafik haritalama için kullanımını en iyi örneği SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) verisidir. SRTM, bütün dünya için orta çözünürlüklü topoğrafik veri tabanı oluşturmak için planlanmış bir görevdir. SRTM, Şubat 2000'de Endeavour uzay mekiğinin üzerine modifiye edilmiş radarlar takılarak 11 gün içerisinde gerçekleştirilmiştir.

Topoğrafik veya deformasyon belirlemek amaçlı interferogram oluşturmanın aşamaları Şekil-5'de verilmiştir /2/.

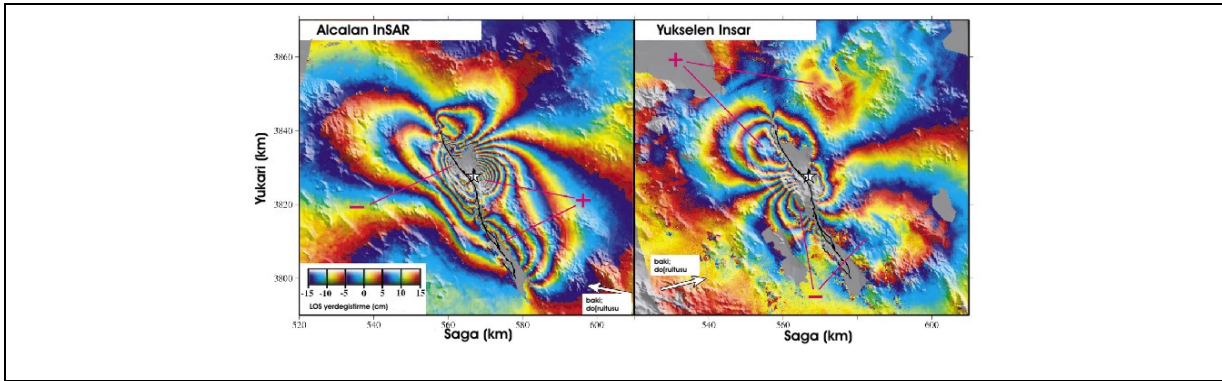


Şekil-5: Topoğrafik ve deformasyon belirlemek amaçlı interferogram oluşturma aşamaları

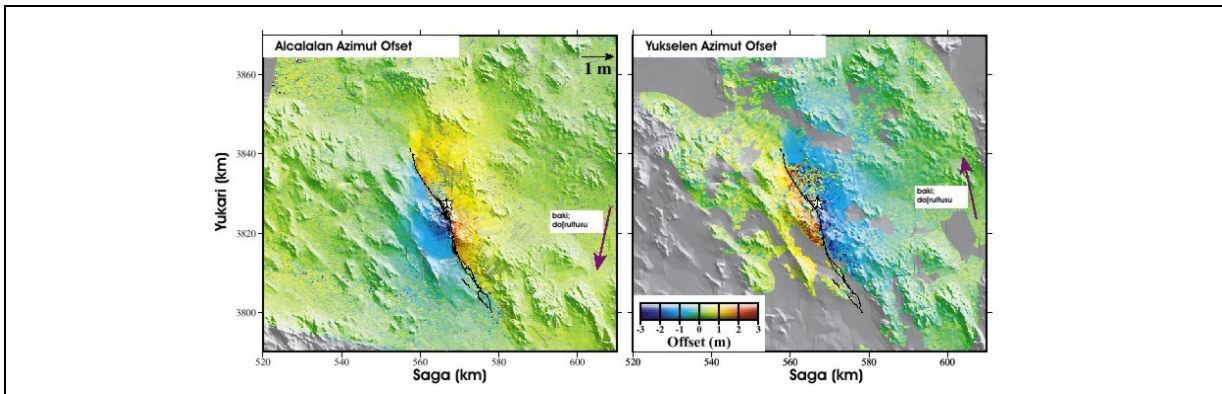
InSAR, bakış doğrultusundaki değişimleri ölçmektedir. Üç-boyutlu yer değiştirme vektörünü tek bir interferogramda belirleme yeteneği yoktur. Yer değiştirme vektörünün ek bir bileşenini daha ölçebilmek için, aynı bölgeye ait yükseliş (kuzeye hareket yönü) ve alçalış (güneye hareket yönü) interferogramlarının birlikte kullanılması gerekmektedir.

3. InSAR VE AZİMUT OFSET YÖNTEMLERİNİN BİRLİKTE KULLANILARAK ÜÇ BOYUTLU DEFORMASYON BELİRLENMESİ

İnterferogram oluşturulduğunda, iki radar görüntüsü alt piksel duyarlılığında görüntü görüntüye yataylanmış demektir. Düzenleme, iki radar genlik (yansıma) görüntüsündeki lokal bölgelerin çapraz korelasyonu ile sağlanır. Genellikle iki görüntünün üst ve alt bölgelerindeki ortalama kayıklıkları hesaplayıp aradaki bölgeyi doğrusal olarak enterpole etmek yeterlidir. Bununla birlikte birçok alt görüntü için iki genlik görüntüsü arasındaki kayıklıkları hesaplayıp kayıklık haritası oluşturmak mümkündür /11/. Bu kayıklık haritası yatay yer değiştirme miktarları büyük olduğunda yararlıdır. Bu ölçüler InSAR ölçülerine göre çok daha fazla gürültülü olmalarına rağmen, InSAR'ın bakış doğrultusuna dik doğrultuda bilgi sağlar. Aynı zamanda fay hatları için faya yakın bölgelerde InSAR'ın korelasyonsuzluk nedeniyle bilgi sağlayamadığı bölgelerde bilgi sağlar /3,7/. Yükseliş ve Alçalış InSAR verisinin azimut ofset verisi ile birlikte kullanılmasıyla üç boyutta yer yüzü hareketi elde edilebilmektedir. Yükseliş ve alçalış interferogramı için Şekil-6'a, azimut ofsete ise Şekil-7'e örnek verilmiştir.



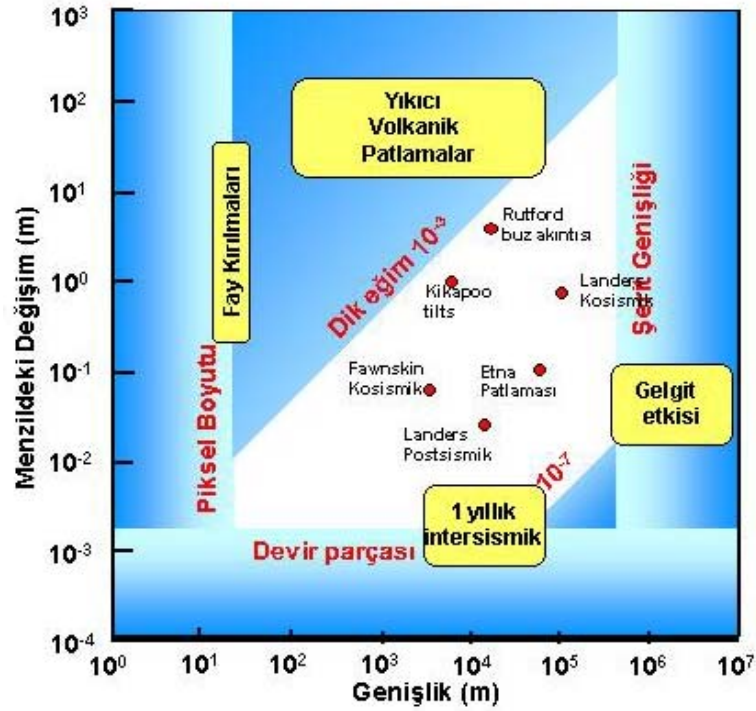
Şekil-6: Yükselen ve alçalın yörüngeler için örnek interferogram



Şekil-7: Yükselen ve alçalın yörüngeler için örnek azimut ofset verisi

4. InSAR'I SINIRLAYAN PARAMETRELER

Tespit edilebilen deformasyon tipleri, deformasyonun büyüklüğü ve konumsal ölçeğiyle sınırlıdır. Şekil-8 InSAR ölçülerinin mümkün olduğu alanı sınırlayan parametreleri göstermektedir. 5 tane fiziksel koşul tarafından sınırlandırılmaktadır/15/.



Şekil-8: InSAR'ı sınırlayan parametreler

a. Piksel Boyutu : Piksel boyutundan daha küçük bir uzunluk ölçeğinde oluşacak deformasyonlar tespit edilemez.

b. Şerit Genişliği : Yörünge doğrultusundaki birden fazla görüntü çerçevesi işenebilmesine rağmen, komşu şeritlerin birleştirilmesi zordur. Çünkü interferogramların farklı alım zamanları olacaktır ve aynı zamanda birleşim yerindeki bakış doğrultusu vektöründe keskin bir değişim olacaktır.

c. Dik Gradyenti: Sadece iki piksel arasındaki rölatif faz farkını ölçebildiğinden ve faz $\pm \pi$ arasındaki değerleri alabildiğinden, tespit edilebilecek deformasyonun gradyentinde sınırlamalarla karşılaşmaktadır.. İnterferogramdaki komşu pikseller arasındaki π radyandan daha büyük ($\Delta r = \lambda/4$) faz değişimlerini tespit edilemez. Bu, ERS için menzil doğrultusundaki gerilim bileşeni olarak üst limit $\sim 10^{-3}$ lük bir değere karşılık gelmektedir.

d. Düşük Gradyent :Tek bir görüntüdeki deformasyon miktarı ~ 1 frinçden daha küçükse, genelde yörüngeden kaynaklanan ölçü hataları içerisinde bunu tespit etmek zordur.

e. Devrim parçası : Frinçin onda birinden daha küçük ayrılmış fazları ayırt etmek zordur. Bu ERS uydusundaki gibi C-band radar kullanılarak bir kaç milimetrelik tespit edilebilecek deformasyon miktarının alt sınırını koymaktadır.

5. SONUÇLAR

InSAR her geçen gün daha da gelişen bir tekniktir. Orta çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli ve deformasyon haritalarını bu teknikle belirlemek mümkündür. Bu teknikle birlikte

azimut kayıklık verisi de kullanılmasıyla üç boyutlu deformasyon haritalarını elde etmek mümkündür.

Interferometri ile ilgili çabalar tekniğin daha güçlü ve güvenilir olması yönünde odaklanmıştır. Ayrıca sadece interferometri için kullanılacak SAR sistemleri planlanmaktadır.

Ayrıca InSAR ölçüleri ile birlikte GPS ölçülerinin birlikte kullanılmasıyla, InSAR'ın hata kaynaklarının bir kısmını gidermek mümkün olmaktadır.

Sonuç olarak, InSAR, deformasyon belirleme ve sayısal yükseklik modeli oluşturma konusunda diğer yöntemlere olan avantajları nedeniyle her geçen gün daha fazla ilgi toplamaktadır. InSAR en doğru ölçü yöntemi olmamasına rağmen, en umut verici olanıdır. Bu teknolojinin, deformasyon haritalama ve sayısal arazi modeli oluşturmanın etkili ve ekonomik yolu olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- /1/ Allen, C. : Interferometric Synthetic Aperture Radar, University of Kansas, Review,2000
- /2/ Burgmann,R., Rosen,P., Fielding,E. : Synthetic Aperture Radar Interferometry To Measure Earth's Surface Topography And Its Deformation, Annu.Rev.Earth Planet.Sci.28:169-209
- /3/ Funning,G., Parsons,B., Wright,T., Jackson,J.A., Fielding,E. : Surface displacements and source parameters of the 2003 Bam(Iran) earthquake from Envisat ASAR imagery, Draft,2004
- /4/ Graham, L. C. : Synthetic interferometer radar for topographic mapping, *Proc. IEEE*, 62, 763-768, 1974
- /5/ Hanssen,R. : Radar Interferometry, Kluwer Academic Publishers Dordrecht,2001
- /6/ Johnsson,S. : Modeling volcano and earthquake deformation from satellite radar interferometric observations, Stanford University, Ph.D. Thesis,2002
- /7/ Jonsson,S., Zebker,H., Segall,P.,Amelung,F. : Fault Slip Distribution of the 1999 M_w 7.1 Hector Mine, California, Earthquake, estimated from satellite radar and GPS Measurements, Bulletin of the Sismological Society of America, Vol.92, No.4,pp.1377-1389.
- /8/ Price,E. : Coseismic and postseismic deformations associated with the 1992 Landers California Earthquake measured by Synthetic Aperture Radar Interferometry,University of California,Ph.D.Thesis,1999

- /9/ Rosen,P., Hensley,S., : Synthetic Aperture Radar Interferometry, Proceedings of the IEEE,vol.88,No.3,pp.333-382
Joughin, I., Li, F.,
Madsen, N., Rodriguez,
E., Goldstein,R.
- /10/ Massonet,D., Rossi,M., : The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. Nature,364,138-142
Carmona,C., Adragna,
F., Peltzer,G., Feigl,K.,
Rabaute,T.
- /11/ Michel,R., Avouac,J., : Measuring ground displacements from SAR amplitude images: application to the Landers earthquake,Geophys,Res.Lett.26,875-878
Taboury,J.
- /12/ Shapiro,I.I., Zisk,S.H., : Lunar topography:global determination by radar.
Rogers,A.E.E.,
Slade,M.A., ve
Thompson,T.W
- /13/ Zebker, H. A., and : Topographic Mapping From Interferometric Synthetic
R.M. Goldstein Aperture Radar Observations, *J. Geophys. Res.*, 91, 4993-4999, 1986
- /14/ Zebker, H. A., P.A. : On the derivation of coseismic displacement fields using
Rosen, R.M. Goldstein, differential radar interferometry: The Landers
A. Gabriel, and C.L. earthquake, *J. Geophys. Res.*, 99, 19,617-19,643, 1994.
Werner
- /15/ Wrigt, Timothy : Crustal Deformation in Turkey from Synthetic Aperture
Radar Interferometry, University of Oxford,
Ph.D.Thesis,2000