

SAR GÖRÜNTÜLERİNDEN ÜRETİLEN İNTERFEROMETRİK VE STEREO SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNİN KALİTESİNİN İNCELENMESİ

S.Abdikan¹, F.Balık Şanlı², Z.Alkış³, A. Alkış⁴

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Böl., Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Anabilim Dalı, İstanbul
sabdikan@yildiz.edu.tr

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Böl., Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Anabilim Dalı, İstanbul
fbalik@yildiz.edu.tr

³Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Böl., Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Anabilim Dalı, İstanbul
zubeyde@yildiz.edu.tr

⁴Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Böl., Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Anabilim Dalı, İstanbul
alkis@yildiz.edu.tr

ÖZET

Doğru, hızlı bilgi üretilmesi, geleceğe ait kestirim hesaplarının yapılması, çevre ve kentsel planlama ile arazi kullanımına çok büyük yardımcı olması bakımından uydu görüntüleri arazi yapısı hakkında geniş bilgi sağlamaktadır. Aktif ve pasif algılama sistemine sahip uzaktan algılama, geniş alanları kapsamaları bakımından araziye ait sayısal yükseklik bilgisinin üretilmesinde sıkça kullanılmaktadır. Aktif algılama sistemi, kendi ışın kaynağını ürettiği için pasif algılama sistemine göre avantajları vardır. Tüm hava koşullarında ve gece, gündüz görüntü alımı en önemli özelliğidir.

Bu çalışmada İnterferometrik SAR (İnSAR) ve Stereo SAR çiftlerinden üretilen sayısal yükseklik modellerinin (SYM) kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Uygulama için C bandında ve yatay yatay (HH) polarizasyonda alınan stereo SAR ve İnSAR RADARSAT görüntüleri kullanılmıştır. Bu amaçla stereo SAR çiftinden ve İnSAR çiftinden üretilen SYM ler karşılaştırılmıştır. Doğruluk analizleri, 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen SYM referans alınarak belirlenmiştir. SYM üretiminde yer kontrol noktaları (YKN) kullanılmış ve nokta sayısı arttıkça sonuç ürün değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. Her iki yöntemde de eğim arttıkça doğruluk azalmaktadır. Ancak stereo yöntem düz alanlarda daha iyi sonuç verirken interferometrik yöntem yüksek bölgelerde daha iyi sonuç vermiştir.

Anahtar Sözcükler: Stereo SAR, İnterferometrik SAR, SYM, RADARSAT

ABSTRACT

QUALITY ASSESSMENT OF DEMs GENERATED FROM INTERFEROMETRIC SAR AND STEREO SAR

Satellite images give wide information about the land structure that is useful and also manageable for generating true, high speed info generation, forecasting on future, environment and urban planning. Remote sensing has two systems that are active and passive systems. These systems used frequently because of covering large areas that is very handle to generate digital elevation model (DEM). Active systems which produce their own electromagnetic energy have some advantages. Capabilities of collecting data in nearly all atmospheric conditions, by day and/or night are the main properties of active systems.

Destination of this research is accuracy assessments of DEMs that are generated from SAR Interferometry (InSAR) and Stereo SAR. For this application, horizontal (HH) polarized C band stereo SAR and InSAR RADARSAT images are used. DEMs that are generated by stereo SAR and InSAR are compared. A DEM, which was generated from 1/25.000-scaled topographic maps, is used for the accuracy assessments. When generating DEM ground control points (GCP) are used and noticed that GCPs increases the accuracy of generated DEMs. As a conclusion both stereo and interferometric methods showed that accuracy is decreased depending on increase of height. For this research it is evaluated that stereo method is better at flat areas and interferometric method is better for high areas.

Keywords: Stereo SAR, SAR Interferometry, DEM, RADARSAT

1. GİRİŞ

Sayısal Yükseklik Modeli, yeryüzünü matematiksel olarak tanımlamamamıza yardımcı olan, düzenli/düzensiz aralıklarda bir seri yükseklik ölçümü ile yüzeyi üç boyutlu olarak en iyi şekilde göstermek için oluşturulan bir şekildir.

SAR GÖRÜNTÜLERİNDEN ÜRETİLEN İNTERFEROMETRİK VE STEREO SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNİN KALİTESİNİN İNCELENMESİ

Sayısal Yükseklik Modelleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri için en yaygın yükseklik bilgisi saklama yöntemidir. SYM' nin başlıca uygulamaları arasında, arazi eğimi, baki, drenaj ağı, havza sınırları, görünürlük analizi gelmektedir.

Üç boyutlu yer koordinatlarının elde edilebilmesi için hem stereo SAR hem de InSAR tekniğinde hedef bölgeye ait, farklı bakış geometrisi ile alınmış iki ya da daha fazla görüntüye ihtiyaç duyulur. Bulut, sis, pus gibi etmenlerden etkilenmeden gece ve gündüz görüntü alma özelliğine sahip yapay açıklıklı radar (SAR), optik sistemlerin yeterli olmadığı ya da problemli bölgelerde alternatif/bütünleyici bir sistem olarak kullanılmaktadır.

Radargrametrik değerlendirme de denilen stereo SAR analizi ve interferometri, radar görüntüleri kullanılarak SYM üretmede kullanılan iki yöntemdir. Radar görüntülerinin genlik bilgisini kullanan Stereo SAR tekniğinin temeli, optik sistemlerdeki stereo yaklaşımıyla aynıdır. SAR geri saçılım verileri geliş açısına bağlı olarak değişmektedir. Optik sistemlerde olduğu gibi SAR görüntülerinden yükseklik bilgisi, bindirmeli olarak alınan iki SAR görüntüsünden elde edilir. Ancak görüntü üretmede görüntüler arasındaki korelasyonu kullanan SAR algılayıcılarında gerekli koşullar optik görüntülerden farklıdır. Radar algılayıcılarının geometrik ve radyometrik olarak farklı ışın modlarında görüntü alması farklı şekillerde stereo model oluşturulmasını sağlar (Toutin, 2000).

Stereo SAR tekniği radar görüntülerinden yükseklik bilgisi üretmek için kullanılan ilk yöntemdir. Stereo yöntem kullanımı 1960'lı yıllarda başlamıştır (La Prade, 1963). Daha sonra stereo SAR'ın fotogrametri ile olan benzerliği göz önüne alınarak teorik hata analizleri yapılmıştır (Rosenfield 1968, La Prade 1970). Bu çalışmaları 1983'te Kaupp vd. ile 1986 Leberl vd. nin çalışmaları izler. Leberl (1990) çalışmalarında radargrametrinin temellerini araştırmış. Stereo SAR çalışmalarında en çok kullanılan ve Kanada'nın ilk yer gözlem uydusu olan RADARSAT 1995'te fırlatılmıştır. Geniş geliş açısı özelliğine (10°-60° arasında değişen) ve farklı modlarda görüntü alabilme olanağına sahip RADARSAT ile daha doğru stereoskopik alımlar sağlanabilmektedir. Daha önce 1992'de fırlatılan ERS uydusu görüntüleri ile de stereo çalışmalar yapılmıştır ancak geliş açısı değerlerindeki kısıtlamalar nedeniyle (23° ve 35°) çalışmalar sınırlı kalmıştır. RADARSAT'ın fırlatılmasıyla stereo tekniği ve SYM üretimi ile ilgili pek çok araştırma yapılmıştır.

İnterferometrik SAR tekniği, SAR görüntüsünden farklı olarak genlik bilgisi ile birlikte faz bilgisine de sahiptir. Dünya yüzeyinin 3boyutlu'lu (3B) modelini oluşturmak için kompleks radar verisinin sinyallerindeki faz bilgisi kullanılır. (Gens ve Van Genderen, 1996). İnterferometri ile ilgili ilk çalışmalar 1970'li yıllarda başlamıştır (Rogers ve Ingalls 1969, Graham 1974). Şu anda interferometrik SAR verileri yan bakış geometrisi ile uçak, uzay mekiği ya da uydulara yerleştirilen algılayıcılar ile elde edilebilmektedir. Genel InSAR tekniği Gens ve Van Genderen (1996), Bamler ve Hartl (1998), Massonnet ve Feigl (1998) çalışmalarında verilmiştir.

Bu çalışmada SAR Görüntüsünden Üretilen İnterferometrik ve Stereo SYM'lerinin Kalitesinin incelenmesi araştırılmıştır. Aynı bölgeye ait SAR görüntüleri kullanılarak InSAR ve stereo SAR yöntemleri ile üretilen SYM'lerin, 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen SYM referans alınarak kalitesinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada 1995 yılında CCRS tarafından fırlatılan RADARSAT-1 görüntüleri kullanılmıştır. 2002 yılına ait bir çift SGF formatındaki Fine Beam SAR görüntüsünden üretilen SYM ile 2002 yılına ait bir çift SLC formatındaki Fine Beam İnterferometrik SAR görüntüsünden üretilen SYM karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada referans SYM olarak 1/25.000 ölçekli haritadan sayısallaştırılan SYM kullanılmıştır.

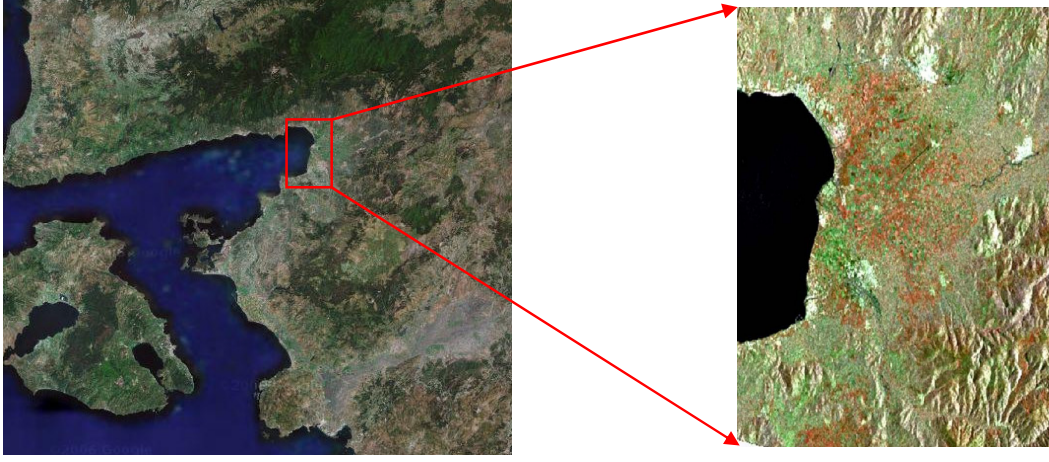
2. STEREO SAR GÖRÜNTÜLERİNDEN SYM ÜRETİLMESİ

2.1 Çalışma Bölgesi

Çalışma bölgesi Edremit körfezinden başlayarak, Edremit ilçesi kıyı ve doğusundaki eğimli arazileri içermektedir. Edremit ovası, düz düze yakın eğimli, verimli arazilerden oluşmaktadır. Çalışma alanının kuzey doğusunu ve güney doğusunu genel olarak engebeli, dağlık alanlar oluşturmaktadır. Orta düz düze yakın bölgelerde yerleşim bölgeleri ve tarım alanları bulunmaktadır.

Araştırma alanı kuzey ve güney sınır bölgelerini zeytin, maki funda, mera ve orman kullanımlı eğimli araziler, orta bölgelerini ise düz-düze yakın eğimli, buğday, pamuk vb tarımı yapılan araziler oluşturmaktadır. Saha genel hatları ile engebeli bir topografya özelliğini göstermektedir. Yer yer 2000 m. ye ulaşan dağlar bulunmaktadır (Şekil:1).

Uygulamada kullanılan veriler RADARSAT uydusuna ait SGF formatında bir çift stereo SAR ve SLC formatında bir çift interferometrik SAR görüntüsüdür. Referans alınan yükseklik modeli 1/ 25.000 ölçekli haritadan üretilmiş sayısal yükseklik modelidir.



Şekil 1: İzmit Körfezi

	STEREO		İNTERFEROMETRİ	
GÖRÜNTÜ				
ID	M0292196	M0282948	M0292197	M0292198
Alım tarihi	16.05.2002	06.05.2002	16.05.2002	09.06.2002
Yörünge izi	34080 Alçalan	33937 Alçalan	34080 Alçalan	34423 Alçalan
Işın Modu	SAR Fine1	SAR Fine5	SAR Fine1	SAR Fine1
Tipi	SGF	SGF	SLC	SLC
Satır sayısı	9083	10093	11053	11108
Piksel sayısı	7120	6028	5965	5692
Piksel boyutu	6.250m.	6.250 m.	4.638×5.1m	4.638×5.1m
Merkezi	39°33'N 27°01'E	39°32'N 27°04'E	39°32'N 27°01'E	39°34'N 27°01'E

Tablo 1: SAR görüntü çiftlerinin özellikleri

2.2 Stereo SAR Görüntülerinin Değerlendirilmesi

SAR görüntülerinin stereo değerlendirilmesi pasif görüntülerin değerlendirilmesine benzese de işlem adımlarında farklılıklar vardır. Bir çift hava fotoğrafını ya da uydu görüntüsünü stereo görme, temelde X paralaksına ve paralaktik açılara dayanır. X paralaksı görüntü alımında yapılan konum kayıklığıdır. Bir noktanın paralaksı, o noktanın yüksekliğine bağlıdır ve görüş açısına bağlı olarak yüksek yerlerdeki paralaks daha fazladır.

Temel stereo alım geometrisi Şekil 2.a'da gösterilmiştir. Radar sisteminde Doppler merkezi bakış açısı ve eğik uzaklık değerlerini etkileyen bir parametredir. Bu parametre ile birlikte yörünge modeli, hedef noktanın üç boyutlu konum vektörünü elde etmede kullanılır. Standart jeodezik eşitliklerden üç boyutlu konum vektörü harita koordinatlarına dönüştürülür. Yükseklik doğruluğu mekansal çözünürlüğe ve stereo bakışlar arasındaki bakış açısına bağlıdır.

Şekil 2.b'de gösterilen h yüksekliğindeki bir nesnenin stereo alım geometrisi gösterilmektedir. “ θ_1 ” ve “ θ_2 ” sırasıyla iki alım konumundaki ışınların geliş açılarıdır. Hedef nesnenin gerçek konumundan olan yer değiştirmesi I. konumda x_1 , II. konumda x_2 dir;

$$x_1 = h * \cot \theta_1 \quad (1)$$

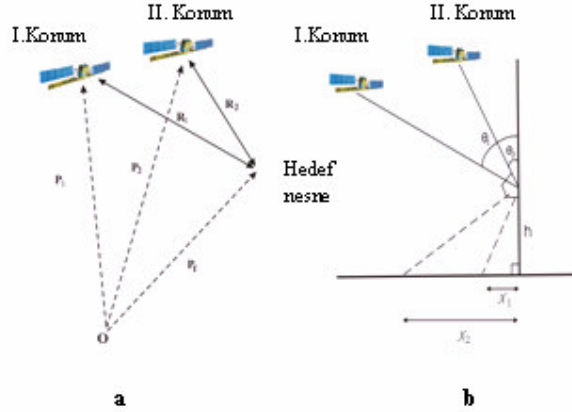
$$x_2 = h * \cot \theta_2 \quad (2)$$

İki konum arasındaki yer değişim farkı ile p, konumsal çözünürlük belirlenir;

$$|x_2 - x_1| = p \quad (3)$$

Bu eşitlik, verilen herhangi bir konumsal çözünürlük ve geliş açısına bağlı olarak stereo SAR ile h minimum yükseklik farkının bulunmasında kullanılabilir;

$$h = p / (\cot \theta_2 - \cot \theta_1) \quad (4)$$

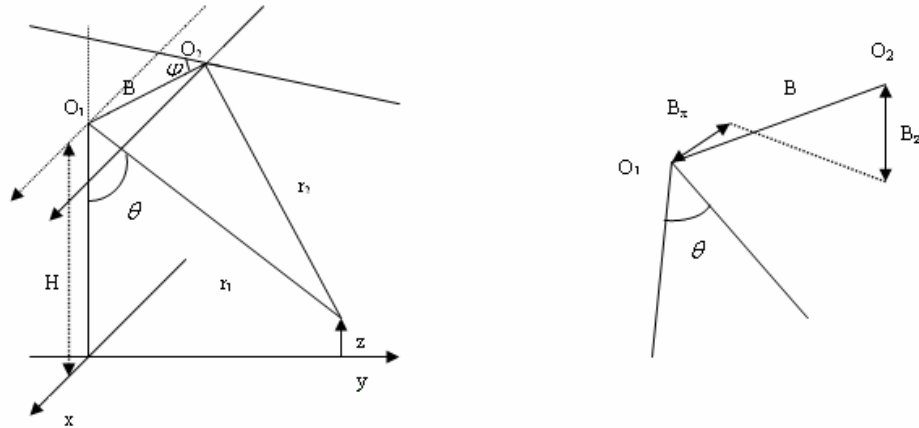


Şekil 2: Aynı yönlü stereo SAR alım geometrisi (Min Ho Ka vd, 2001)

Aynı yönlü stereo çiftlerin kullanımı radyometrik ve geometrik uyumsuzluğu azaltır ancak yan bakışlı SAR uyduları eğik alım yaptıkları için eğik uzaklık yer uzaklığına dönüştürülmelidir.

2.4 İnterferometrik SAR Görüntülerinin Değerlendirilmesi

SAR interferometrisi, SAR görüntüsünden farklı olarak genlik bilgisi ile birlikte faz bilgisine de sahiptir. Kompleks bir yapıya sahip olan radar sinyalleri gerçel (Re = real) ve sanal (Im = imaginary) kısımlardan oluşan bir vektör olarak ifade edilir. Bu vektörün uzunluğu genlik (amplitude) ve yönü ise faz bilgisini verir. İnterferometrik veri işlemede genellikle tek aralıklı kompleks veri (Single Look Complex) yani SLC formatında görüntüler kullanılır. Dünya yüzeyinin üç boyutlu modelini oluşturmak için kompleks radar verisinin sinyallerindeki faz bilgisi kullanılır. Genel InSAR geometrisi Şekil 3.'de gösterilmiştir.



Şekil 3: InSAR alım geometrisi (Gens ve Van Genderen, 1996)

O₁ ve O₂ konumunda görüntü alan algılayıcılar, antenlerin yörünge izlerinin farklı olmasından dolayı farklı alım geometrilerine sahiptirler.

Aynı bölgeye ait, iki anten alımı ile elde edilen sinyallerin fazlarının farkı $\Delta\phi$, λ dalga boyu, r_1 ve r_2 antenden hedef nesneye olan uzaklıklar olmak üzere faz farkı (5) eşitliği ile bulunur;

$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda} (r_2 - r_1) = \frac{4\pi}{\lambda} (B_x \sin \theta - B_z \cos \theta) \quad (5)$$

Uydular arası uzaklık olan B bazının bileşenleri B_x ve B_z, θ sinyal geliş açısı, H uydusu uçuş yükseklik değeri, ψ baz eğim açısı olmak üzere hedef nesne yüksekliği (6) eşitliği ile elde edilir;

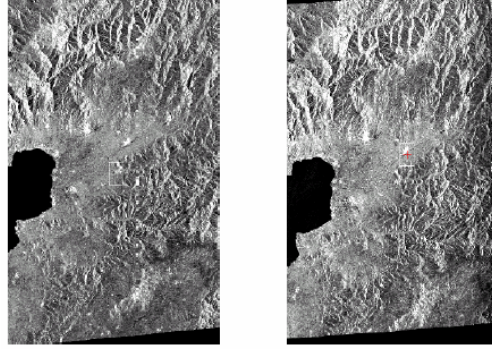
$$z = H - r_1 \cos \theta = H - r_1 \left(\cos \psi \sqrt{1 - \sin^2(\theta - \psi)} - \sin \psi \sin(\theta - \psi) \right) \quad (6)$$

$\Delta\theta$ faz farkı, O_1 ve O_2 uydu geçişleri arasındaki bağıl farkı veren bir interferogramda örge (fringe) dokusu şeklinde görüntülenir. Kompleks SAR görüntülerinin yataylanması, uyumluluk (coherence) görüntüsünün oluşturulması, interferogramın üretilmesi, dünya düzlük etkisinin (earth flat removal) giderilmesi, faz belirsizliğinin (phase unwrapping) de giderilmesinden sonra z yükseklik bilgisi üretilir (Kyurazi, 2005).

3. SAR GÖRÜNTÜLERİNDEN SYM ÜRETİLMESİ

3.1 Stereo SAR Görüntülerinden SYM Üretilmesi

Bu çalışmada, RADARSAT görüntülerinden SYM üretmek için PCI Geomatica yazılımının Ortho Engine modülü kullanılmıştır. Stereo model, Th. Toutin (1995), tarafından geliştirilen parametrik geometrik model kullanılarak oluşturulmuştur. Stereo model oluşturma işlemi, iteratif olarak uygulanan en küçük kareler ışın demetleri ile dengeleme yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Işın demetleri ile dengeleme işlemi geometrik model parametrelerinin monoskopik ya da stereoskopik olarak toplanan yer kontrol noktaları (YKN) ve bağlama noktaları (BN) yardımı ile iyileştirilmesine olanak vermektedir. Bu amaçla YKN ve BN toplanmıştır. X,Y,Z koordinatları bilinen YKN, sadece Z yükseklik bilgisine sahip noktalar ve kartografik koordinatları bilinmeyen BN toplanmıştır. YKN'ların koordinatları GPS ve sayısal topografik harita kullanılarak elde edilmiştir. YKN'ları toplandıktan ve geometrik model her iki görüntü için hesaplandıktan sonra epipolar görüntüler oluşturulmuştur (Şekil 4). Görüntü işleme sonucu stereo keşişim alanı oluşturularak iki görüntüde bulunan piksellere ait veriler yükseklik bilgisine dönüştürülmüştür.



Şekil 4: Epipolar örneklenmiş sağ ve sol görüntüler

Yükseklik paralaksının ve SYM'nin elde edilmesi için alan tabanlı otomatik görüntü eşleme tekniği kullanılarak ve her bir görüntüdeki gri değerler karşılaştırılmıştır. UTM projeksiyon sistemindeki kartografik koordinatlar, ED-50 datum parametreleri kullanılarak elde edilmiştir.

ARTIK HATALAR			
	Nokta Sayısı	X _{RMS} (m.)	Y _{RMS} (m.)
GCP	89	5.26 (0.82 pixel)	6.19 (1.00 pixel)
TP	105	0.62 (0.19 pixel)	2.45 (0.41 pixel)
Sol görüntü için artık hatalar			
GCP	46	4.64 (0.74 pixel)	5.44 (0.87 pixel)
TP	105	0.62 (0.20 pixel)	2.46 (0.42 pixel)
Sağ görüntü için artık hatalar			
GCP	43	5.90 (0.91 pixel)	6.96 (1.14 pixel)
TP	105	0.62 (0.18 pixel)	2.46 (0.40 pixel)

Tablo 2: Stereo SAR için hata analizi

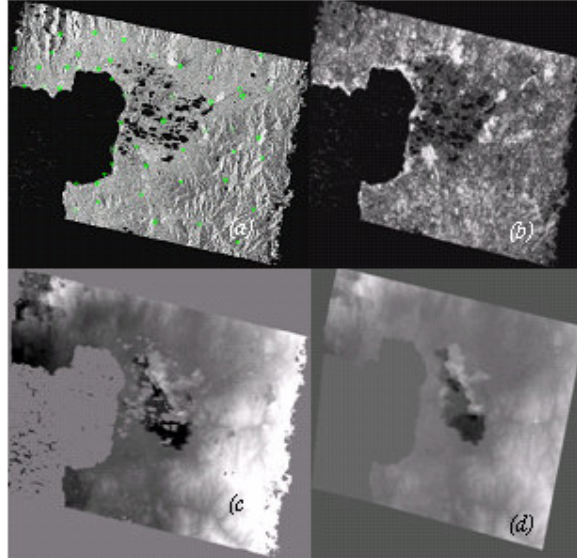
Çalışmada kullanılan YKN'ları 1/25000 ölçekli topografik haritadan toplanmıştır. Kartografik koordinatların konum doğruluğu yaklaşık 5m. dir. Radar görüntülerinin piksel çözünürlüğü 6.25 m. olduğu için 1/25000 ölçekli topografik haritalar uygun doğruluktadır. Topografik haritalardan ve ortorektifiye edilmiş görüntülerden toplam 89 nokta YKN toplanmıştır. F1-F5 modlarındaki görüntü çiftinden toplam 105 BN toplanmıştır. Ayrıca bir tanesi köşe yansıtıcı olmak üzere 7 GPS noktası kullanılmıştır. Bunlara göre elde edilen SYM'nin hata analizi Tablo 2.'de ki gibidir.

SAR GÖRÜNTÜLERİNDEN ÜRETİLEN İNTERFEROMETRİK VE STEREO SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNİN KALİTESİNİN İNCELENMESİ

Çalışmada kullanılan RADARSAT görüntüleri gürültü içermektedir ve eğimli topografya nedeniyle radyometrik hatalar içermektedir. Bu hatalar her bir piksel için başarılı bir eşlemeyi engellemektedir. Sonuç ürüne yüksek (H), orta (M) ve düşük (L) detay adımları denenmiştir. Eğer arazi düze yakın ise L detay, eğimli bölgelerde ise M detay kullanılmıştır. Piksel örnekleme boyutunun seçilmesiyle de sonuç SYM ürününün piksel boyutu belirlenir. Burada arazi tipi doğruluğu etkileyen bir faktördür, arazi eğimi arttıkça görüntüler arasındaki farklılık değişiminden dolayı görüntü eşleme yapılamamaktadır. Düz ve belirli özelliği olmayan tarım arazileri gibi bölgelerde görüntü eşleme için yeterli doku olmadığı için sorunlar çıkmaktadır. Bu nedenle F1 ve F5 ışın modunda alçalan yönde alınan RADARSAT görüntü çifti için farklı parametreler kullanılarak SYM uygulamaları yapılmış ve RADARSAT F1-F5 çifti için 2L (2 piksel-düşük) ve 4M (4 piksel-orta) denemeleri ile SYM üretilmiştir. Sonuç ürün çözünürlükleri 12.5m ve 25 m.dir.

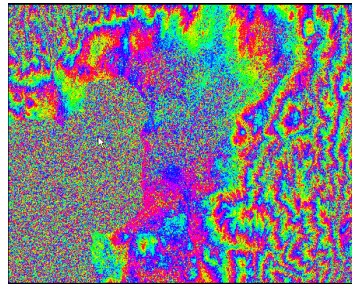
3.2 İnterferometrik SAR Görüntülerinden SYM Üretilmesi

SYM üretmek için kullanılan InSAR çifti RADARSAT F1 ışın modunda ve stereo çiftin kapladığı bölgeyi kaplayan görüntülerdir. RADARSAT görüntüleri tek anten ile farklı zaman aralıklarında aynı bölgenin farklı anten konumunda geri saçılımların kaydedilmesiyle elde edilir. Uydu bir alanı iki kere görebilmek için aynı yörüngeden çok az farklı bir geometri ile geçmek zorundadır. Tekrarlı geçiş interferometrisi, görüntülerin zamansal ve konumsal uyumluluk (coherence) özelliklerini kullanarak arazi yüzeyine ait konumsal ve dielektrik özelliklerin yakalanmasına olanak sağlamaktadır (Rosen, 2000).



Şekil 5: (a) Genlik görüntüsü ve YKNler, (b) Uyumluluk görüntüsü, (c) InSAR SYM, (d) İyileştirilen InSAR SYM

Şekil 5-b’de gösterilen uyumluluk haritası, görüntüler arasındaki korelasyonu gösterir. Uyumluluk görüntüsünün oluşturulma sürecinde kullanıcının değiştirebileceği parametreler çok sınırlıdır. Çözünürlük kernel operatörü ile belirlenir. Seçilen pencere boyutuna göre uyumluluk haritası oluşturulabilir, pek çok denemeden sonra kernel boyutu 144 piksel seçilmiştir. Uyumluluk değerleri 0-1 arasında değişir ve düşük değerler siyah renktedir, orta bölüm, alt ve üst sol bölüm düşük uyumluluk değerlerine sahiptir. Görüntünün alt ve üst sol yerlerinde dağlık ve eğimli bölgeler, orta yerlerinde ise tarım alanları bulunmaktadır. Uyumluluk haritası ile birlikte diğer bir ara ürün olan interferogram da üretilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6: Interferogram

Faz belirsizliğinin giderilmesinde iteratif disk maskeleme algoritması kullanılmıştır. Yöntem, düşük uyumluluk değerinin olduğu piksel merkez alınarak artık fazın yer aldığı bölgede dairesel ya da eliptik şekilde uygulanır. Fazın süreksizliği kaybolana kadar disk çapı küçültülür. Disk yarıçapı düşük uyumluluk değerine sahip pikseli maskelemek için kullanılır. Eğer bir piksel uyumluluk esik değerinin altındaysa belirlenen disk yarıçapına göre maskelenir. (EV-InSAR User Guide 2004).

Faz belirsizliğinin giderilmesinden sonra üretilen SYM bazdan ve yetersiz uyumluluk bilgisine sahip olmadığı için hatalar içermektedir. İyileştirme için 1/25000 lik harita ve ortorektifiye edilmiş görüntüler kullanılarak YKN'ları toplanmıştır. Toplam 43 nokta toplanmıştır (Şekil 5-a). 16 nokta x,y,z koordinatları bilinen yükseklik ve planimetrik bilgi içerir, 17 YKN sadece altimetrik noktası olarak atılmıştır, yükseklik değerlerine düzeltme getirmek için kullanılmıştır. Bu noktaların yükseklik değerleri bilinmekte fakat planimetrik olarak tam yerleri bilinmemektedir. Genel olarak yol, nehir kıvrıkları, kıyı şeritte yer alan iskele yapıları, köprüler ve dağlık alanlarda ki su toplama çizgilerinin kesişim yerleri YKN olarak alınmıştır. Oluşturulan interferoemtrik SYM (c) ve iyileştirilen interferometrik SYM (d) şekil 5'te gösterilmiştir. Orta bölümde SYM üretilmemiştir. Uydu geçişleri arasında 24 günlük fark olması ve hasat döneminin geçmiş olmasından dolayı uygun uyumluluk haritası oluşturulamamış ve tarım alanlarının oluşturduğu bu bölgelerde SYM üretilmemiştir.

4.DOĞRULUK ANALİZLERİ

Mutlak doğruluk üretilen SYM ile gerçek yer yüzeyinin coğrafi koordinatları arasındaki hatanın ölçütüdür. Üretilen bir SYM doğruluğunu test etmek için, referans SYM ile üretilen SYM üzerinde seçilen ortak noktalara ait yükseklikler karşılaştırılarak sapmalar tespit edilebilir. Doğruluğu belirlemek için, 1/25000 ölçekli ve 10 m. aralıklı eş yükseklik eğrilerine sahip harita kullanılarak üretilen SYM referans olarak kullanılmıştır. SYM'nin konum doğruluğu 5m. yükseklik doğruluğu 3m. dir. Hata analizi için üretilen interferometrik ve stereo SYMleri referans SYM ile üst üste çakıştırılarak birbirlerinden farkları alınmıştır. Bu işlem sonucunda 1/25.000 ölçekli SYM ile SAR görüntülerinden üretilen SYM'lerin farkları elde edilmiştir.

Oluşturulan stereo SAR SYM'den referans model çıkartılarak hata modeli oluşturulmuştur. Analizler için bu model üzerinden farklı arazi tiplerine ait parçalar alınmıştır. Üç tip arazi ele alınmıştır; düz, eğimli ve dağlık alan. Stereo SAR ile oluşturulan SYM görüntüsü üzerinden üç farklı arazi tipinde rasgele seçilen bölgelerde yapılan analizler sonucunda, yükseklik değeri arttıkça hata oranının arttığı gözlenmiştir. Düz alanlar, deniz kıyısı ve denize yakın yerlerden çoğunlukla yerleşim yerlerinin oluşturduğu bölgelerden seçilirken, eğimli alanlar şehrin bittiği yerler ve daha çok mera, orman alanlarının bulunduğu bölgeler seçilmiştir. Doğu, kuzey-doğu ve güney-doğu yönlerinde bulunan alanlardan dağlık bölgelere ait alanlar seçilmiştir. Bu bölgelerde hata oranı artmaktadır. Bunun en büyük nedeni de genellikle dağlık bölgelerde görülen ve SAR geometrisinden ileri gelen gölge, ters görüntüleme ve kısa görüntüleme hatalarıdır.

Interferometrik SAR'ın ilk ara ürünü olan uyumluluk görüntüsü temel alınarak doğruluk analizlerini yapmak üzere örnek alanlar belirlenmiştir. Bu çalışmada, tüm görüntüye ait uyumluluk değerini ve SYM üretmek yerine uyumluluk değerlerin yüksek olduğu bölgeler belirlenmiş ve sadece bu bölgelere ait interferometrik SYM üretilmiştir. Bu nedenle dört farklı uygulama yapılmıştır ve her bölge için üretilen SYM analizleri yapılmıştır (Tablo 3). Genel olarak düz bölgelerde yükseklik bilgisinin doğruluğunun yüksek olması beklenir. Ancak uygulamada düz bölgelerde tarım alanlarının olması ve görüntü alımlarının ekin biçme zamanına denk gelmesi düşük uyumluluk değerlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle analizlerde eğimli ve dağlık olmak üzere iki tip arazi göz önüne alınmıştır. SYM analizi için dört farklı alanın seçiminde uyumluluk değerlerinin yüksek olduğu bölgelerin alınmasına dikkat edilmiştir. Seçilen dört bölge için uyumluluk görüntüsü ve interferogram üretilmiş daha sonra faz belirsizliği giderilerek yükseklik değerleri oluşturulmuştur. Her bölge için oluşturulan yükseklik değerlerine düzeltme getirilmiştir. Düzeltme, yataylanmış görüntülere YKN'leri atılarak getirilmiştir.

	YKN	Planimetrik/Yükseklik	Ortalama değer Mean	Standart sapma RMS
Tüm görüntü	43	26/17	5.869e-013	139.694
a Bölgesi	10	9/10	-2.032e-013	22.807
b Bölgesi	13	12/13	1.4905e-012	48.2081
c Bölgesi	13	9/13	1.894e-014	40.706
d Bölgesi	20	20/20	5.0661e-013	51.662

Tablo 3: İnSAR doğruluk analizleri

Belirlenen iki stereo SYM sonucuna göre düz ve düze yakın bölgelerde 2L, yüksek değerlere sahip bölgelerde 4M detay göz önüne alınmıştır. Hataların eğim ve arazi tipine göre arttığı gözlemlenmiştir, interferometrik SYM ve stereo SYM değerlendirmede belirlenen ortalama, standart sapma ve min./max hata değerlerine göre eğim arttıkça hata artmaktadır (Tablo 3-4).

STEREO SAR					
Arazi	Standart sapma	Min. değer (m)	Max. değer (m)	Ortalama hata (m)	Piksel sayısı
Düz I	5.86	-8.62	40.95	6.49	313344
Düz II	5.58	-19.75	32.45	2.29	224237
Düz III	7.15	-22.98	26.54	0.18	266474
Düz IV	8.46	-11.44	58.36	7.49	190000
Düz V	12.09	-7.97	55.72	12.98	286195
Eğimli I	19.37	-37.50	112.97	20.51	210152
Eğimli II	21.81	-87.08	91.36	11.73	210357
Eğimli III	23.38	-34.64	116.51	25.36	164024
Eğimli IV	26.65	-110.61	141.13	2.53	210162
Eğimli V	27.30	-42.59	163.63	54.41	197316
Dağlık I	42.45	-125.43	275.13	27.18	229437
Dağlık II	43.23	-128.65	172.75	6.14	227156
Dağlık III	54.91	-158.58	260.50	58.57	210152
Dağlık IV	57.76	-111.55	196.05	40.48	148596
Dağlık V	66.88	-205.81	244.55	28.18	311148

Tablo 3: Stereo SAR değerlendirme sonuçları

İNTERFEROMETRİK SAR					
Arazi	Standart sapma	Min. değer (m)	Max. değer (m)	Ortalama hata (m)	Piksel sayısı
Eğimli I	20.05	-74.43	70.87	7.83	15376
Eğimli II	24.85	-246.84	120.14	-38.42	30381
Eğimli III	25.32	-118.16	72.87	-11.49	28980
Eğimli IV	28.48	-43.79	201.20	56.24	27048
Eğimli V	31.81	-215.55	33.77	-95.58	44935
Dağlık I	37.81	-58.69	176.37	62.96	31980
Dağlık II	38.08	-131.09	122.81	25.80	25670
Dağlık III	40.68	-82.35	156.91	35.07	34126
Dağlık IV	51.74	-150.38	293.53	15.92	95082
Dağlık V	57.39	-298.49	40.91	-119.61	74500

Tablo 4: İnterferometrik SAR değerlendirme sonuçları

6. SONUÇLAR

Çalışmada stereo SAR görüntüleri ile stereo yöntem kullanılarak üretilen SYM ile aynı bölgeye ait interferometrik SAR görüntülerinden üretilen SYM karşılaştırılmış ve üretilen verilerin doğruluğu araştırılmıştır.

Literatür araştırması, InSAR tekniğinin düz alanlarda, dağlık alanlara göre daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Ancak stereo SAR tekniği InSAR tekniğinin aksine özellikle eğimli alanlarda düz alanlardan daha iyi sonuç vermektedir. Bu çalışmada kullanılan verilerin yetersizliği nedeniyle literatür araştırmasının aksine InSAR tekniği ile düz alanlarda üretilen SYM'nin doğruluğu, stereo SAR tekniği ile üretilen SYM doğruluğundan düşük olmuştur. Bunun nedeni ise InSAR verilerinin alım tarihleri arasında 24 günlük fark nedeni ile düz alanlarda düşük uyumluluk değerlerinin elde edilmesidir. Bu düşük değerlerin elde edilme sebebi ise tarım alanlarının bu düz alanlarda yer almasıdır. 24 günlük zaman diliminde ekili alanlardaki hasat nedeni ile yeryüzü karakteristikleri değişmiştir. İncelenen bölgelerden stereo görüntüdeki düz alanlar iyi sonuç verirken, interferometrik görüntüde ise düz alanlarda SYM oluşmamaktadır, eğimli ve dağlık bölgelerde ise daha iyi sonuç vermektedir.

Her iki yöntemde de dağ tepeleri, nehirler ve yol gibi arazi yapısına ait temel özellikler gözlenebilmektedir. Stereo ve InSAR tekniğinde düzlük alanlara ait topografik özellikler daha azdır. Burada stereo teknik, düz alanlar için interferometrik yöntemle tercih edilebilir. İnterferometrik ve stereo yöntemde yer kontrol noktaları, SYM' nin kalitesini artıran bir etkidir.

Bu çalışmada her iki yöntem ile yeterli doğruluğa sahip sonuçlar üretilenmemiştir. Doğruluğu yüksek ve anlamlı sonuçlar için daha çok çiftin değerlendirilmesi ya da aynı uyduların alımlar arasında ki farkın minimum olması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Bamler R. and Hartl P.**, 1998. *Synthetic Aperture Radar Interferometry*, Inverse Problems 14, R1-R54.
- EV-InSAR Version 3.1 User's Guide, 2004.Vexcel Corporation Nepean, Ontario Canada.
- Gens R. and Van Genderen J.L.**, 1996. *Review Article Sar Interferometry-Issues, Technies, Applications*, Internatinal Journal Of Remote Sensing, vol. 17, No.10, 1803-1835.
- Graham L.C.**, 1974. *Synthetic Interferometer Radar for Topographic Mapping*, Proceedings of the IEEE vol 62, no 6, 763-768.
- Kaupp V., Bridges L., Pissaruck M., Macdonald H., and Waite W.**, 1983. *Simulation of Spaceborne Stereo Radar Imagery: experimental results*, IEEE transactions on Geoscience and Remote sensing GE-21 400-405.
- Kyurazi J. K.**, 2005. *Quality Assessment of DEM From Radargrametry Data*, Master of Science in Geoinformatics, International Institute, for Geo-information Science and Earth Observation, ITC, Enschede, The Netherlands.
- La Prade G. L.**, 1963. *An Analytical and Experimental Study of Stereo for Radar*, Photogrammetric Engineering, Vol.35, No.2, 294-300.
- La Prade G. L.**, 1970. *Subjective Considerations for Stereo Radar*, in Proc.36th. Annual Meeeting Am. Soc. Photogrammetry, Washington DC, 640-651.
- Leberl F., Domik G., Raggam H., ve Kobrick J. M.**, 1986. Radar Stereomapping Techniques and Applications to SIR-B Images of Mt. Shasta, IEEE Transactions Geoscience Remote Sensing, Vol.24, No.4, 473-481.
- Massonnet D., Feigl K.L.**, 1998. *Radar Interferometry and its Application to Changes in the Earth Surface*, Reviews of Geophysics Vol. 36, Number 4, November 1998, pages 441-500.
- Min- Ho Ka and Man-jo Kim.**, 2001. *DEM Generation Using SAR Stereo Technique with RADARSAT Images Over Seoul Area*. Korean Journal of RS, 17 (2) pp.155-164.
- Rogers A., and Ingalls R.**, 1969. *Venus: Mapping the Surface Reflectivity by Radar Interferometry*. Science, 165 pp 797-799.
- Rosenfield G. H.**, 1968. *Stereo Radar Techniques*, Photogrammetric Eng, Vol 34, 586- 594.
- Rosen P.A., Hensley S., Joughin Ian R., Li K., Madsen S. N., Rodriguez E.,Goldstein R.M.**, 2000. *Synthetic Aperture Radar Interferometry*, Proceedings of the IEEE, Vol. 88, No. 3.
- Toutin Th.**, 1995. *Generating DEM from Stereo Images with a Photogrammetric Approach: Examples with VIR and SAR data*. EARSel Advances in Remote Sensing.
- Toutin Th.**, 2000. *Evaluation of Radargrammetric DEM from RADARSAT Images in High Relief Areas*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 38, No. 2.