

İNTERFEROMETRİK RADARSAT VERİLERİ İLE ÜRETİLEN SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

S. Abdikan, Z.Alkış, A. Alkış

YTU, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 34349 Beşiktaş, İstanbul
(sabdikan, zubeyde, alkis)@yildiz.edu.tr

ANAHTAR KELİMELER: İnterferometri, Sayısal Yükseklik Modeli, RADARSAT

ÖZET:

Uzaktan algılama tekniğinin hızlı gelişimi, uydu görüntülerinin yer bilimleri ile ilgili uygulamalara önemli bir veri kaynağı olmasında etkili olmuştur. Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) görüntüleri de atmosferik koşullardan etkilenmeden gece ve gündüz görüntü alabilme özelliği ile pek çok uygulamada alternatif ya da bütünleyen veriler olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Sayısal yükseklik modeli (SYM) oluşturmak amacıyla da kullanılan SAR görüntüleri genlik bilgisine sahipken, interferometrik SAR (InSAR) görüntüleri genlik bilgisi ile birlikte faz bilgisine de sahiptir. Bu çalışmada interferometrik SYM'nin doğruluğunu değerlendirilmek amacıyla Edremit bölgesine ait 2002 yılında alınmış SLC formatındaki bir çift RADARSAT görüntüsü kullanılmıştır. Çalışma alanını dört adet 1/25.000 ölçekli harita örtmektedir. Bölgeye ait yükseklik değerleri 0 m. ile 1767 m. arasında değişmektedir.

Çalışmanın amacı, interferometrik SAR görüntülerinden oluşturulmuş sayısal yükseklik modelinin farklı topoğrafik özelliklere göre doğruluk analizlerinin yapılmasıdır. Bu amaçla belirlenen dağlık, düz ve düze yakın alanlar ve yerleşim yerlerine ait bölgeler belirlenerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Referans model olarak 1/25.000 ölçekli SYM kullanılmıştır. Çalışmada Earthview ve PCI yazılımları kullanılarak üretilen yükseklik modelinde yer kontrol noktaları (YKN) kullanılmış ve nokta sayısı arttıkça sonuç ürün değerlerinin de arttığı belirlenmiştir ancak eğim arttıkça doğruluğun azaldığı gözlenmiştir. İnterferometrik analizler, görüntüler arasındaki korelasyonun düşük olmasından dolayı sadece eğimli ve dağlık bölgeler için yapılmıştır. İnterferometrik değerlendirme için eğimli alanlarda standart sapma en düşük 20.05 m. ve en büyük 31.81m, dağlık alanlarda ise en düşük 37.81 m. ve en büyük 57.39 m. bulunmuştur.

1. GİRİŞ

Sayısal yükseklik modeli (SYM), bir arazi yüzeyini en iyi temsil eden düzenli veya düzensiz aralıklarla yapılmış çok sayıda yükseklik ölçümünden oluşmaktadır. SYM uygulamaları ile arazinin eğimi, eğim yönü, yansıma açısı, drenaj ağları, havza sınırları, akış yolları ve görüş alanı içindeki noktaların belirlenmesi, stereo görüntü çiftlerinin üretilmesi ve yeryüzünün 3 boyutlu ağ yapısının oluşturulması gerçekleştirilebilmektedir (Gündoğdu, 2003). Sayısal Yükseklik Modelleri, Coğrafi Bilgi Sistemlerinde yükseklik bilgisi saklamada sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.

Araziye ait üç boyutlu yer koordinatlarının elde edilebilmesi için hem stereo hem de InSAR tekniğinde hedef bölgeye ait, iki görüntünün farklı bakış geometrisi ile alınmış olması gerekir. Bulut, sis, pus gibi etmenlerden etkilenmeden her türlü hava koşulunda, gece ve gündüz görüntü alma özelliğine sahip yapay açıklıklı radar (SAR), optik sistemlerin görüntü sağlayamadığı bölgelerde alternatif/bütünleyici bir sistem olarak pek çok uygulamada kullanılmaktadır.

Pek çok çalışmaya altlık olarak kullanılan topoğrafik harita, Graham 'ın 1974 'te interferometrik SAR verilerinden de topoğrafik bilgi üretmesinden bu yana interferometrik çalışmalar hızla önem kazanmıştır. InSAR ile üretilen yükseklik bilgisi genel olarak harita yükseklik bilgisinden farklıdır; SAR verisi geometrik yükseklik (referans elipsoidten olan yükseklik)

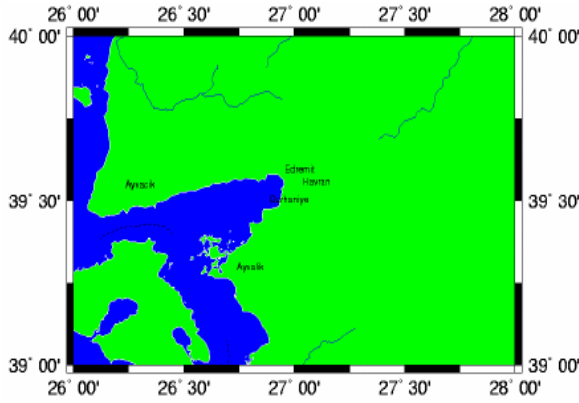
sağlarken harita, gravimetrik yükseklik (fiziksel jeoitenden olan yükseklik) sağlar. Arazinin eğimli olması topografya bilgisi için en önemli etmendir. Arazi eğimli ise ters görüntüleme, kısa görüntüleme ya da gölge gibi geometriden dolayı hatalar meydana gelir.

SAR interferometrisi (InSAR), sadece genlik bilgisine sahip SAR görüntüsünden farklı olarak faz bilgisine de sahiptir. Bir arazi parçasının üç boyutlu 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). 3B' lu interferometrik SAR ölçümleri yan bakış geometrisi ile uçak (Emisar, Star-3i, Topsar, Geosar, Dosar), uzay mekiği (SIR C/X-SAR, SRTM) ya da uydulara yerleştirilen algılayıcılar ile yapılmaktadır. Genel InSAR tekniği Gens ve Van Genderen (1996), Bamler ve Hartl (1998), Massonnet ve Feigl (1998) çalışmalarında verilmiştir.

Bu çalışmada interfeometrik SAR görüntüsünden üretilen SYM'lerinin kalitesinin incelenmesi araştırılmıştır. Bu amaçla 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen SYM referans alınarak değerlendirme yapılmıştır. Çalışmada 1995 yılında Kanada Uzaktan Algılama Merkezi (CCRS) tarafından fırlatılan RADARSAT-1 görüntüleri kullanılmıştır. 2002 yılına ait bir çift SLC formatındaki Fine Beam interferometrik SAR görüntüsü ve karşılaştırmada referans SYM olarak alınan 1/25.000 ölçekli haritadan sayısallaştırılan SYM kullanılmıştır.

2. ÇALIŞMA BÖLGESİ

Çalışma bölgesi Balıkesir Edremit körfezinden başlayarak, Edremit ilçesi kıyı alanları ile birlikte doğusundaki eğimli arazileri de içermektedir (Şekil 1). Edremit ovası, düz düze yakın eğimli, verimli arazilerden oluşmaktadır. Buna karşın engebeli ve dağlık alanlar çalışma bölgesinin kuzey doğusunda ve güney doğusunda yer alır. Yerleşim bölgeleri ve tarım alanları orta düz ve düze yakın bölgelerde bulunmaktadır.



Şekil 1. İzmit Körfezi

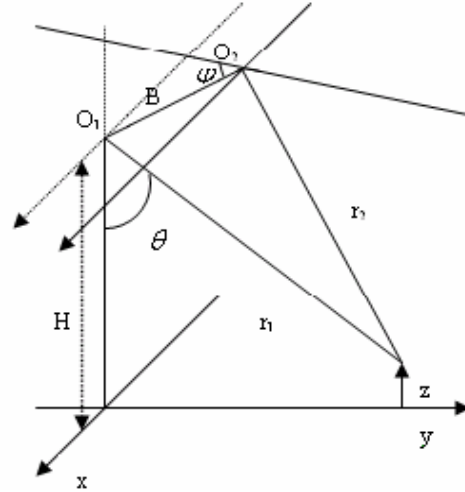
Bölge genel hatları ile engebeli bir topografya özelliğini göstermektedir. Araştırma alanının kuzey ve güney sınır bölgelerini zeytin, maki funda, mera ve orman kullanımlı eğimli araziler, orta bölgelerini ise düz-düze yakın eğimli, buğday, pamuk vb. tarımı yapılan araziler oluşturmaktadır. Genellikle düz ve düze yakın arazilerde daha sık dikimi yapılan zeytin ağaçları, eğimi fazla olan bölgelerde daha seyrek olarak dikilmişlerdir. Orman bitki örtüsünün dik eğimli ve yüksek arazilerde dağılım göstermektedir, bu durum özellikle SAR görüntüleri ile yapılan çalışmalarda sorun oluşturmaktadır.

3. İNSAR SYM DEĞERLENDİRME ADIMLARI

İnterferometrik SAR, 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. InSAR genel geometrisi şekil 2. de gösterilmiştir. Uydunun O1 ve O2 iki geçiş durumu arasındaki bağıl fark interferogramı verir.

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 (1) eşitliği ile bulunur;

$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda} (r_2 - r_1) = \frac{4\pi}{\lambda} (B_x \sin \theta - B_z \cos \theta) \quad (1)$$

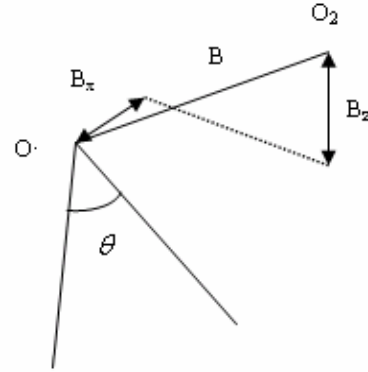


Şekil 2. İnterferometrik SAR alım geometrisi

Uydular arası uzaklık olan B bazının bileşenleri Bx ve Bz (Şekil 3), θ sinyal geliş açısı, H uydudaki uçuş yükseklik değeri, ψ baz eğim açısı olmak üzere hedef nesne yüksekliği (2) eşitliği ile elde edilir;

$$z = H - r_1 \cos \theta \quad (2)$$

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



Şekil 3. Baz bileşenleri

Kompleks interferometrik 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 (Kyrarazi, 2005).

4. SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİNİN ÜRETİLMESİ

4.1 İnterferometrik SAR Verilerinin Özellikleri

Veri seçiminde bakış yönü, ışın modu ve ışın konum özellikleri önemlidir. İki bakış doğrultusu, yedi farklı ışın modu ve farklı ışın konum uzaklıkları ile RADARSAT çeşitli olanaklar sağlamaktadır. RADARSAT sağ bakışlı bir uydudur ve iki bakış yönü ile görüntü alır. Kuzey kutbundan alçalan yönde batıyı tararken, güney kutbundan yükselen yönde doğuyu tarar.

	İnterferometrik SAR	
	I. Görüntü (Master)	II. Görüntü (Slave)
Görüntü ID	M0292197	M0292198
Görüntü alım başlama zamanı	16.05.2002 04:14:39.44	09.06.2002 04:14:36.77
Görüntü alım bitiş zamanı	16.05.2002 04:14:48.00	09.06.2002 04:14:45.37
Yörünge izi	34080 Alçalan	34423 Alçalan
Işın Modu	SAR Fine1	SAR Fine1
Format	SLC	SLC
Görüntü piksel sayısı	5965	5692
Pixel boyutu	4.638×5.1m	4.638×5.1m
Görüntü Merkezi	39°32'N 27°01'E	39°34'N 27°01'E

Tablo 1. Radarsat InSAR verilerinin özellikleri

Görüntü özellikleri tablo 1 de olan interferometrik SAR F1-F1 çifti 16 Mayıs 2002 ve 09 Haziran 2002 tarihlerinde alınmıştır. 50 km. X 50 km. lik alan kaplayan fine beam ışın modu RADARSAT'ın en yüksek konumsal çözünürlüğe (8m.-10m.) sahip ışın modudur. Genlik bilgisine birlikte faz bilgisini de içeren SLC formatındaki görüntüler, Earthview 3.0 InSAR SAR görüntü işleme programı kullanılarak SYM üretilmiştir.

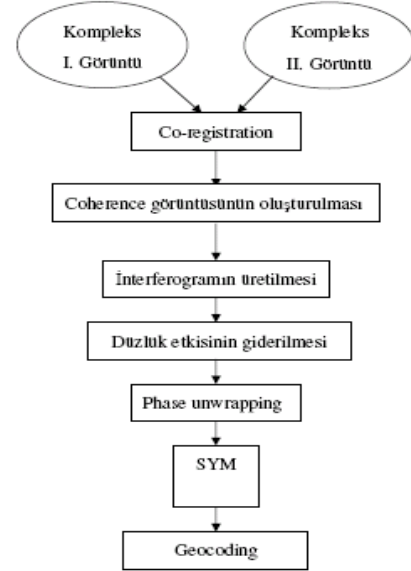
RADARSAT görüntüleri, tek anten ile farklı zaman aralıklarında aynı bölgenin farklı anten konumunda geri saçılmaların kaydedilmesiyle elde edilir. Uydu bir alanı iki kere görebilmek için aynı yörüngeden çok az farklı bir geometri ile geçmek zorundadır. Tekrarlı geçiş interferometrisi, görüntülerin zamansal ve konumsal uyumluluk (coherence) özelliklerini kullanarak arazi yüzeyine ait konumsal ve dielektik özelliklerin yakalanmasına olanak sağlamaktadır (Rosen, 2000).

4.2 İnterferometrik SAR Verilerinin Değerlendirilmesi

İki antenden gelen sinyallerin korelasyonlu kombinasyonu ile alınan sinyaller arasındaki interferometrik faz farkı, görüntünün her pikselinde belirlenir. Topografyaya bağlı olarak, faz farkı nesneye olan uzaklıkların geometrik farkıdır. İnterferometri geometrisinin bilgisi ile faz farkı görüntüde ki her bir pikselin yükseklik bilgisine dönüştürülür.

İnSAR ile topografik harita üretimi klasik stereoskopik yöntemle benzer. Stereo yönteminde, araziye ait bir çift görüntü aynı anda alınır. Ötelemeyen oluşan paralaks topografyanın yeniden oluşmasını sağlar. InSAR tekniğinde ki temel fark SAR görüntüleri arasındaki paralaks, iki sinyal arasındaki faz farkından elde edilir. Faz farkı ile interferometrik baza bağlı olarak hedefin açısı belirlenir. InSAR ölçümünün paralaksı

dalga uzunluğuna bağlı iken stereo yöntemin paralaksı görüntü çözünürlüğüne bağlıdır (Rosen vd, 2000).

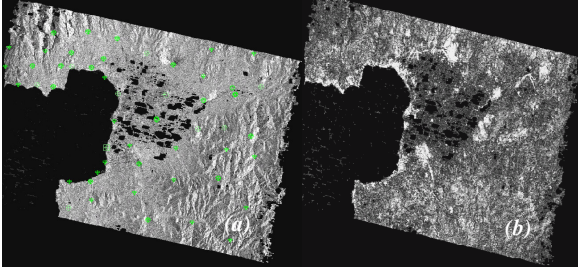


Şekil 4. İnSAR yöntemi ile SYM üretim adımları

İnterferometrik yöntemde (Şekil 4) ilk adım, InSAR görüntü işleme yazılımı ile kompleks yapıdaki görüntülerden ikinci görüntünün birinci görüntüye piksel piksel yataylanmasıdır. Yataylama işlemi yapıldıktan sonra faz farkından oluşan interferogram üretilir. Uyumluluk görüntüsünün elde edilmesi ile görüntülerin korelasyonunun analizi yapılır. Oluşturulan interferogramın düzlük etkisi giderildikten sonra fazlarda görülen düzensizliğin giderilmesi için "faz belirsizliğinin giderilmesi" (phase unwrapping) işlemi gerçekleştirilir. Son adımda da faz farkı bilgisinden üretilen yeryüzüne ait yükseklik bilgisi içeren SYM oluşturulmuş olur.

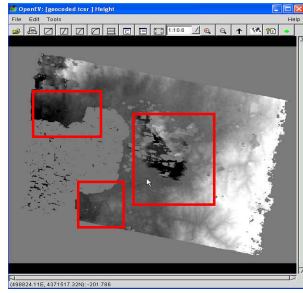
Şekil 5-b'de gösterilen uyumluluk haritası, görüntüler arasındaki korelasyonu gösterir. Uyumluluk görüntüsünün oluşturulma sürecinde kullanıcının değiştirebileceği parametreler çok sınırlıdır. Çözünürlük kernel operatörü ile belirlenir. Seçilen pencere boyutuna göre uyumluluk haritası oluşturulabilir, 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.

Faz belirsizliğinin giderilmesinde iteratif disk maskeleme algoritması kullanılmıştır. Faz belirsizliği giderme algoritması, faz görüntüsündeki fazın sinüzoidal yapısında oluşan devamsızlık uzunluğunun azaltılması şeklindedir. 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 (EVInSAR User Guide 2004).



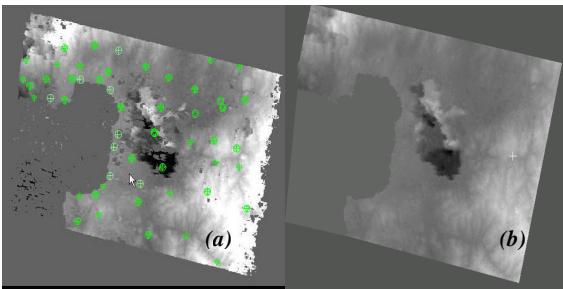
Şekil 5. (a) Genlik görüntüsü ve YKNler, (b) Uyumluluk görüntüsü,

Faz belirsizliğinin giderilmesinden sonra SYM WGS 84 datumunda üretilmiştir. Ancak üretilen yükseklik bilgisi yataylanmamış bilgidir. Geocode edilmiş görüntüde de sorunlar görülmüştür. Görüntülerin 24 gün arayla alınmış olması ve ikinci görüntünün hasat zamanından sonra alınması görüntüler arasındaki korelasyonu düşürdüğü için tarım alanlarının bulunduğu düzlük bölgelerde interferogram oluşmamış ve uyumluluk değeri düşük çıkmıştır (Şekil 6). Bu nedenle sayısal yükseklik modeli de kötü sonuç vermiştir.



Şekil 6. Yataylanmış (Geocoded) SYM

Üretilen SYM'nin iyileştirilmesi için 1/25000 lik harita ve ortorektifiye edilmiş görüntüler kullanılarak yer kontrol noktaları (YKN) 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 bilinmemekte 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.



Şekil 7. (a) İyileştirilen InSAR SYM, (b) Sonuç SYM

Yataylanmış SYM görüntüsü, gürültü giderme (noise removal), boşlukların doldurulması (erode holes), yumuşatma (smooth), median filtreleme, enterpolasyon ve maskeleme gibi filtre işlemleri uygulanarak düzeltilmiş ve sonuç SYM elde edilmiştir. İyileştirilen interferometrik SYM (a) ve sonuç SYM (b) şekil 7'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 bulunduğu bu bölgelerde SYM üretilmemiştir.

5. DOĞRULUK ANALİZLERİ

Üretilen sonuç SYM'nin doğruluğunu test etmek için, referans SYM ile üretilen SYM üzerinde seçilen ortak noktalara ait yükseklikler karşılaştırılarak sapmalar tespit edilmiştir. 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.

İnterferometrik 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 için analizler yapılmıştır (Tablo 2). 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.

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.

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.

Hataların eğim ve arazi tipine göre arttığı gözlemlenmiştir, interferometrik SYM değerlendirmede belirlenen ortalama, standart sapma hata değerlerine göre eğim arttıkça hata artmaktadır (Tablo 3).

	Y K N	Planimetrik/ Yükseklik	Ort. hata Mean	Standart sapma RMS
Tüm görüntü	43	26/17	5.869e-013	139.69
a Bölgesi	10	9/10	-2.032e-013	22.80
b Bölgesi	13	12/13	1.4905e-012	48.21
c Bölgesi	13	9/13	1.894e-014	40.71
d Bölgesi	20	20/20	5.0661e-013	51.66

Tablo 2. InSAR doğruluk analizleri

İNTERFEROMETRİK DEĞERLENDİRME			
Arazi	Standart sapma	Ort. hata (m)	Piksel sayısı
Eğimli I	20.05	7.83	15376
Eğimli II	24.85	38.42	30381
Eğimli III	25.32	11.49	28980
Eğimli IV	28.48	56.24	27048
Eğimli V	31.33	4.49	60280
Eğimli VI	31.81	95.58	44935
Dağlık I	37.81	62.96	31980
Dağlık II	38.08	25.80	25670
Dağlık III	40.68	35.07	34126
Dağlık IV	41.23	4.44	56936
Dağlık V	51.74	15.92	95082
Dağlık VI	57.39	119.61	74500

Tablo 3. İnSAR analiz sonuçları

6. SONUÇLAR

Çalışmada interferometrik SAR görüntülerinden üretilen sayısal yükseklik modelinin doğruluğu araştırılmıştır. Bu amaçla İnSAR yöntemi ile üretilen SYM ile referans SYM karşılaştırılarak farkları alınmıştır. Üretilen İnSAR tekniğinin düz alanlarda, dağlık alanlara göre daha iyi sonuç vermesi beklenirken veri yetersizliği nedeni ile düz alanlarda SYM üretilmemiştir. Bunun nedeni ise İnSAR 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. Çalışmada yeterli doğruluğa sahip sonuçlar üretilmemiştir. 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*, International 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.

Gündoğdu K. S., 2003. *Sayısal Yükseklik Modellerinin Arazi Boy Kesitlerinin Çıkarılmasında Kullanımı*, Uludağ Üniv. Zir. Fak. Derg., 17 (1): 149-157

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.

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.

Rogers A., and Ingalls R., 1969. *Venus: Mapping the Surface Reflectivity by Radar Interferometry*. Science, 165 pp 797-799.

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.