

YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ TERRASAR-X VERİLERİNİN 3B KALİTE DEĞERLENDİRMESİ- BARCELONA ÖRNEĞİ

**Umut Güneş
SEFERCİK***

Bülent Ecevit Üniv.
Jeodezi ve Fotogrametri
Müh. Böl.
ugsefercik@hotmail.com

**Alexander
SCHUNERT**

Hannover Üniv. Fotogrametri
ve Geoinformasyon Ens.
schunert@ipi.uni-hannover.de

**Uwe
SOERGEL**

Hannover Üniv. Fotogrametri
ve Geoinformasyon Ens.
soergel@ipi.uni-hannover.de

**Kinichiro
WATANABE**

Japonya Konumsal
Bilgi Merkezi
watakin@gsi.go.jp

Geliş Tarihi: 25 Ekim 2012, **Kabul Tarihi:** 01 Ocak 2013

ÖZET

Son yıllarda, yapay açıklıklı radar (SAR) verileri bilimsel uygulamalarda yoğun bir şekilde kullanılmış ve birçok SAR görevi gerçekleştirilmiştir. SAR teknolojisi, aktif algılama yeteneği ve uzun dalga boyları sayesinde pasif algılamaya dayalı çalışan optik sistemlerin aksine hava şartları ve gece-gündüzden bağımsız olarak günün her saati veri sağlayabilmektedir. SAR uydu verilerinin geçmişte en büyük problemi çözünürlük olarak kaydedilmiştir. Ancak bu problem, SAR teknolojisi için bir devrim niteliğinde olan TerraSAR-X (TSX)'in yörüngeye oturtulması ile aşılmıştır. TSX, üç farklı görüntüleme modu sayesinde geniş alanlar kaplayabilen yüksek çözünürlükte (1m'ye kadar) veriler üretebilmektedir. Günümüzde, TSX verileri kullanılarak çok sayıda bilimsel araştırma yapılmaktadır. ISPRS SAR Interferometri çalışma grubu da TSX SAR verilerinden elde edilen dijital yükseklik modellerinin (DYM) kalite değerlendirmesi konulu bir proje gerçekleştirmektedir. Proje kapsamında, Türkiye, İspanya, Almanya ve İtalya'dan seçilmiş test alanları kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, bahsedilen proje kapsamında 3m azimut çözünürlüklü TSX StripMap (SM) mod uydu görüntüleri kullanılarak İspanya'nın Barselona kentinde çok sayıda yüksek çözünürlüklü DYM üretilmiş ve bu modeller içerisinde en uygunu seçilerek kalite değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, Barselona test alanı, dik ve dağlık topografyaya sahip geniş bir alan ve kentsel alan olmak üzere iki kısma ayrılmış ve kalite değerlendirmesi doğruluk ve görsellik bileşenleri göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Uygulamada dijital hava fotoğraflarından elde edilmiş 10 cm yatay ve 10 cm – 1 m düşey doğruluğa sahip bir DYM referans olarak kullanılmıştır. Sonuçlar TSX DYM'sinin topografya ile her yönüyle uyumlu olduğunu ve doğruluğun $\pm 8-10m$ arasında olduğunu göstermektedir.

Çalışmada diğer bir uygulama olarak, LIDAR verileri ile üretilmiş ve çok hassas olduğu bilinen, Google Earth'de mevcut 3 boyutlu Barselona şehir modeli ile PSI (Persistent Scatterer Interferometri) tekniği ile TSX'den elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç, PSI ürünlerinin referans veri ile oldukça uyumlu olduğu ve kotların karesel ortalama hatasının 2,5m dolayında olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: TerraSAR-X, Dijital Yükseklik Modeli, Üretim, 3B Kalite Değerlendirmesi, Doğruluk, Görsellik.

3D QUALITY ASSESSMENT OF HIGH RESOLUTION TERRASAR-X DATA: BARCELONA CASE STUDY

ABSTRACT

In recent years, Synthetic Aperture Radar (SAR) data is being used intensely for scientific applications and many SAR missions have been accomplished. On the contrary of optical systems operating based on passive sensing principle, SAR technology is capable of providing data independent of weather conditions and time of acquisition under favour of active sensing ability and long wavelength. The most important problem of SAR data was decided upon the resolution. However, this problem is overcome with orbiting of TerraSAR-X (TSX) which is considered to be a revolution. TSX can provide high resolution data (up to 1m) covering large areas thanks to three different imaging modes. Today, many scientific studies are performed employing TSX data. ISPRS SAR Interferometry Working Group is also conducting a project that performs quality assessment of digital elevation models generated

* Sorumlu Yazar

from TSX data. Within the scope of this project, several test sites are being studied from Turkey, Spain, Germany and Italy.

In this research, many high resolution DEMs are generated using 3m azimuth resolution TSX StripMap (SM) mode images for Barcelona (Spain) and the most suitable one is chosen and quality assessment is performed on it in the context of the aforementioned project. For the study, quality assessment is performed taking into consideration accuracy and visibility components in Barcelona test site that has been partitioned in two sub-areas as a large area with steep and mountainous topography and an urban area. In the application, a photogrammetric reference model that has 10 cm horizontal and 10 cm – 1 m vertical accuracy was used for the verification. The results show that TSX DEM is compatible with all aspects of the topography with the accuracy between $\pm 8-10m$.

As another application in the study, Barcelona city model available in Google Earth, which is known to be generated by very accurate LIDAR data, and PSI results of TSX are compared. As a result, it is observed that PSI products and reference data are quite compatible and RMSZ of elevations are around 2,5m.

Keywords: TerraSAR-X, Digital Elevation Model, Generation, 3D Quality Assessment, Accuracy, Visibility.

1. GİRİŞ

Dijital yükseklik modelleri (DYM) yeryüzü çıplak topoğrafyası üzerinde bulunan bitki örtüsü, orman ve insan yapımı tüm objeleri 3 boyutlu olarak yansıtan temel ürünlerdir. DYM'ler yersel ölçmelerden uydu bazlı uzaktan algılamaya kadar çok sayıda yöntem kullanılarak üretilebilmektedir. Elbette, bu DYM'ler kalite ve kapsama alanına bağlı olarak çeşitli maliyetlere sahiptir. Bu sebeple uygulamaların ihtiyaçları göz önünde tutularak en uygun olanı seçilmelidir. Örneğin, oldukça geniş bir alan gerekli ise ve 0.5m- 10m doğruluk yeterli ise, USGS standartları göz önünde bulundurularak uydu bazlı uzaktan algılama en iyi yöntem olarak seçilebilir. Uydu verilerinden DYM üretimi için en yaygın yöntemler optik stereoskopik ve interferometrik yapay açıklık radarıdır (InSAR). Bu yöntemlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Optik stereoskopik işleminde kullanılan stereo görüntüler fotoğraf çekim mantığına benzer kimyasal bir yöntemle elde edildiklerinden yeryüzü objelerini renkli ve daha belirgin ortaya koyabilmektedirler. Ancak pasif yapıda çalışan bu sistemde enerji kaynağı güneştir ve hava şartlarına ve gece-gündüze tam bağımlılık mevcuttur. InSAR yönteminde ise kullanılan ana (master) ve bağımlı (slave) yapay açıklık radar (SAR) görüntüleri obje yansıtım gücü olarak optik sistemler kadar başarılı olmasa da hava şartlarından tam bağımsız olarak yılın her dönemi gece-gündüz ayrımı olmaksızın elde edilebilmektedir. InSAR verileri hem tek geçiş hem de çift geçiş modunda sağlanabilmektedirler [1,2]. Tek geçişli InSAR'ın en büyük avantajı farklı bakış açılarından aynı bölgeye eş zamanlı bakış yapılarak master ve slave görüntülerin alımı sırasında atmosfer kaynaklı uyumsuzlukların elimine olmasıdır. Tek geçişli InSAR yönteminin en iyi örneği 11-22 Şubat 2000 tarihleri arasında 11 günlük misyonunu başarı ile tamamlayarak yeryüzünü yaklaşık $\pm 60^\circ$ Kuzey ve Güney enlemlerinde üç boyutlu olarak modelleyen SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)'dir [3]. SRTM verileri bugün halen pek çok bilimsel ve ticari çalışmada yaygın olarak kullanılmaktadır [4]. SRTM dışında

günümüze dek işletilen SAR uydularının hemen hemen hepsi çift geçişli InSAR tekniğini kullanmışlardır. Çift geçişli InSAR'da tek geçişliden farklı olarak görüntü çiftleri, farklı tarihlerde aynı bölgeye farklı açılardan bakışla elde edilmektedir. Bu durumda atmosferik koşullar ve iklim koşulları değişkenliğine bağlı olarak görüntü çiftleri üzerinde atmosferik korelasyonsuzluk meydana gelebilmektedir. Bu olumsuz etkiyi en aza indirmek için görüntü alım tarihleri arası olabildiğince yakın olmalı ve farklı mevsimlerde görüntü alımından kaçınılmalıdır.

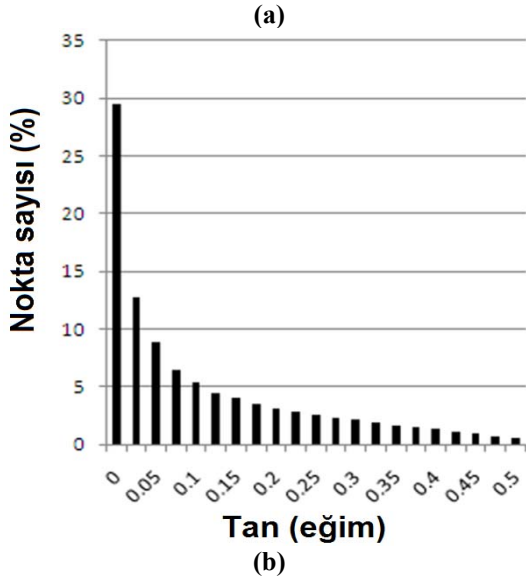
Bu çalışmanın öncelikli amacı TSX uydusu tarafından çift geçişli interferometrik ile elde edilen yüksek çözünürlüklü DYM'lerin kalite değerlendirmesidir. Çalışma, ISPRS SAR Interferometri çalışma grubunun öncülük ettiği 10 farklı ülkeden 14 kurumun katılımı ile gerçekleştirilen "TSX SAR verilerinden elde edilen dijital yükseklik modellerinin kalite değerlendirmesi" konulu proje kapsamında yapılan çalışmalardan biridir [5]. Bu proje, Alman Uzay Ajansı (DLR) tarafından farklı görüntüleme modlarında 100 TSX görüntüsü ile desteklenmekte, araştırmacılar DYM üretimi için radargrametri, standart InSAR, çok bazlı InSAR vb. gibi farklı yöntemler kullanmakta ve sonuçlar kıyaslamalı olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada Barselona kenti test alanı olarak belirlenmiş ve DLR'dan sağlanan 30 adet TSX StripMap (SM) SAR görüntüsü arasından 4 adet interferometriye uygun çift belirlenmiştir. Sonrasında, interferometrik işlem adımları uygulanarak 3m çözünürlüklü görüntülerden 10m grid aralıklı 9 adet dijital yüzey modeli elde edilmiştir. Elde edilen bu modellerden en uygun olanı seçilmiş ve optimal filtreleme metodu ile dijital yüzey modeli-DYM dönüşümü gerçekleştirilerek çıplak yeryüzü modeli elde edilmiştir [6].

Kalite değerlendirme işleminde en yaygın yöntem değerlendirilen modeli referans bir model ile karşılaştırmadır [7]. Bu noktadan hareketle, elde edilen DYM'nin kalite değerlendirme işlemlerinde dijital hava fotoğraflarından üretilmiş 10cm-1m arasında düşey doğruluğa sahip referans bir model kullanılmıştır.

Sözü edilen konular çerçevesinde çalışma takip eden şekilde organize edilmiştir: 2. bölümde test alanı ve kullanılan veri setleri verilmiş, 3. bölümde interferometrik DYM üretiminden kısaca bahsedilmiş, 4. bölümde DYM kalite değerlendirme işlemleri açıklanmış ve sonuçlar sunulmuştur. 5. bölümde ise PSI (Persistent Scatter Interferometri) işlemi ve elde edilen sonuçlar anlatılmış ve 6. bölüm çalışmayı sonlandırmıştır.

2. TEST ALANI VE KULLANILAN VERİLER

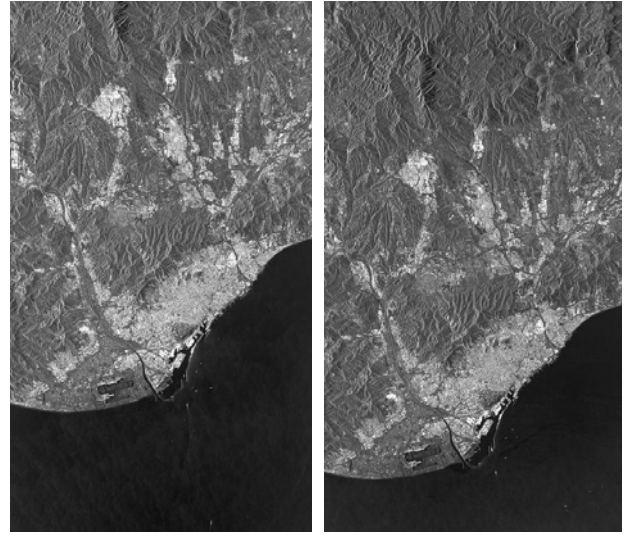
Barselona kenti, Katalunya'nın başkentidir ve 1.6 milyon kent merkezinde olmak üzere toplam 5.5 milyonluk bir nüfusa sahiptir. Analizler, kentte iki ayrı alan belirlenerek gerçekleştirilmiştir. İlk alan, analiz edilen DYM'nin kaynağı olan TSX SM görüntü çiftinin sınırları ile bire bir örtüşmekte ve 32.9 x 56.6 km (en x boy) ebatlarındadır. Bu alan çalışmada "geniş alan" olarak adlandırılmıştır ve çeşitli arazi formasyonları içermektedir. İkinci alan ise Barselona kentsel bölgesi olarak seçilmiş ve "kentsel alan" olarak adlandırılmıştır. Bu alan, aynı zamanda geniş alanın da bir alt kümesidir. Belirlenen iki test alanının Google Earth uydu görüntüsü ve genel arazi eğim dağılım grafiği sırasıyla Şekil 1a ve 1b'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Barselona test alanı (a) (mavi: geniş alan, kırmızı: kentsel alan) ve genel arazi eğim frekans dağılımı (b).

Geniş alan dağlık araziye ve ormanlık alanları içermekte ve yükseklik 1100 m'ye dek uzanmaktadır. Kentsel alan topografyası genelde düzlük bir yapıya sahip olup nadiren tepelik bölgeler içermektedir. Örneğin, 1992'de olimpiyat oyunlarının ana merkezi olan Montjuïc tepesi bu alanda bulunmaktadır. Kentsel alanda maksimum yükseklik 250 m civarındadır.

Çalışmada, seçilen DYM'nin üretimi için kullanılan TSX SM InSAR görüntü çifti Şekil 2'de ve bu görüntülere ilişkin özellikler de Tablo 1'de gösterilmiştir. SM modunda, TSX 1650 km'ye kadar uzunluk ve 30 km alan genişliğinde şerit tarama ile görüntü alınabilmektedir. Alım, yeryüzündeki alan, anten ışınları yükseklik ve azimut bileşenleri sabit şekilde sürekli bir sinyal dizisi ile aydınlatılma yoluyla gerçekleşmektedir. Bu durum, azimut, yani uçuş doğrultusu yönünde sürekli ve kaliteli görüntü alımı sağlanan şeritler elde etmeyi sağlamaktadır [8].

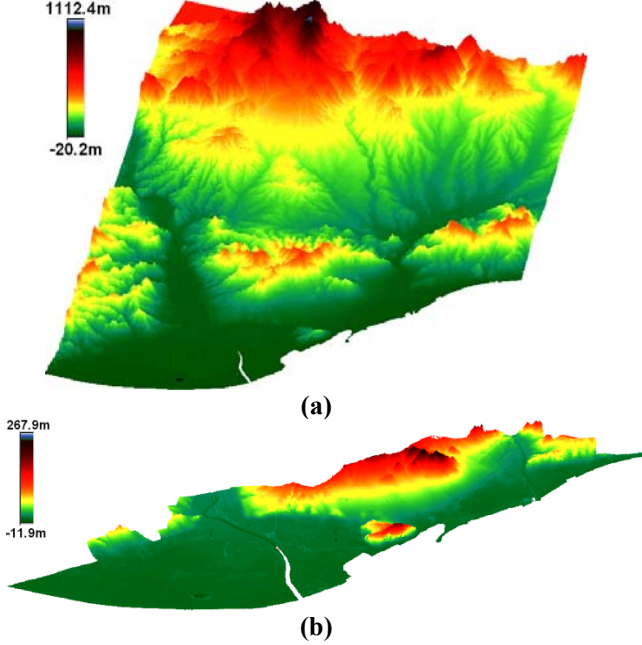


Şekil 2. TSX SM görüntü çifti (sol: görüntü 1, sağ: görüntü 2).

Tablo 1. TSX SM görüntü özellikleri.

Özellik	Görüntü 1 (master)	Görüntü 2 (slave)
Çekim anı başlangıcı	2009-02-20, 17:41:09.66	2009-03-03, 17:41:10.54
Çekim anı sonu	2009-02-20T, 17:41:23.44	2009-03-03T, 17:41:19.32
Polarizasyon modu ve kanalı	Tekil, VV	Tekil, VV
Geçiş yönü	Yükseliş	Yükseliş
Görüntü merkezi eğim açısı	35.286332	35.318179
Görüntü ebatları (en×boy)	32.9×56.6km	32.9×56.6km
Normal baz uzunluğu	86.27 m	
2PI belirsizliği yüksekliği	64.21 m	

Barselona referans DYM'si Katalunya'nın resmi araştırma kurumu olan Katalunya Kartoğrafya Enstitüsü (Institut Cartogràfic de Catalunya, ICC) tarafından sağlanmıştır. Bu model, 15 m grid aralıklı olup fotogrametri ile elde edilmiştir ve düşey doğruluğu 10 cm-1m arasındadır. Şekil 3 bu referans DYM'yi geniş alan (a) ve kentsel alan (b) olmak üzere renk skalası eşliğinde ayrı ayrı göstermektedir. Bu DYM çalışma boyunca REFDYM olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3. REFDYM (a: geniş alan, b: kentsel alan).

3. INSAR VERİLERİ İLE DİJİTAL YÜZEY MODELİ ÜRETİMİ

SAR verisi kullanarak DYM üretimi çeşitli tekniklerle gerçekleştirilebilir. Bunların başlıcaları radargrametri [9] ve InSAR'dır [10]. Bu çalışmada, InSAR yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem, optik stereoskopiden tamamen farklı bir yöntemdir. Süreç, çok sayıda adımdan oluşmakta ve her adımda çok sayıda parametre ve eşik değere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu parametreler ve eşik değerler, görüntü çiftinin özellikleri, çekim zamanlarından kaynaklanan etkiler, distorsiyonlar ve çalışılan arazinin topoğrafik özellikleri gibi bileşenler göz önünde tutularak belirlenmektedir. En sağlıklı sonuç ancak bu değerlerin doğru tespiti ile elde edilebilecektir [11,12].

İnterferometrik dijital yüzey modeli üretimi için kullanılan başlıca parametreler ve eşik değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. İnterferometrik DYM üretimi için başlıca parametre ve eşik değerler (Goldstein filtreleme algoritması için [13]).

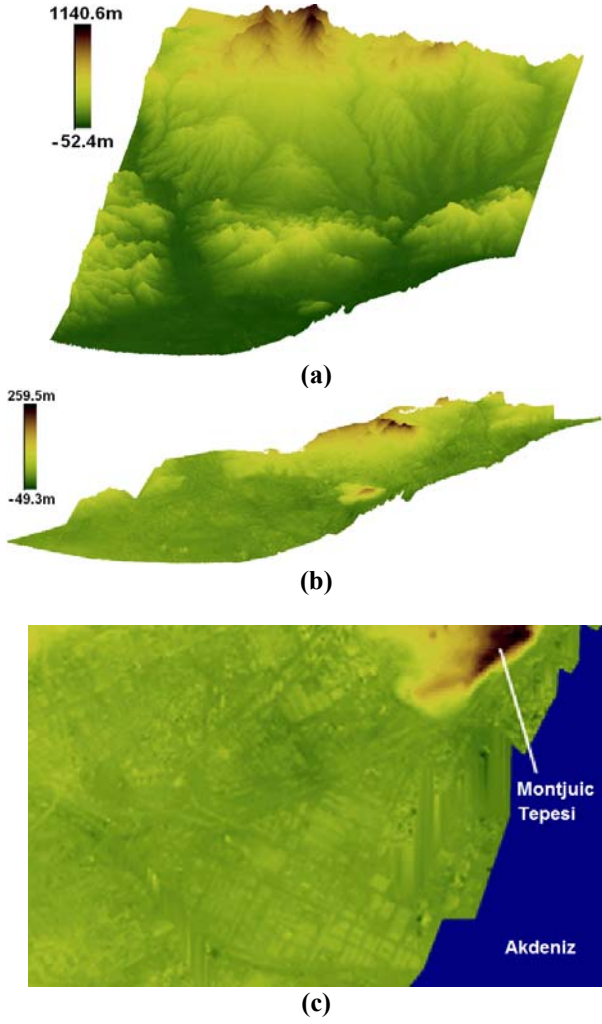
İşlem adımları	Parametre	TSX SM
İnterferogram üretimi	Multilooking (Mesafe×Azimut)	3×3
	Referans DYM	SRTM C-band
İnterferogram düzleştirme	Referans DYM	SRTM C-band
Filtreleme ve uyum üretimi	Metod	Goldstein
	Uyum Mesafe/Azimut pencere boyutu	3×3
Faz çözümlemesi	Algoritma	Region growing
	Uyum eşik değeri	0.25
	Analiz aşama sayısı	3
Yörünge düzeltmeleri	GCP sayısı	12
	GCP RMSZ	<10m
Faz yükseklik dönüşümü ve geokodlama	Üretilen DYM'nin grid aralığı	10m

Tablo 2'de belirtilen başlıca eşik değerler kullanılarak üretilen dijital yüzey modelleri ve obje yansıtım gücünü, yani görşelliği göstermek amacıyla kentsel alanda yapılaşmanın yoğun olduğu bir bölgeden seçilmiş dijital yüzey modeli parçası Şekil 4'te gösterilmektedir.

4. DYM KALİTE DEĞERLENDİRMESİ

3B DYM kalite değerlendirmesinin iki ana bileşeni doğruluk ve görşeliktir. DYM'nin doğruluğu çeşitli yöntemlerle belirlenebilir. Bu yöntemlerden en genel olanı referans bir DYM ile kıyaslamadır. Referans DYM, çalışma alanını tamamen kapsamlı, distorsiyon içermemeli, daha yüksek yatay ve düşey doğruluklu ve daha küçük orijinal grid aralıklı olmalıdır.

Doğruluk analizlerini gerçekleştirmek için birtakım ön koşullar yerine getirilmelidir. İlk olarak, değerlendirilen model ile referans modelin aynı model tipinde olmaları (dijital yüzey modeli, dijital yüzey modeli ya da DYM, DYM) gerekir. Bu nedenle, öncelikle interferometrik işlem adımları ile elde edilen dijital yüzey modeli referans modelle aynı model tipine, yani DYM'ye dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm sırasında uygun bir filtreleme yöntemi kullanılmış ve çıplak topografya harici tüm yeryüzü objeleri elimine edilmiştir. Eliminasyon sonrası model üzerinde oluşan boşluklar ise enterpolasyon ile doldurulmuştur. Doğruluk analizi öncesi ikinci adımda ise değerlendirilen model ile referans model arasındaki yatay konum farklılıkları giderilmiştir. Bu farklılıklar genelde lokal datulara dayalı koordinatlardan kaynaklanmaktadır. Yatay örtüşmenin tam olarak sağlanamaması durumunda düşey doğruluk kesinlikle sağlıklı şekilde belirlenemeyecektir.



Şekil 4. TSX dijital yüzey modelleri (a: geniş alan, b: kentsel alan, c: örnek bölge).



Şekil 5. Yatay konum farklılığının düşey doğruluk üzerindeki etkisi.

Yatay konum farklılığının düşey doğruluk üzerindeki etkisi Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 5'te iki farklı DYM üzerinde aynı konumda bulunan bir 'P' noktasının ' ΔD ' kadar bir yatay konum farklılığı nedeniyle üst üste örtüşmediği görülmektedir. İşte bu durum, düşey konumda ' ΔZ ' kadar bir hata meydana gelmesine neden olmaktadır.

Çalışmada, yatay konum farklılıklarının giderilmesi için yatay ötelemeler gerçekleştirilmiştir. Bu ötelemelerde temel mantık değerlendirilen modele ve referans modele ait piksellerin iteratif bir şekilde dengeleme ile örtüştürülmesidir. Tablo 3, yatay ötelemeler öncesi ve sonrasındaki yükseklik değerlerinin karesel ortalama

hatasını (RMSZ) ve geniş ve kentsel alan için uygulanan yatay öteleme miktarlarını yansıtmaktadır.

Tablo 3. Yatay ötelemeler ve RMSZ ilişkisi.

DYM	Öteleme öncesi RMSZ [m]	Ötelemeler [m]		Öteleme sonrası RMSZ [m]
		X	Y	
TSX SM geniş alan	11.91	3.40	23.83	11.64
TSX SM kentsel alan	9.02	19.86	27.88	8.59

Yatay ötelemeler ile konum farklılıklarının giderilmesinin ardından düşey doğruluk analizleri gerçekleştirilmektedir. Doğruluk arazi eğimine göre değişiklik gösterdiğinden, doğruluk değeri bir tamsayı ve arazi eğim etkisine göre değişiklik gösteren bir değer toplamından meydana gelmektedir.

Çalışmada, doğruluk analizleri yine piksel tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Değerlendirilen modellerdeki her bir pikselin referansa göre yükseklik farklılığı hesaplanmış ve bu temelde değerlendirilen modellere ait yüksekliklerin referanstan olan standart sapmaları belirlenmiştir. Analizlerde, referansta karşılık geldikleri piksellerle yükseklik farkları 50m'yi aşan noktalar kaba nokta olarak tanımlanmış ve doğruluk hesaplanmasına dahil edilmemişlerdir. Bu noktalar, kabul edilmeyen nokta (KEN) olarak adlandırılmışlardır. Doğruluk analizlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 4'te görülmektedir.

Tablo 4. Doğruluk analiz sonuçları.

Referans model	Değerlendirilen model	Doğruluk (m)	KEN (%)
REFDYM	TSX geniş alan	$9.11 + 4.79 \times \tan(\alpha)$	0.00
REFDYM	TSX kKentsel alan	8.66	0.00

Şekil 1'de bulunan arazi eğim grafiği göz önüne alındığında bu Tablo 5'teki gibi genişletilebilir. Bilindiği üzere, arazi eğimi görüntüleme sistemleri için belirgin unsurlardan biridir. Tablo 5'te açıkça görüldüğü gibi, TSX DYM'nin doğruluğu geniş alanda kentsel alana göre daha düşüktür.

Tablo 5. Arazi eğimine bağlı doğruluk sonuçları.

DYM	Arazi eğimine bağlı doğruluk Tan (eğim)(m)		
	0	0.1	0.2
TSX geniş alan	9.11	9.59	10.07
TSX kentsel alan	8.66	8.66	8.66

Bu sonuç, önceki SAR görüntüleme algılayıcılarında (örn. SRTM) olduğu gibi dik, dağlık ve ormanlık

topoğrafyanın, TSX SM modu verisi için de sorun oluşturduğunu açıkça ortaya koymaktadır [14,15]. Genel olarak, TSX SM modu verisi ile elde edilen DYM doğruluğu, arazi eğimine bağlı olarak 8 ila 10m arasındadır.

5. TSX VERİSİ İLE PERSISTENT SCATTERER İNTERFEROMETRİ

Bu çalışmada, TSX verisini kullanarak gerçekleştirilen persistent scatterer (PS) interferometri işlemi ağırlıklı olarak [16, 17] belirtilen fikirlere dayanmaktadır. PS interferometri genel olarak iki aşamalı bir yöntemdir. İlk aşamada atmosfer, sabit noktalardan oluşan seyrek bir ağ yardımı ile değerlendirilir. Atmosferin elenmesinden sonra süreç, incelenen piksele ait yüksekliğin hesaplanması için zaman serileri yaklaşımı kullanılarak piksel tabanlı şekilde devam eder. Her bir piksel için ana sonuç, onun yüksekliği ve inter-image uyumu olarak adlandırılan ve faz artıklarından hesaplanan kalite ölçümüdür. Sadece önceden belirlenmiş bir eşik değer üzerinde inter-image uyumu olan pikseller PS olarak kabul edilir. Genel uygulamaya karşıt olarak, algoritmanın son adımında deformasyon

modellenmemektedir (örn. piksel bazlı işlemler). Bu nedenle, büyük deformasyona uğrayan PS, düşük inter-image uyumu ile sonuçlanan büyük faz artıkları sebebiyle red edilebilmektedir. Ayrıca, yavaş hareket eden PS'in yükseklik hesabının doğruluğu, ek faz gürültüsünü temsil eden deformasyon fazından dolayı düşebilir.

Çalışmada, PSI için kullanılan veri kümesi, iki yılı aşkın sürede (Aralık 2008 - Ocak 2011) elde edilmiş Barcelona'ya ait 24 TSX SM görüntüsünden oluşmaktadır. PSI süreci ICC ile işbirliği halinde yürütülmektedir.

TSX verilerinden elde edilen PS sonuçlarının değerlendirilmesinde, Barselona test alanından 40 bina seçilmiş ve Google Earth ortamında bulunan ve ICC tarafından sağlanmış lazer tarama bina verileri ile yükseklikleri kıyaslanmıştır. Google Earth'ten bina yüksekliklerinin okunması sırasında arazi yükseklikleri hariç tutulmuştur. Şekil 6 ve Tablo 6 sırasıyla, seçilen binaların Google Earth görüntülerini ve PSI sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 6. PSI analizleri için Google Earth'ten seçilmiş binalar.

Tablo 6. PSI analiz sonuçları.

Bina no	Google Earth (m)	PS (m)	Fark (m)	Bina no	Google Earth (m)	PS (m)	Fark (m)	RMSZ (m)
1	12	11.85	-0.15	21	10	8.21	-1.79	2.58
2	13	8.2	-4.8	22	14	9.12	-4.88	
3	12	13.67	1.67	23	14	13.68	-0.32	
4	22	14.59	-7.41	24	14	13.68	-0.32	
5	8	10.03	2.03	25	17	14.59	-2.41	
6	12	10.03	-1.97	26	18	14.59	-3.41	
7	9	9.12	0.12	27	17	14.59	-2.41	
8	16	24.62	8.62	28	13	16.41	3.41	
9	12	10.03	-1.97	29	12	13.67	1.67	
10	13	11.86	-1.14	30	13	12.76	-0.24	
11	14	12.77	-1.23	31	15	16.42	1.42	
12	15	13.68	-1.32	32	15	14.59	-0.41	
13	13	10.94	-2.06	33	17	10.03	-6.97	
14	14	14.59	0.59	34	8	10.94	2.94	
15	14	16.41	2.41	35	11	11.85	0.85	
16	13	16.41	3.41	36	14	15.5	1.5	
17	11	11.85	0.85	37	8	6.38	-1.62	
18	14	11.85	-2.15	38	20	10.03	-9.97	
19	13	Eşleşmiyor	-	39	21	19.14	-1.86	
20	17	12.77	-4.23	40	7	5.47	-1.53	



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 7. Arızalı binaların eğik (oblique) bakıştaki görünüşleri (a: 4, b:8, c:33, d:38) (Bing map, 2012).

Tablo 6’da görüldüğü üzere, TSX’ten elde edilen PS değerleri lazer tarama ile elde edilen Google Earth verileri ile tamamen uyumludur ve farkların karesel ortalama hatası 2.5 m dolayındadır. Google Earth verisi ile kıyaslandığında bina yüksekliği 5 m’den fazla olan binalar tabloda koyu kırmızı renkle işaretlenmiştir. Bu binalar (Şekil 7) düzensiz çatı yapılarına sahiptir ve Google Earth prizmatik bina modelinde yalnızca tek yükseklik değerine sahip olmaları PS verisi ile karşılaştırılmalarını zorlaştırmaktadır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu araştırmada, Barselona kentinde güncel SAR uydusu TSX’e ait verilerden üretilen dijital yükseklik modellerinin ve PS büyüklüklerinin değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda gerçekleştirilen iş ve işlemler ışığında şu sonuç yargılarına ulaşılabılır:

İnterferometri tekniği ile gerçekleştirilen 3 boyutlu çalışmalarda görüntü çifti seçimi çok önemlidir ve uygun olmayan çiftlerle işlem yapmak yalnız çıkarımlara neden olacaktır.

Farklı topoğrafik özelliklerde test alanları kullanımı, ya da arazi örtüsü/kullanımı bazlı bir sınıflandırma 3 boyutlu veri kalitesinin tespitinde farklı tipte formasyonların verdiği tepkileri ölçebilme açısından oldukça geçerli bir yöntem olarak kullanılabilir.

Kalite değerlendirmesinde referans veriler ile değerlendirilen verilerin aynı tipte olması sonuç yargılamaların güvenilirliğini artıran bir etken olacaktır.

Kalite değerlendirmesinde karşılaştırılan 3 boyutlu modeller planimetrik olarak tam örtüşme halinde olmalıdır.

TSX SM moddan üretilen 3 boyutlu modeller kentsel ve düz alanlarda, dik ve dağlık topoğrafyalara göre daha iyi sonuç vermektedir (8m civarında).

TSX PSI sonuçları, Barselona kentinin Google Earth ortamındaki lazer tarama verisi ile oldukça uyumludur ve farkların RMSZ değeri 2.5 m dolayındadır.

TSX ve TanDEM-X uydularının senkronizasyonundan elde edilecek verilerin 3B kalitesinin daha iyi değerlerde olacağı beklenmekte ve bu yöndeki çalışmalar devam etmektedir.

7. TEŞEKKÜR

Alman Havacılık ve Uzay Merkezine (DLR) çok uluslu projemize (LAN_0634) ücretsiz olarak 85 TSX uydü görüntüsü ile destek vermesinden dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

Barselona test bölgesine ilişkin referans modeli bizlere sağlayan ayrıca PSI çalışmalarımıza destek veren Katalunya Kartografya Enstitüsü’ne de teşekkürü bir borç biliriz.

8. KAYNAKLAR

[1] Rosen, P. A., Hensley, S. and Joughin, I. R., (2000) Synthetic Aperture Radar Interferometry, *Proceedings of the IEEE*, 88 (3): 333-382.

[2] Hensley, S., Munjy, R. and Rosen, P., (2001) Interferometric Synthetic Aperture Radar (IFSAR), *Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual* (David F. Maune, editor), American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland, pp. 142-207.

[3] Rabus, B., Eineder, M., Roth, A. and Bamler, R., (2003) The Shuttle Radar Topography Mission – A New Class of Digital Elevation Models Acquired by Spaceborne Radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 57, No. 4, pp. 241-262.

[4] Sefercik, U.G. and Jacobsen, K., (2006) Analysis of SRTM Height Models”, Fifth International Symposium Turkish-German Geodetic Days, Technical University, Berlin, Almanya, 28-31 Mart 2006.

[5] ISPRS Working Group VII/2 - SAR Interferometry. <http://www.commission7.isprs.org/wg2/> (accessed 15 Apr. 2012).

[6] Jacobsen, K., (2003). DEM Generation from Satellite Data. EARSeL Workshop, 5-7th June, Ghent, Belgium, pp. 273-276.

[7] Lin, Q., Vesecky, J. F. and Zebker, H. A., (1994) Comparison of Elevation Derived from InSAR Data with DEM Over Large Relief Terrain. *International Journal of Remote Sensing*, Vol: 15, pp.1775-1790.

[8] Roth, A., (2003) TerraSAR-X: A New Perspective for Scientific Use of High Resolution Space-Borne SAR Data, 2nd GRSS/ISPRS Joint Workshop on "Data Fusion and Remote Sensing over Urban Areas, 22-23 May, Berlin, Germany

[9] Raggam, H., Gutjahr, K. H., Perko, R. and Schardt, M., (2010) Assessment of the Stereo-Radargrammetric Mapping Potential of TerraSAR-X Multibeam Spotlight Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 48. No. 2. pp 971-977.

[10] Bamler, R. and Hartl, P., (1998) Synthetic Aperture Radar Interferometry. *Inverse Problems*, Vol. 14, No. 4, R1-R54.

[11] Sefercik, U., (2010) Generation and Evaluation of DEMs Derived by TerraSAR-X InSAR Images,

Doktora Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Haziran 2010.

[12] Sefercik, U. and Soergel, U., (2010) Comparison of High Resolution InSAR and Optical DEMs. EARSeL Joint SIG Workshop: Urban - 3D – Radar – Thermal Remote Sensing and Developing Countries, Ghent, CD, 13 p.

[13] Goldstein, R. M. and Werner, C. L., (1998) Radar for Geophysical Applications Interferogram Filtering. *Geophysical Research Letters*, Vol. 25, No. 21, pp. 4035-4038.

[14] Koch, A. and Heipke, C., (2001) Quality Assessment of Digital Surface Models Derived From the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, University of New South Wales, 9-13th July, Sydney (Australia).

[15] Sefercik, U. and Alkan, M., (2009) Advanced Analysis of Differences Between C and X Bands Using SRTM Data for Mountainous Topography, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Springer, ISSN: 0255-660X (Print) 0974-3006 (Online), Press: DOI: 10.1007/s12524-009-0044-4, Pages: 335-349.

[16] Ferretti, A., Prati, C. and Rocca, F., (2000) Nonlinear Subsidance Rate Estimation Using Permanent Scatterers in Differential SAR Interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 38(5), pp. 2202-2212.

[17] Liu, G., Buckley, S. M., Ding, X., Cheng, Q. and Luo, X., (2009) Estimating Spatiotemporal Ground Deformation With Improved Permanent Scatterer Radar Interferometry”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 47 (8), pp. 2762-2772.

ÖZGEÇMİŞLER

Yrd. Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

1981 yılında Zonguldak'ta doğdu. Liseyi Zonguldak Fen Lisesi'nde tamamladı. Lisans, Yüksek lisans ve Doktora derecelerini Bülent Ecevit Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'nden 2003, 2006 ve 2010 yıllarında aldı. Ayrıca Leibniz Hannover Üniversitesi, Fotogrametri ve Geoinformasyon Enstitüsü'nden Master sertifikası bulunmaktadır. Doktora öğrenimini 9 ay süreyle yine Hannover'de sürdürmüştür. Uzmanlık alanları; yüksek çözünürlüklü uydu verilerinin kalite değerlendirmeleri, sayısal yükseklik modellerinin üretimi ve doğruluk analizleri, mikrodalga (radar) algılama sistemleri, yapay açıklı radar interferometri tekniği (InSAR), hava kaynaklı lazer tarama ve sayısal fotogrametrik harita üretimidir. İyi derecede

İngilizce, orta düzeyde Almanca bilmektedir. Halen Bülent Ecevit Üniversitesi'nde Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır.

Yük. Müh. Alexander SCHNUERT

Alexander Schnuert, 1983 yılında Almanya, Hildesheim'da doğdu. Lisans derecesini Almanya, Leibniz Hannover Üniversitesi, Jeodezi ve Jeoinformatik Bölümü'nden 2008 yılında aldı. 2008 yılının sonbaharından 2009 yılı baharına dek savunmayla ilişkili çalışmalar yürüten bir Alman araştırma enstitüsü olan Optroniks ve Patern Tanıma Enstitüsü, Uygulamalı Bilimler Araştırma Kurumu'nda Araştırmacı olarak görev yaptı. Bu süre boyunca yapay açıklıklı radar interferometri ile ilgili çalışmalar yürüttü. 2009 baharından bu yana Leibniz Hannover Üniversitesi Fotogrametri ve Geoinformasyon Enstitüsü'nde doktora öğrenimine devam etmektedir. Çalışmaları, persistent scatterer interferometri ile patern tanıma tekniklerinin entegrasyonu ve persistent scatterer sonuçları ile tamamlayıcı harita veya lidar verilerinin kombinasyonu ile ilgilidir

Prof. Dr. Uwe SOERGEL

Uwe Soergel 1969 yılında Almanya Zell (Mosel)'de doğdu. 1997 yılında, Almanya Erlangen'de bulunan Erlangen-Nürnberg Üniversitesi'nden elektrik mühendisi olarak mezun oldu. Doktorasını, 2003 yılında Almanya Hannover'de bulunan Leibniz Hannover Üniversitesi'nde tamamladı. 1997 yılının sonbaharından 2005 yılı sonuna dek savunmayla ilişkili çalışmalar yürüten bir Alman araştırma enstitüsü olan Optroniks ve Patern Tanıma Enstitüsü, Uygulamalı Bilimler Araştırma Kurumu'nda araştırmacı olarak görev yaptı. Bu kurumda genel olarak, yapay açıklıklı radar temelindeki uzaktan algılama görüntülerinden insan yapısı objelerin patern tanınması üzerinde çalışmalar yürüttü. Ocak 2006 tarihinde Leibniz Hannover Üniversitesi, Fotogrametri ve Geoinformasyon Enstitüsü'nde, Radar Uzaktan Algılama alanında yardımcı doçent olarak göreve başladı ve 2010 yılında radar uzaktan algılama ve aktif sistemler alanında profesör ünvanını elde etti. Halen aynı Enstitü'de görev yapmaktadır.

Yük. Müh. Kinichiro WATANEBE

Kinichiro Watanebe 1981 yılında Yamagata, Japonya'da dünyaya geldi. 2006 yılında, Japonya Sendai'de bulunan Tohoku Üniversitesi'nden matematik alanında Yüksek Lisans derecesini aldı. Uzmanlık alanı, optik ve yapay açıklıklı radar uzaktan algılama görüntülerinden dijital yükseklik modellerinin üretimidir. Kendisi, Nisan 2006 tarihinden bu yana Japonya Konumsal Bilgi Merkezinde görev yapmaktadır.