YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ InSAR VE OPTİK DİJİTAL YÜZEY MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI DOĞRULUK ANALİZLERİ

U.G. Sefercik[1], D. Maktav[2]
[1] Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Zonguldak. ugsefercik@hotmail.com
[2] İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul. maktavd@itu.edu.tr

ÖZET

Dijital Yüzey Modeli (DYM), yeryüzeyi topoğrafyası ve (varsa) üzerindeki cisimlerin, X, Y planimetrik koordinatları ve Z yükseklik değerleriyle dijital kartoğrafik bir gösterilimidir. Birçok uygulamada bu modellere ihtiyaç duyulmaktadır ve bu ihtiyacın karşılanması için de günümüze dek çeşitli DYM üretim teknikleri geliştirilmiştir. Bu tekniklerden birisi de uzaktan algılamadır. Bu teknik, DYM üretimi için uzaydan veri elde edilmesi ilkesine dayanır ve veri elde edilmesinde optik ve interferometrik yapay açıklıklı radar (InSAR) olmak üzere iki temel yöntem kullanılır. Bu yöntemler birbirlerine kıyasla birçok artı ve eksilere sahiptir. Örneğin, yüksek çözünürlüklü optik görüntüleme ile nesne çıkarımı daha kolay yapılabilmektedir, ancak bulutsuzluk koşulu nedeniyle görüntülerin hava koşullarının elverişli olduğu anlarda alınmaları gereği vardır ve bu hava koşulları ancak yılın belirli dönemlerinde mümkün olabilmektedir. InSAR'da ise nesne çıkarımı optik görüntülemeye kıyasla daha az doğruluklu olmasına rağmen hava koşullarından bağımsız olduğundan yılın her döneminde veri elde etmek mümkündür. Bu çalışmada, InSAR yönteminin kullanıldığı güncel ve en gelişmiş SAR uydularından biri olan TerraSAR-X'in verilerinden ve optik görüntüleme teknolojisi ile çalışan ve kullanımı en yaygın uydulardan biri olan IKONOS'un yüksek çözünürlüklü verilerinden elde edilen DYM'lerin doğruluk analizleri hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, bu iki uydu verilerinden 3m grid aralıklı DYM'ler üretilmiş ve fotogrametrik yöntemle üretilmiş daha yüksek doğruluklu 1m grid aralıklı bir referans DYM ile karşılaştırılarak doğruluk analizleri yapılmıştır. Analizler için İstanbul ilinde Tarihi Yarımada ve çevresi test alanı olarak kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda InSAR ve optik uydu verilerinden elde edilen DYM'lerin birbirlerine göre eksi ve artıları ortaya konmuştur. DYM'lerin değerlendirilmesinde, kesin ve relatif doğruluklar hesaplanmış, referans modelden olan yükseklik farklarının frekans dağılımları belirlenmiştir. Ayrıca, morfolojik yansıtım gücünün değerlendirilmesi için DYM'lerden eş yükselti eğrileri üretilmiş, referanstan olan yükseklik farklarının görsel olarak tasviri için fark yükseklik modelleri oluşturulmuş ve gölgelendirmeler oluşturularak DYM'lerin nesne (yol, binalar vb.) yansıtım kaliteleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: InSAR, TerraSAR-X, IKONOS, DYM, Doğruluk.

ACCURACY ANALYSIS OF HIGH RESOLUTION INSAR AND OPTICAL DIGITAL SURFACE MODELS BY MEANS OF ANALOGY

ABSTRACT

A Digital Surface Model (DSM) is a digital cartographic representation of Earth surface and ground objects with X, Y horizontal coordinates and altitude Z. These models are required for several applications and to satisfy these needs various DSM generation techniques have been developed up to date. Remote sensing is one of these techniques. The base of this technique is the collection of data from space for DSM generation and two main methods as optical imagery and interferometric synthetic aperture radar (InSAR) are applied for data achievement. These methods have several advantages and disadvantages against each other. For example, object extraction is easier by high resolution optical imagery however the images must be obtained when the weather is cloud free. And suitable weather conditions are possible just for limited times of a year. On the other hand, the object extraction by InSAR is less accurate against optical imagery but this process is independent from weather conditions and can be performed in every term of a year. In this study, the accuracy analysis of DSMs derived from one of the most advanced and current InSAR satellites TerraSAR-X's data and one of the most common optical satellites IKONOS's high resolution data are aimed. And according to this aim, DSMs have been generated with 3m grid spacing using these satellites' data and accuracy analysis have been performed by the comparison with more accurate reference digital elevation model (DEM) which is produced by photogrammetry and has 1m grid spacing. For the analysis, Historical Peninsula and near surroundings in İstanbul is used as test field. By the analysis, the advantages and disadvantages of DSMs derived from InSAR and optical satellites' data are exposed. At the evaluation processes of DSMs, the absolute and relative accuracies are calculated and the frequency distribution of height differences between evaluated and reference models are determined. The contour lines of DSMs are created to evaluate the morphologic structures. To visualizate the height differences between evaluated and reference models, differential digital elevation models are created. And the shadings are generated for the assessment of visual quality of objects (roads, buildings etc.) at the DSMs.

Keywords: InSAR, TerraSAR-X, IKONOS, Digital Surface Model (DSM), Accuracy.

1. GİRİŞ

Günümüzde uzaktan algılama teknolojileri yükselen bir ivmeyle gelişim göstermekte her yıl değişik tipte çalışma prensipleri ve görüntü alım konfigürasyonları içeren yeni uydular fırlatılmaktadır. Bu uydular bir çok farklı disiplinden kullanıcılara yeryüzü topoğrafyası ve üzerindeki cisimler ile ilgili güncel bilgiler sağlamaktadır. Uzaktan algılama uyduları ve bunlara bağlı görüntüleme teknikleri, *optik ve yapay açıklıklı radar (YAR)* olmak üzere iki ana kategoride değerlendirilebilir. *Optik sistemler*, fotoğraf çekimine benzer kimyasal bir yaklaşımla, CCD sensörler yardımıyla yeryüzü cisimlerinden elektromanyetik spektrumun belirli aralıklarında algılanan yansıma değerlerine göre görüntü piksellerini doldurma ve dijital görüntüyü oluşturma prensibine dayalı olarak çalışmaktadır. Bu sistemler elektromanyetik spektrumun görünür (0.4-0.7µm) ve özel emisyonlar kullanılarak kızılötesi (0.7-15µm) bölgelerinde aktif olarak veri edilmesinde kullanılmaktadır. Optik sistemlerle elde edilen verilerin çözünürlüğünde özellikle son 15 yıl içerisinde büyük bir gelişim sağlanmış ve 1999 yılında fırlatılan IKONOS uydusu ile pankromatik (PAN) bantta 1m mekansal çözünürlük sağlanmıştır. Takip eden 11 yıl içerisinde optik sistemlerin çözünürlüğü 2008 yılında fırlatılan Geoeye-1 uydusu ile PAN bantta 41cm seviyelerine kadar ulaşmıştır. Optik sistemlerin sunduğu bu çok yüksek çözünürlüğe karşın bir de büyük problemi bulunmaktadır. Bu problem, görüntülerdeki bulutsuzluk koşuludur, yani bulutların görüntü detaylarını örtmesi sonucunda görüntülerde kayıplar yaşanmakta ve uygun görüntüler ancak yılın bazı dönemlerinde ve uygun hava koşullarında elde edilebilmektedir.

YAR sistemlerinin görüntüleme mantığı ise fiziksel esaslara dayanmaktadır. Bu sistemler ilgilenilen yeryüzü bölgesine, yansıtıcı ve alıcı antenler yardımıyla mikrodalga enerji darbeleri göndererek sistemin görüş alanı içinde bulunan cisimlerden alınan yansımaların kaynağını ve gücünü kaydeder. YAR sistemleri hava koşullarından bağımsız çalışmakta olup günün yirmidört saati ve yılın her döneminde veri toplayabilme özelliğine sahiptir. Çözünürlük boyutunda ise bu sistemler optik sistemler kadar hızlı bir gelişim gösterememiştir. Uzun süre çözünürlük 20-30m dolaylarında kalmıştır (ERS-1, JERS-1, ERS-2, ENVISAT vb.). Daha sonra RADARSAT-2 ve ALOS (PALSAR algılayıcısı) gibi uydularla 10m dolaylarına kadar yükselen çözünürlük 2007 yılında bilim çevrelerince YAR teknolojileri için bir devrim olarak kabul edilen TerraSAR-X uydusu ile yüksek çözünürlüklü Spotlight görüntüleme modunda 1m seviyesine ulaşmıştır. Optik görüntüler kadar yüksek çözünürlük sunan, hava koşullarından bağımsız çalışan ve tek, çift ve dörtlü olmak üzere üç farklı polarizasyon modu kullanabilen TerraSAR-X uydusu verileri kısa zamanda yoğun şekilde kullanılmaya başlanmıştır (URL 1).

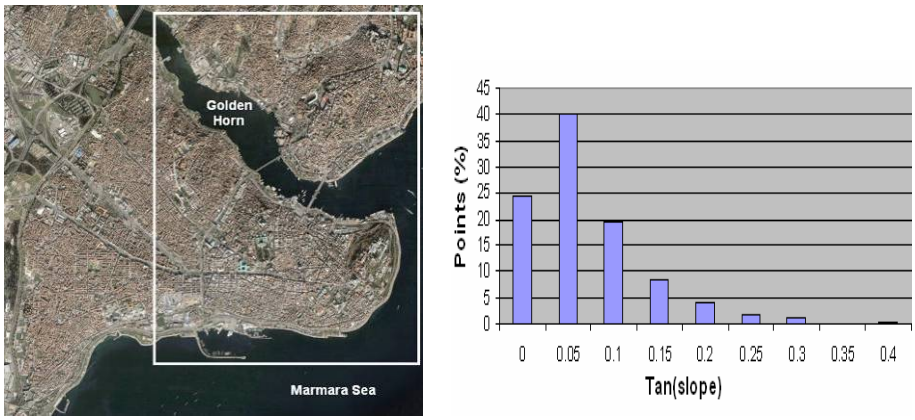
Bu çalışmada da, TerraSAR-X uydusundan üretilen DYM'lerin doğruluklarının farklı parametreler ve analizler göz önünde tutularak belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, İstanbul ilinde Tarihi Yarımada ve yakın çevresini kapsayan bir bölge test alanı olarak seçilmiş, bu bölgede TerraSAR-X uydusunun yüksek çözünürlüklü Spotlight (1m) modundan 3m grid aralıklı DYM üretilmiştir. Ayrıca, yine aynı bölgede, optik görüntüleme sistemleri içerisinde kullanımı en yaygın olan IKONOS'un PAN bantta 1m çözünürlüklü verilerinden yine 3m grid aralıklı DYM üretilmiştir. Bilindiği gibi, doğruluk seviyesinin belirlemesinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biri daha yüksek doğruluklu bir modelle karşılaştırmadır ve bu yöntem bir DYM'nin doğruluğunun anlaşılmasındaki en güçlü yollardan biridir (Lin vb., 1994). Bu yöntemdeki iki temel ve kritik nokta, karşılaştırmada kullanılan referans modelin daha yüksek doğruluğa sahip olması ve test alanında distorsiyon içermemesidir. Bu mantıktan hareketle analizlerde fotogrametrik yöntemlerle elde edilmiş daha yüksek doğruluklu (10cm-1m) ve 1m grid aralıklı bir dijital yükseklik modeli referans olarak kullanılmıştır. Çalışmada TerraSAR-X ve IKONOS DYM'leri referans modelle ayrı ayrı karşılaştırılmış ve sonuçlar mukayese edilerek TerraSAR-X uydusu DYM'sinin yüksek çözünürlüklü optik verilerden üretilmiş bir DYM'ye göre eksi ve artıları analiz edilmiştir.

2. TEST ALANI VE KULLANILAN VERİLER

2.1. Test Alanı

Test alanı 14 milyon nüfusu ile en büyük megakentlerden İstanbul'un tarihi açıdan en büyük öneme sahip bölgelerinden biri olan Tarihi Yarımada ve yakın çevresi olarak belirlenmiştir. Bu bölge, İstanbul'un Avrupa yakasında bulunmakta olup yaklaşık 8×10km'lik bir alanı kapsamakta ve çıplak topoğrafyada yükseklikler 130m'ye kadar uzanmaktadır. Şekil 1 test alanına ait yüksek çözünürlüklü

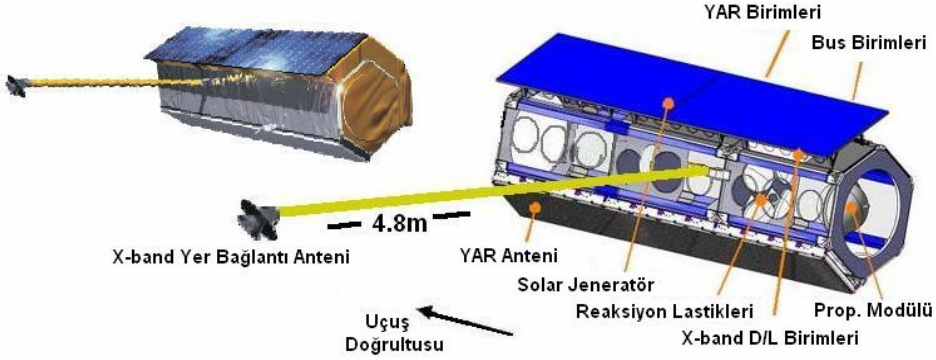
IKONOS görüntüsünü ve topoğrafyaya ait yükseklik frekans dağılım grafiğini göstermektedir. Test alanı uydu görüntüsünde beyaz çerçeve ile sınırlanmıştır.



Şekil 1. Test alanı (IKONOS) ve yükseklik frekans dağılım grafiği

2.2. Kullanılan Veriler

Çalışmada, giriş bölümünde de bahsedildiği gibi, DYM üretiminde TerraSAR-X uydusunun yüksek çözünürlüklü (1m) Spotlight mod görüntü çifti ve IKONOS uydusuna ait PAN (1m) görüntü çifti kullanılmıştır. Doğruluk analizlerinde referans olarak ise fotogrametrik yöntemlerle elde edilmiş 10cm-1m doğruluğa sahip 1m grid aralıklı bir dijital yükseklik modeli kullanılmıştır. TerraSAR-X uydusu InSAR tekniğini kullanan en güncel uydulardan biridir. Uydunun planlanan görev süresi en az 5 yıldır. Şekil 2 ve Tablo 1 uydu bileşenlerini göstermektedir.



Şekil 2. TerraSAR-X sistem bileşenleri

Tablo 1. TerraSAR-X sistem bileşenleri (URL 2)

Fırlatma tarihi/yeri	15 Haziran 2007, Baikonur, Kazakistan (Rusya)
Taşıyıcı	Dnepr-1
Uydu kütlesi/ boyutları	1230 kg / 5 m yükseklik x 2,4 m derinlik
Yörünge özellikleri	514 km yükseklik, 11 günlük tekrarlanma, 97.44º eğim (yatıklık)
Anten	4.8 m aktif dizinli, multi-pol, yükseklik ve azimutta sürekli
Radar frekansı/ Güç	9.65 GHz/ 800 W ortalama
Veri alımı, misyon merkezleri	DLR, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Weilheim
Band genişliği	150 MHz (300 MHz deneysel)
Hafıza/ Uydu-yer bağı	256 Gbit (uydu ömrü sonu)/ 300 Mbit/s
Uydu ömrü	En az 5 yıl
Görüntüleme modları	Stripmap (3m), Spotlight (1-2m) ve ScanSAR (16m)

Tablo 1'den de görüldüğü gibi TerraSAR-X, Stripmap, Spotlight (SL) ve ScanSAR olmak üzere üç farklı görüntüleme moduna sahiptir. Bu modlar, yüksek çözünürlüğün yanı sıra büyük alanlarda

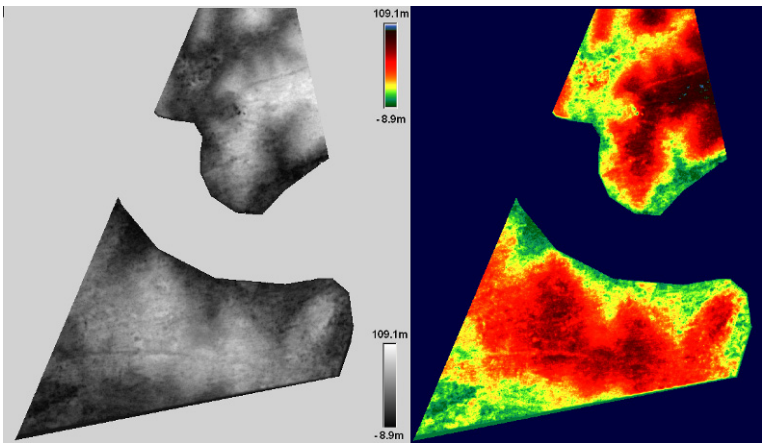
yapılacak analizler için geniş kapsama alanı sunmakta ayrıca tek, çift ve dörtlü polarizasyonlar kullanılarak görüntüleme yapabilmektedir. Tüm bu modlara ek olarak, önceden de belirtildiği gibi, TerraSAR-X verileri çift geçişli interferometri tekniği için kullanılabilir ve bu yolla DYM üretimi yapılabilir. TerraSAR-X iki ayrı Spotlight modu kullanmaktadır. Bunlardan ilkinin adı Spotlight olup ve 10km×10km'lik bir çerçevede veri toplamaktadır. Bu modda toplanan verilerin çözünürlüğü 2m'dir. İkincisinin adı ise 'yüksek çözünürlüklü Spotlight' (YÇS)'dir. Bu modda çerçeve boyutu 5km×10km (boy×en) ve çözünürlük 1m'dir. Bu iki mod arasında yalnızca Spotlight modun azimutta görüntü kapsama sahasını artırmak için geometrik azimut çözünürlüğü arasında fark bulunmaktadır. Belirli bir bölgenin gözlemi boyunca radar ışını spot ışıklarına benzer şekilde bir süreklilik oluşturduğundan ilgileninlen bölge daha uzun süre aydınlatılabilmektedir. Böylelikle yapay açıklık daha geniş olmaktadır. En yüksek azimut süreklilik açısı ise ±0.75°'dir (Roth, 2003). Bu araştırmada, DYM üretimi için bir YÇS mod TerraSAR-X görüntü çifti kullanılmıştır. Görüntüler uydunun aynı bölgeden çift geçişi ile elde edilmiş ve aralarında yaklaşık beş ay zaman farkı bulunmaktadır. Şekil 3 kullanılan TerraSAR-X YÇS mod görüntü çiftini, Tablo 2 ise bu görüntülerin karakteristik özelliklerini göstermektedir.

Şekil 3. TerraSAR-X YÇS mod YAR görüntüleri (Tarihi Yarımada ve yakın çevresi)

Tablo 2. TerraSAR-X YÇS mod YAR uydu görüntülerinin karakteristik özellikleri

Karakteristikler	**YÇS TerraSAR-X Görüntü 1**	**YÇS TerraSAR-X Görüntü 2**
Algılayıcı Id/modu	YAR/YÇS	YAR/YÇS
Görüntü alımı başlama tarihi	2008-05-05T15:57:33,985	2008-10-06T15:57:42,522
Görüntü alımı bitiş tarihi	2008-05-05T15:57:34,738	2008-10-06T15:57:43,262
Polarizasyon modu/kanalı	Tekli polarizasyon/ HH	Tekli polarizasyon/ HH
Bakış / geçiş yönü	Sağ bakış/ alçalış	Sağ bakış/ alçalış
Merkez eğim açısı	40.9752891207	41.0898290780
Görüntünün boyu ve eni	5km×10km	5km×10km

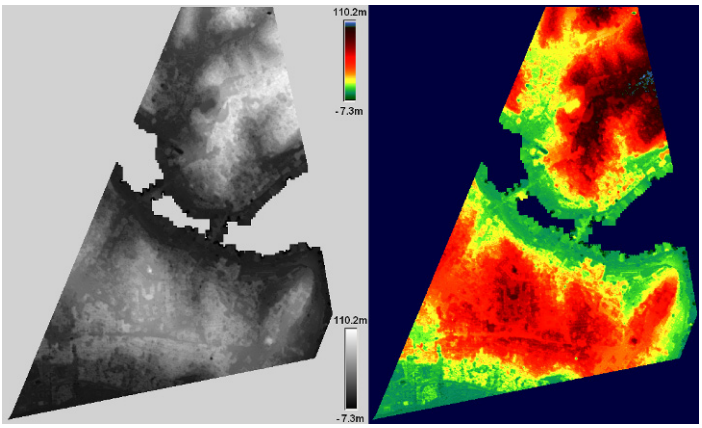
YAR görüntü çiftlerinden DYM üretimi stereo-optik görüntülerden DYM üretimi kadar kolay değildir. DYM üretimi için, baz uzunluğu değerlendirmesi, kompleks görüntülerin "master" ve "slave" olarak kaydı, azimut ve mesafe bakışlarının tespiti, interferogram yaratılması, uyum grafiklerinin çizilmesi, filtreleme, faz bütünleme, yörüngesel iyileştirme, faz yükseklik dönüşümü ve geokodlama gibi birçok interferometrik işlem adımına ve bu adımlarda birçok eşik değere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu eşik değerler her aşamada doğru tespit edilmeli ve uygulanmalıdır. Aksi halde, istenilen kalitede DYM üretimi mümkün olamamaktadır. Bu çalışmada, YAR görüntülerinden DYM üretilmesi için ENVI 4.6 yazılımı ve SARScape modülü kullanılmıştır. TerraSAR-X YÇS mod görüntü çiftinden üretilen DYM ve renkli versiyonu Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. TerraSAR-X YÇS mod görüntü çiftinden üretilmiş DYM (grid aralığı: 3m)

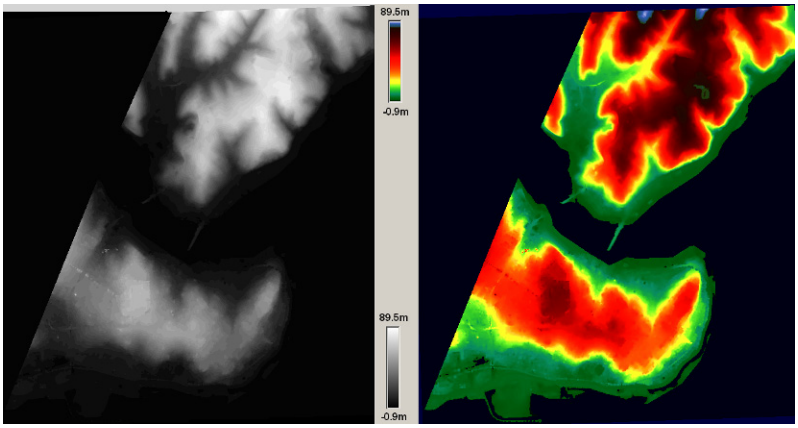
Dünyanın ilk ticari yüksek çözünürlüklü optik uydusu olan IKONOS PAN ve çok spektrumlu (MS) algılayıcılara sahiptir ve 681 km yörünge yüksekliğinden 11.3km tarama genişliği ile 0.82 (PAN) ve 4m (MS) çözünürlüklü görüntüler sağlamaktadır. Ayrıca PAN ve MS birleşimi ile 1m pan-sharpened renkli görüntü oluşturulabilmektedir. IKONOS bugüne dek her kıta için 300 milyon km^2'den fazla görüntüleme yapmış ve bu görüntüler ulusal güvenlik, askeri haritalama, hava ve deniz taşımacılığı, bölgesel ve yerel hükümetler tarafından ve diğer her türlü alanda kullanılmaktadır (referans URL 3). Bu çalışmada, önceden de bahsedildiği gibi, 1m yer örnekleme aralıklı PAN IKONOS GEO stereo modeli kullanılmıştır. Yüksekliğin baza oranı 1.6 (yaklaşma açısı 35°) ve güneş yükseklik açısı 65.5° (Alobeid vb, 2009)'dir. Bu stereo modelden 3m grid aralıklı olarak üretilen IKONOS DYM'si iyileştirme işlemlerinden geçirilerek (öteleme, kaba nokta filtrelemeleri vb.) değerlendirme analizlerine hazır hale getirilmiştir. Şekil 5 DYM üretiminde kullanılan IKONOS PAN stereo-görüntü çiftini, Şekil 6 ise üretilen DYM'yi (renkli versiyonu ve yükseklik skalası ile birlikte) göstermektedir.

Şekil 5. IKONOS PAN stereo-görüntü çifti



Şekil 6. IKONOS DYM (grid aralığı: 3m)

Çalışmada kullanılan referans dijital yükseklik modeli İstanbul Büyükşehir Belediyesinin bir projesi kapsamında 1:1000 ölçekli dijital hava fotoğraflarından elde edilmiştir ve değerlendirilen modellerle örtüşecek şekilde Tarihi Yarımada ve yakın çevresini kapsamaktadır. Bu model 2007-2009 yılları arasında 5m orijinal grid aralıklı olarak üretilmiş, sonradan çalışmanın gereksinimlerini karşılamak üzere 1m grid aralığına yeniden örneklenmiştir. Modelin kapsama alanı yaklaşık olarak 5km×5km ve doğruluğu 10cm-1m düzeyindedir. Şekil 7 bu referans modeli ve renkli bir versiyonunu yansıtmaktadır.



Şekil 7. Referans model (grid aralığı: 1m)

3. STRATEJİ

Çalışmada ortak koordinat sistemi olarak UTM (Universal Tranverse Mercator) belirlenmiş ve tüm modeller bu sisteme dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm için BLTRA programı kullanılmıştır. Bu program K. Jacobsen tarafından geliştirilmiş BLUH (Bundle Block Adjustment Leibniz University Hannover) demet blok dengelemesi program sisteminin bir parçasıdır. Tüm modellerin UTM sistemine dönüştürülmesinin ardından DYM değerlendirmeleri için bir dizi işlem adımı ve bunlara bağlı programlar kullanılmıştır. BLUH program sisteminin bir parçası olan bu programlar ve işlevleri Tablo 3'te kısaca listelenmiştir.

Tablo 3. DYM değerlendirme programları (Jacobsen, 2007)

Program	Fonksiyon
RASCOR	DYM filtreleme
DEMSHIFT	Başka bir X, Y, Z'ye otomatik DYM ötelemesi ve Z'te ölçekleme
MANI	Obje koordinatlarının manipulasyonu, görüntü yöneltmesi, IMU-verisi ve piksel adresleme, nokta numaralama
DEMANAL	Referansa dayalı DYM doğruluk analizleri
BLCON	Yer koordinatlarının dönüşümü, pencere ile sınırlama, eşit dağılımlı noktalara indirgeme ve grid aralığı değişimi
DEMINT	Raster-dijital yükseklik modelini kullanarak verilen X ve Y'ler ile Z değerlerinin hesaplanması
ZANAL	Pencere fonksiyonları ile enterpolasyon etkisi tespiti
ZPROF	Plot profil çizimi
UNDUL	Geoid ondülasyonu hesabı
HPSHOW	Uçuş yönüne bağlı parametreleri içeren profil çizimi

BLUH sisteminin parçaları olan bu değerlendirme programlarının yanısıra DYM görselleştirmesi, enterpolasyon ve düzenli gridleme için W. Linder tarafından geliştirilmiş olan LISA CBS ve fotogrametri yazılım paketi kullanılmıştır (Linder, 2004). Bu yazılım ile, bir yükseklik modeli ve onun yükseklik kademeleri renkli skala küçükten büyüğe doğru görülebilmekte ve bu işlem farklı renk paletleri oluşturularak yapılabilmektedir. Her işlemde en uygun renk paleti yaratılarak detaylar daha açık şekilde görülebilmektedir. Görselleştirme için LISA yanısıra, özellikle analiz dışı kalan hariç noktaların görselleştirlmesinde Adobe Photoshop CS3 yazılımı kullanılmıştır.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

4.1. DYM Ötelenmesi ve Ön Hazırlıklar

Hatasız doğruluk analizlerini gerçekleştirebilmek için, değerlendirilecek DYM, referans DYM ile tam olarak çakışmalıdır. Bu planimetrik örtüşmeyi sağlamak için, değerlendirilen DYM, referans model ile arasındaki fark kadar ötelenmelidir. Bu uygulama için DEMSHIFT programında otomatik bir öteleme yapılır. Ancak otomatik öteleme belirli bir sınır dahilinde yapılabilmektedir. Modeller arasında 'X' ve 'Y''de büyük farklar olması ve bunun sonucunda iki modelin yükseklik değerlerindeki (Z) farkların ortalamasının (RMSZ) büyük çıkması durumunda otomatik ötelemeden önce manuel bir ötelemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu işlem için öncelikle modeller üzerinden eş konumlu tekil noktalar seçilir ve bu noktalar arasındaki koordinat farkları MANI programında manipule edilerek giderilir. Daha sonra, manipule edilmiş DYM otomatik ötelemeye tabi tutularak, değerlendirilen model ile referans model arasındaki planimetrik fark tam olarak giderilir. Bu çalışmada da ilk olarak otomatik öteleme denenmiş ancak RMSZ değerinin büyük çıkması üzerine öncelikle manuel öteleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Tablo 4 manuel öteleme öncesi ve sonrasındaki RMSZ değerlerini ve 'X' ve 'Y' yönünde otomatik öteleme miktarlarını göstermektedir.

Tablo 4. DYM'ler ve referans model arasındaki ötelemeler

DYM	Orijinal (ilk) RMSZ (m)	RMSZ Manuel öteleme sonrası (m)	Otomatik öteleme (m)		Son RMSZ (m)
			ΔX	ΔY	
IKONOS	13.666	7.443	-11.38	+8.03	7.318
TerraSAR-X SL	13.784	8.444	-7.93	+21.44	8.249

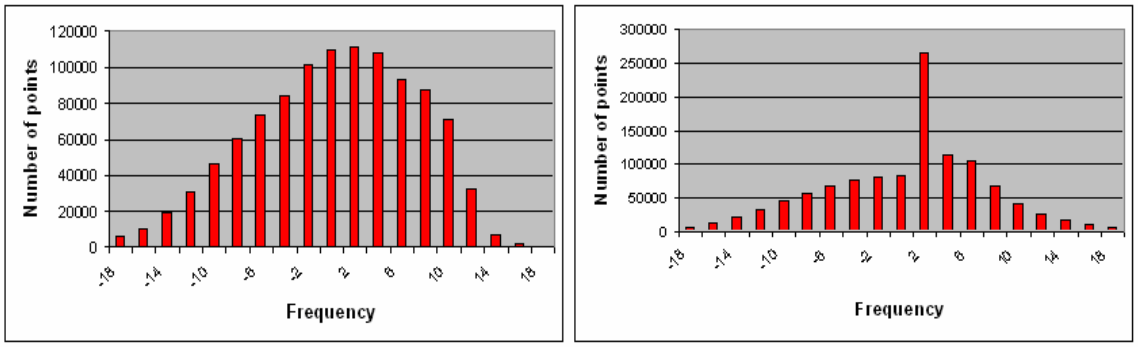
4.2. DYM'lerin Doğruluk Analizleri

DYM'lerin ötelenmesi ve referans model ile tam olarak çakışımlarının sağlanmasının ardından doğruluk analizlerine başlanmıştır. Analizler DEMANAL programında piksel tabanlı olarak gerçekleştirilmektedir. İşleme başlanmadan önce programa bazı ön tanımlama ve sınırlamalar getirilmiştir. Burada amaç kaba hatalı noktaların doğruluk üzerindeki bozucu etkisini en aza indirmektir. Örneğin, referans model ile karşılaştırma sırasında piksel bazında yükseklik farkı 50m'nin üzerinde olan noktaların hesaplamada hariç tutulması istenmiştir. Tablo 5 değerlendirilen modellerin referans modele göre doğruluğunu yansıtmaktadır. Test alanının yaklaşık tamamının yerleşim alanı olması nedeniyle farklı sınıf analizi yapılmamıştır.

Tablo 5. DYM'lerin doğrulukları (SZ)

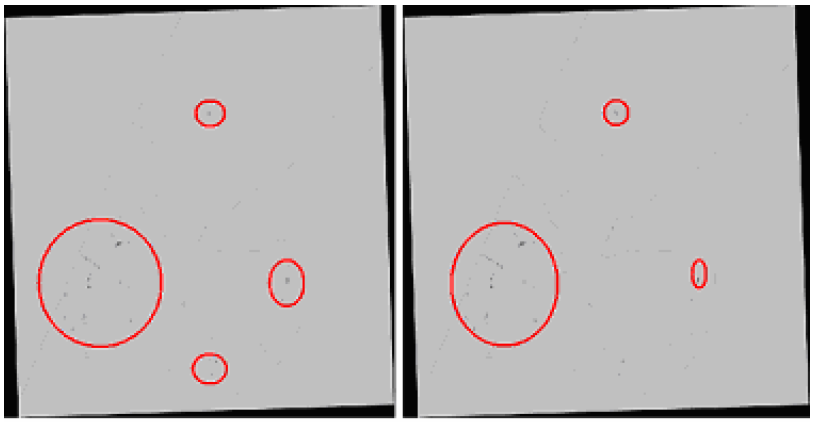
DYM	Genel	
	SZ [m]	Hariç noktalar]%]
IKONOS (3m)	7.04+1.03×tan(eğim)	0.00
TerraSAR-X SL (3m)	7.09+11.22×tan(eğim)	0.00

Bu doğruluk analizlerinde oluşan yükseklik farklarının frekans dağılımı Şekil 8'de görülmektedir. Bu grafik hangi yükseklik farkında ne kadar nokta olduğunu görebilmek açısından oldukça önemlidir. Grafikte dikkat edilmesi gereken en önemli nokta yükseklik farklarının simetrik dağılımıdır. Simetrik dağılım doğruluk üzerinde bina ve/veya bitki örtüsünden kaynaklı bir hata olmadığını göstermektedir. Analizlerde belirtilen kriterleri sağlamayarak hariç tutulan noktalar da Şekil 9'da siyah benekler olarak gösterilmektedir.



IKONOS TSX SL

Şekil 8. Yükseklik farklarının frekans dağılımı



IKONOS TerraSAR-X SL

Şekil 9. Hariç tutulan noktalar (siyah benekler)

Hariç tutulan noktalara bakıldığında hem IKONOS hem de TerraSAR-X SL DYM'lerinde benzer bölgelerde nokta eliminasyonu olduğu görülmektedir. Bu durum referans modelin bu bölgelerde bir takım distorsiyonlara maruz kaldığını göstermektedir.

Araştırmada referans modelle yapılan direkt karşılaştırma sonucunda elde edilen kesin doğrulukların yanı sıra, değerlendirilen DYM'lerin relatif doğruluk analizleri de gerçekleştirilmiştir. Kesin doğruluktan farklı olarak rölatif doğruluklar DYM'lerin iç doğruluklarını ve sağlamlıklarını yansımaktadır. Rölatif doğluklar bir DYM'nin özellikle morfolojik detayları yansıtım gücünü göstermesi açısından da çok önemlidir. Rölatif doğruluk hesabında piksellerin komşu piksellerle olan ilişkileri göz önünde tutulmaktadır.

$$RSX = \sqrt{\sum (dxi - dxj)^2 / (2 \times nx)} \qquad (1)$$

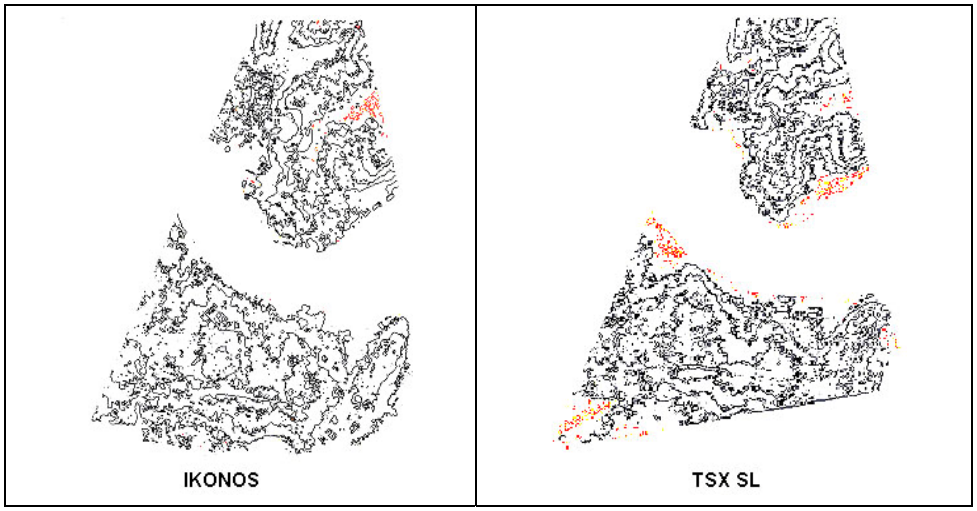
(1) no'lu formülde, RSX = relatif standart sapma, d = noktalar arası uzaklık, dl < d < du; dl = alt mesafe limiti, du = üst mesafe limitini temsil etmektedir. Bu çalışmada, DYM'lerin relatif doğrulukları, her pikselin komşuluğunda bulunan 10 pikselle olan ilişkisini göstermek için bu 10 pikselin her birinin referans modelde karşılık gelen pikselden olan yükseklik farkının hesaplanması ve bu farkların ortalamasının belirlenmesi ilkesine dayalı olarak tespit edilmiştir. Yani örneğin, piksel büyüklüğü 3m ise 3×10= 30m boyunca bir pikselin 10. pikselle olan ilişkisi belirlenmiştir. Tablo 6, IKONOS ve TerraSAR-X SL DYM'lerinin rölatif doğruluklarını göstermektedir. Tablodan da görülebileceği gibi TerraSAR-X SL DYM'si IKONOS'a göre daha iyi bir rölatif doğruluğa sahiptir. Bunun anlamı TerraSAR-X modelinin içsel bütünlüğünün daha güçlü olmasıdır. Bu durum YAR görüntülemenin avantajlarından biridir ve diğer YAR görüntüleme araçları için de geçerlidir (SRTM vb.).

Tablo 6. DYM'lerin relatif doğrulukları

Mesafe (m)	IKONOS (m)	TerraSAR-X SL (m)
1	0.98	0.69
2	1.63	0.98
3	2.14	1.31
4	2.57	1.57
5	2.92	1.82
6	3.23	2.04
7	3.48	2.21
8	3.70	2.37
9	3.89	2.52
10	4.05	2.65

4.3. Morfolojik Detay Analizi

Morfolojik detay analizleri bir DYM'nin değerlendirilmesindeki en önemli aşamalardan biridir. Bu analizde eş yükselti eğrilerinin şekli DYM'lerin relatif doğruluklarını anlayabilmenin bir diğer yoludur. Morfolojik detay analizlerinde birçok faktör etkilidir. Bunların başlıcaları; modelin grid aralığı ve modeldeki gürültü miktarıdır. Eğer bir modelde grid aralığı geniş ise eş yükselti eğrileri daha az nokta ile yaratılacak ve bu da detaylı ve kıvrımlı eş yükselti eğrisinin ortaya çıkmasını engelleyecektir. Yani grid aralığı büyük olan modellerin eş yükselti eğrileri daha düz ve kıvrımsızdır (örneğin, 90m grid aralıklı SRTM C-band gibi (Sefercik, 2006)). Gürültü ise eş yükselti eğrilerinin yapısını bozan ikinci önemli faktördür. Modelde bulunan gürültü istenmeyen noktalarda küçük kontur adacıkları oluşmasına sebep olmaktadır. Ayrıca DYM'lerin içerdikleri binalar da ani yükseklik değişimlerine sebep olduklarından küçük kontur adacıkları oluşmasının başlıca sebepleridir. Şekil 10 değerlendirilen DYM'lerden elde edilen eş yükselti eğrilerini göstermektedir. Üretim 20m eğri kotu aralığında yapılmıştır.

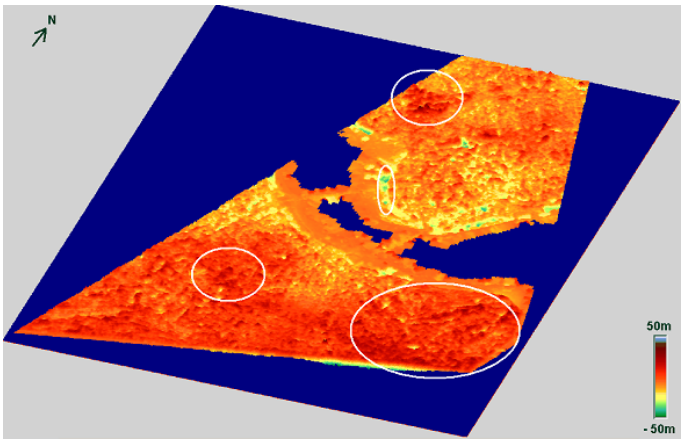


Şekil 10. 20m'lik eğri kotu aralığında IKONOS ve TerraSAR-X SL DYM'den üretilen eş yükselti eğrileri

Şekil 12'den görüldüğü gibi, değerlendirilen modellerin her ikisinden üretilen kontur çizgileri oldukça detaylı ve kıvrımlıdır. Fakat bunun yanında özellikle binalara ve modellerin içerdekileri gürültüye bağlı olarak küçük kontur adacıkları göze çarpmaktadır.

4.4. Fark Yükseklik Modelleri

DYM'lerdeki yükseklik farklarını görselleştirebilmek amacıyla çalışmada fark yükseklik modelleri yaratılmıştır (Şekil 11). Bu model IKONOS DYM'si eksi TerraSAR-X SL DYM'si olarak özetlenebilir.

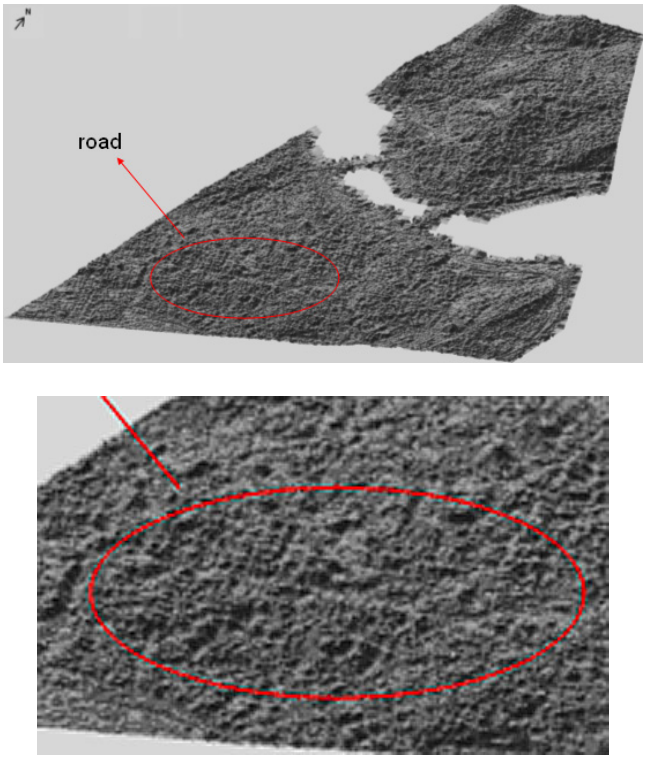


Şekil 11. IKONOS ve TerraSAR-X SL DYM'lerinden üretilen fark yükseklik modeli

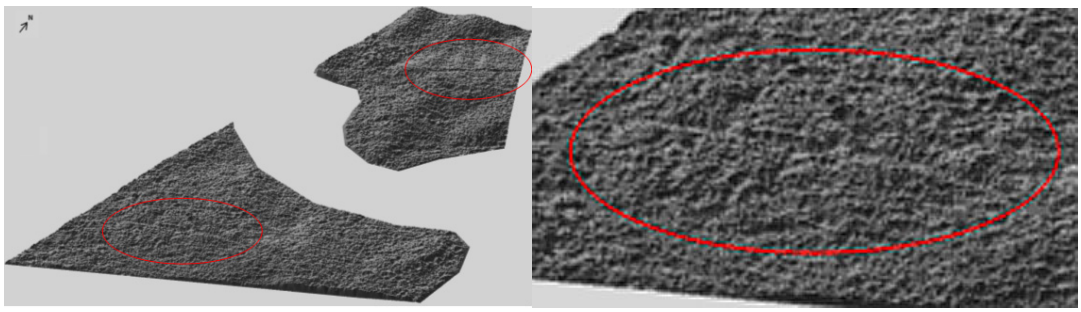
Şekil 11'e bakıldığında özellikle koyu renkle gösterilen ve özellikle ağaçlık alan olan bölgelerde yükseklikteki fark açık şekilde görülmektedir. Ağaçlık alanların dışında ise IKONOS ve TerraSAR-X SL DYM'leri iyi bir uyum göstermekte ve yükseklik farkları 0-5m aralığında kalmaktadır. Ağaçlık alanlarda oluşan farkların sebebi ise TerraSAR-X tarafından kullanılan X-band YAR teknolojisinde ağaçların yalnız tepesinden değil tepeden aşağı doğru kademe kademe bilgi alınabilmesi, optik sistem IKONOS'ta ise ağaçların yalnızca tepe noktasından bilgi alınmasıdır.

4.5. Gölge Analizleri

Gölge görünümlerin oluşturulması bir DYM'nin görselleştirilmesindeki en iyi yöntemlerden biridir. Modeldeki tüm binalar, yollar, bitki örtüsü ve ormanlık alanlar bu yöntemle açıkça görülebilir. Bu çalışmada, eşit grid aralığında olan IKONOS ve TerraSAR-X SL DYM'leri için ayrı ayrı gölge görünümler oluşturulmuş ve karşılaştırılmıştır. Şekil 12 ve 13 bu gölge görünümleri üç boyutlu şekilde yansıtmaktadır.



Şekil 12. IKONOS DYM gölge görünümleri



Şekil 13. TerraSAR-X SL DYM gölge görünümleri

Gölgelendirilen yüzey modellerine bakıldığında IKONOS ve TerraSAR-X SL DYM'lerinde daha çok bina detaylarının öne çıktığı yanısıra yol (kırmızı daire) vb. diğer bazı detaylarında açıkça göze çarptığı görülmektedir.

5. DEĞERLENDİRME VE HEDEFLER

Bu çalışmada, hava fotoğraflarından elde edilmiş bir referans dijital yükseklik modeline sahip olan İstanbul ili Tarihi Yarımada ve yakın çevresini kapsayan bir test alanında TerraSAR-X YÇS ve IKONOS PAN görüntü çiftlerinden elde edilen 3m grid aralıklı DYM'ler analiz edilmiştir. Çok yoğun yapılaşmış olan bu test alanında DYM'ler binalardan ve yer yer ağaçlık ve ormanlık alanlardan önemli ölçüde etkilenmektedir. Ayrıca bitki örtüsü, yerde yeterli sayıda nokta olmadığından tamamıyla filtrelenememiştir.

InSAR DYM'leri uydunun yükseliş ve alçalış doğrultularına açık şekilde bağımlılık göstermektedir.

TerraSAR-X SL DYM'sinin rölatif doğruluğu kesin doğruluğuna kıyasla daha iyidir ki bu durum faz bütünlemesi sırasında kısmi gürültü oluşması ile açıklanabilir. Aynı zamanda DYM'lerin referans olarak bir dijital yükseklik modeli ile karşılaştırılması diğer bir etkendir.

Morfolojik detaylar iki modelde de oluşturulmuştur. IKONOS DYM'sinden üretilen eş yükselti eğrileri biraz daha detaylıdır.

Doğruluk analizi sonuçlarına bakıldığında, 135m baz uzunluklu TerraSAR-X YÇS görüntü çiftinden elde edilen DYM'nin, yüksek çözünürlüklü optik verilerden üretilmiş IKONOS DYM'si ile aynı oranda mutlak doğruluğa ve daha yüksek rölatif doğruluğa sahip olduğu görülmüştür. Bina ve bitki örtülerinin, DYM doğrulukları üzerinde sınırlayıcı etkileri olmuştur.

Gelecekte hedeflenen çalışma, radar verilerinden üretilen DYM'lerin optik verilerden üretilen DYM'ler ile füzyonu ve optik görüntülere 1/5000 ve daha yüksek ölçeklerde uydu bazlı harita üretiminde destek sağlanmasıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya olan destekleri nedeniyle TÜBİTAK ve Alman Havacılık ve Uzay Merkezi'ne çok teşekkür ediyoruz.

KAYNAKLAR

Alobeid, A., Jacobsen, K., Heipke, C., 2009, Building Height Estimation in Urban Areas from Very High Resolution Satellite Stereo Images, *ISPRS Hannover Workshop*, 2-5 June, Hannover, Germany

Jacobsen, K., 2007, BLUH User Manual, Hannover, Almanya

Lin, Q., Vesecky, J. K. and Zebker, H. A., 1994, Comparison of elevation derived from InSAR data with DEM over large relief terrain, *International Journal of Remote Sensing*, 15, 1775-1790

Linder, W., 2004, Program Description LISA, Bad Pyrmont, Hagen ; Almanya

Roth, A., 2003, TerraSAR-X: A new perspective for scientific use of high resolution spaceborne SAR data, 2nd GRSS/ISPRS Joint Workshop on Data Fusion and Remote Sensing over Urban Areas, 22-23 Mayıs, Berlin, Almanya

Sefercik, U. G., Jacobsen, K., 2007, Quality Assessment of INSAR Digital Elevation Models, *27th EARSeL Symposium: "Geoinformation in Europe"*, Bolzano, İtalya, 4-7 Haziran

URL 1, 2009, http://sss.terrasar-x.dlr.de/, 2009, TerraSAR-X proje önerileri, Alman Havacılık ve Uzay Merkezi

URL 2, 2008, http://www.dlr.de/, Alman Havacılık ve Uzay Merkezi

URL 3, 2009, http://www.geoeye.com/CorpSite/, GeoEye, Amerika