

TerraSAR-X ve TanDEM-X'DEN ÜRETİLEN SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNİN TEK VE ÇİFT GEÇİŞE GÖRE DOĞRULUK ANALİZİ

Mustafa ERDOĞAN*, Orhan FIRAT, Temel DURGUT

MSB Harita Genel Komutanlığı, Fotogrametri Dairesi Başkanlığı, 06100, Dikimevi, Ankara Ankara (mustafa.erdogan, orhan.firat,temel.durgut)@hgk.msb.gov.tr

ANAHTAR KELİMELER: Enterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (InSAR), DTED2, SRTM2, Sayısal Yüzey Modeli, Doğruluk

ÖZET:

TerraSAR-X ve TanDEM-X uyduları, Alman Uzay Merkezi (Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, DLR) tarafından tasarlanan ve sırasıyla 2007 ve 2010 yıllarında uzaya gönderilen Enterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR) gözlemi yapan uydulardır. İki uyu birbirine 250-500 m yakınlıkta yörüngede hareket ederek zamanlı enterferometri sağlamakta ve yüksek doğruluklu ve çözünürlüklü sayısal yükseklik modelleri üretilmektedir. TanDEM-X uyu grubunun elde ettiği WorldDEM diye adlandırılan Sayısal Yüzey Modelinin; yaklaşık 12 m (0,4 yay saniyesi) konumsal çözünürlüğü, 10 m.den daha iyi mutlak dikey doğruluk (LE90), eğimin %20'den az olduğu yerlerde 2 m.den daha iyi, diğer yerlerde ise 4 m göreceli doğruluk (LE90) sahip olduğu DLR tarafından ifade edilmektedir. WorldDEM bu özellikleri ile hâlihazırda tüm dünyayı kapsayan en yüksek çözünürlük ve doğruluklu veridir. Başlangıçta tek bir geçişte elde edilen enterferometrik çiftten üretilen WorldDEM'in, uydunun daha sonraki geçişleri de dâhil alınarak doğruluğu daha da iyileştirilmektedir. Bu çalışmada uyduların tek ve çift geçişlerinden üretilen WorldDEM verisi bölgede bulunan jeodezik noktalar ve Harita Genel Komutanlığı tarafından 2013 yılından itibaren, stereo hava fotoğraflarından otomatik görüntüleme tekniği ile üretilen 5 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modelleri (HGK SYM) kullanılarak test edilmiştir. Sonuçlar çift geçişten üretilen SYM'nin hem başlı başına mutlak olarak daha yüksek doğruluklu olduğunu, özellikle tek geçişte dağlık alanlarda oluşan hataların çift geçişte azaldığını, arazi eğiminin doğruluğu olumsuz yönde etkilediğini göstermiş ve jeodezik noktalarla yapılan karşılaştırma sonucu tek geçişte 1.48 metre olan doğruluğun çift geçişle 1.27 metreye yükseldiğini göstermiştir.

ACCURACY ANALYSIS OF DIGITAL ELEVATION MODELS PRODUCED FROM TERRASAR-X AND TANDEM-X ACCORDING TO THE SINGLE AND DOUBLE PASS

KEY WORDS: Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR), DTED2, SRTM2, Digital Surface Model, Accuracy

ABSTRACT:

TerraSAR-X and TanDEM-X satellites are designed by German Aerospace Center (Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, DLR) and were launched in 2007 and 2010 respectively. The two satellites are orbiting each other at a distance of 250-500 m, providing simultaneous interferometry and producing high accuracy and resolution digital elevation models. It is expressed by DLR that The Digital Surface Model called WorldDEM obtained by TanDEM-X satellite group; has a spatial resolution of approximately 12 m (0.4 arc seconds), absolute accuracy better than 10 m (LE90), relative accuracy better than 2 m at slopes less than 20% and 4 m in other areas. With these features, at present WorldDEM is the highest resolution and accurate elevation model covering the whole world. The accuracy of WorldDEM, which is initially produced by a single pass interferometry is improved by processing further passes of the satellites. In this study, the WorldDEM data generated from the single and double passes of the satellites were tested using geodetic points located in the region and 5 m resolution digital elevation models (HGK SYM) produced by the General Command of Mapping beginning from 2013 from stereo aerial photographs with automatic image matching techniques. The results show that the DEM produced from double pass has higher accuracy both relatively and absolutely, especially errors in the mountainous areas are decreased by double pass and the slope has a negative effect on the accuracy. Also comparisons with geodetic points showed that the accuracy of 1.48 meter from the single pass increases to 1.27 meter by the double pass.

1. GİRİŞ

TerraSAR-X ve TanDEM-X uyduları, Enterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR) uydularıdır. InSAR uyduları ile gerçekleştirilen Sayısal Yüzey Modeli (SYM) üretiminde, uçuş yönüne dik (enine) uygun uzunlukta bir baz mesafesinde iki SAR görüntüsü alınır. Topoğrafik yükseklik bilgisi, yöneltilmiş bu iki SAR görüntüsü arasındaki faz farkından elde edilir (Soergel, 2010; Soergel vd., 2013).

Uydular ile elde edilen SAR verisi genellikle tekrarlı geçiş tekniği ile toplanır. Bu teknikte uyu aynı yörüngeden iki farklı tarihte geçmek suretiyle veri toplar. İki veri toplama tarihi arasındaki zamansal fark, uydunun aynı yerden tekrar geçiş periyodu ya da onun katlarından biridir. Bu şekilde veri toplanmasının iki dezavantajı vardır. Birincisi, iki görüntü alımı zamanı arasında geçen süre içerisinde, görüntüler arasında özellikle mevsimsel nedenlerden kaynaklanan farklılıklar meydana gelebilir ve bunun

sonucu olarak da iki görüntü arasında uyum elde edilemeyebilir. Ayrıca bitkilerin büyüme dönemlerinde, yüzeyde meydana gelen gerçek de i iklimler SYM kalitesini bozabilmektedir. İkinci ise troposferdeki su buharının 11 in hızını etkilemesinden kaynaklanan dezavantajdır. Troposferdeki su buharı etkisi, kilometre mertebesinde konumsal olarak modellendirilmi olmakla birlikte tekrarlı geçi lerdeki su buharı etkisi birbirlerinden farklı olabilmektedir. Bunun sonucu olarak 11 in her iki durumdaki atmosferik gecikmesi farklı oldu undan, veri kalitesi üzerinde olumsuz bir etki ortaya çıkabilmektedir. Her iki SAR görüntüsü aynı anda elde edildi inde ise yukarıda açıklanan iki dezavantaj da ortadan kalkmaktadır. Çünkü iki görüntü arasında zamansal fark olmayacağı ndan, zaman farkından kaynaklanan de i iklimler de olmayacaktır. Benzer ekilde atmosferik artlar ne olursa olsun, aynı atmosferik artlardan etkilenen iki görüntünün farkı alınacağı ndan, sonuç üzerinde atmosferik gecikme etkisi olmayacaktır. Bu ekilde tek geçi ile toplanan veri, genellikle enine bir baz mesafesinde iki anten monte edilen uçaklar ile gerçekle tirilmektedir (Soergel vd., 2013).

Uçaklar ile SAR verisi toplanmasına ilk istisna ise 2000 yılında 11 gün süreyle görev yapan Mekik Radar Topo rafyası Görevi (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM)'dir. Bu görevde 60 m uzunlu unda bir baz mesafesine yerle tirilen iki anten kullanımı ve SAR verisi toplanmı tır. Toplanan SAR verisinden, dünyanın 56° Güney ve 60° Kuzey enlemleri arasında kalan bölgesi için yaklaşık 30 m grid aralı nda SYM üretildi mi tır. 30 m aralıklı olarak üretilen SYM verisi, dünyanın pek çok bölgesi için 90 metre aralıklı olacak biçimde dünyadaki kullanıcıların kullanımına sunulmu tur. 2014 yılında, dünyanın belirli bölgelerinin 30 m aralıklı SYM verisinin kullanıma açıldı ı, di er bölgelerin ise kademeli olarak kullanıma açılacağı duyurulmu tur (Rabus vd, 2003, Soergel vd, 2013).

2000 yılında gerçekle tirilen SRTM projesinden sonra DLR tarafından 2007 ve 2010 yıllarında, InSAR gözlemi yapan, TerraSAR-X ve TanDEM-X adlı iki uydu uzaya gönderildi mi tır. SRTM projesinin aksine bu projede tek bir sensör ta rıycı yerine iki uyduya iki algılayıcı sensör yerle tirildi mi tır.

TerraSAR-X ve TanDEM-X uydularının yörüngeleri, uyduların uçu güvenli i bakımından, hiçbir zaman kesi meyecek ekilde ayarlanmı tır. Bunu sa lamak adına uydular için heliks ekinde yörüngeler belirlenmi tır. Elde edilecek SYM'nin do ruluk kriterlerinin sa lanabilmesi için, iki uydu arasındaki mesafe milimetre do rulu unda ölçülmektedir. Birinci yılın sonunda uydular arasındaki baz, ölçü duyarlılı mın artırılması amacıyla 1.3 kat büyütülmü tür. Böylece birinci geçi te daha az kesinlikle belirlenen nokta yükseklikleri ikinci geçi te daha yüksek kesinlikle belirlenebilmektedir.

Heliks ekinde hareket, uçu güvenli i sa lamanın yanında, uçu yönünde uydular arasında önemli miktarda baz olu masına da neden olmaktadır. Söz konusu bazın büyüklü ü kutuplarda 0 m iken ekvatorda 1000 metreye ula maktadır. Bu ekildeki bir yapı, hareket eden nesnelerin hızlarının belirlenmesinde kullanı lı olmakla birlikte projenin amacı olan SYM üretiminde, yaklaşık 50 milisaniyelik bir gecikmeye neden oldu undan, dezavantaj yaratmaktadır. Örne in su yüzeylerinde, sadece birkaç milisaniyelik gecikme korelasyonun tümüyle kaybolmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte donmu su yüzeyleri bu durumun istisnasıdır çünkü buzul yüzeylerde su yüzeylerine göre daha güçlü korelasyon elde edilmektedir. Sonuç olarak bu yapıda, sıvı su ihtiva eden okyanus, göl ve nehirlerden faydalı sinyal elde edilemez ve bu durum sayılan

alanların görüntülü veri olu turmasına neden olur. Sözü edilen olumsuzluk SRTM verisinde yoktur, çünkü SRTM projesinde boyuna (uçu yönündeki) baz uzunlu u 7 m olarak sabit tutulmu tur ki bu da sadece 0,5 milisaniyelik bir gecikmeye neden olur. Bu de er ise su yüzeylerinden yansıyan sinyalin korelasyonun korunması için yeterli bir gecikmedir (Wendleder vd., 2013, Soergel vd., 2013).

DLR tarafından, TanDEM-X uydu grubunun elde etti i WorldDEM'in; yaklaşık 12 m (0,4 yay saniyesi) konumsal çözünürlü e, 4 m mutlak , 2 m rölatif dü ey do rulu a sahip oldu u ve bu niteli i ile TanDEM-X verisinin, DTED Seviye 3 düzeyinde çözünürlük ve do rulu a sahip oldu u duyurulmu tur (url1, 2017; Riegler vd., 2015).

WorldDEM'in do rulu u ve kullanımı konusunda ara tırmalar da yapılmı tır. Yapılan bir çalı mada WorldDEM GPS noktaları, ICESat verisi and Lidar ile elde edilmi SYM ile kar ıla tırıldı mı , noktalar ile yapılan kar ıla tırmada 1 m LIDAR SYM ile yapılan kar ıla tırmada 3.5 m do ruluk bulunmu tur (Koppe vd., 2015). Yapılan di er bir çalı mada da WorldDEM'in son kullanıcıya ula tırılmasından önce yapılması gereken düzeltme i lemleri özetlenmi tir (Collins vd., 2015).

2. DO RULUK ARA TIRMASI

2.1 Test Bölgesi

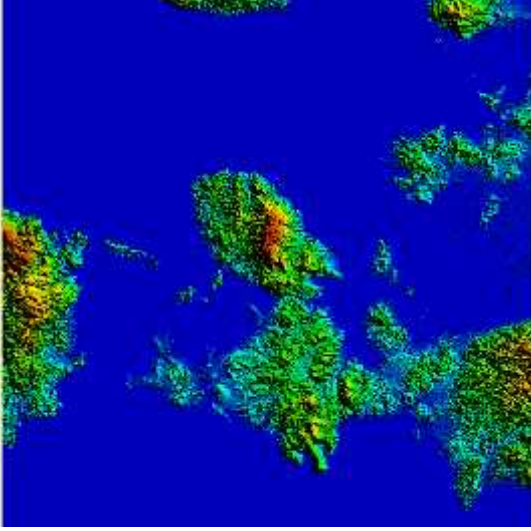
TerraSAR-X ve TanDEM-X uydularından elde edilen yüksek çözünürlüklü yükseklik verisinin test edilmesi amacıyla, bu uydulardan elde edilen ve 38°-39° enlemleri ile 26°-27° boylamları arasında kalan ve ekil 1'de gösterilen bölgeye ait tek geçi ten elde edilmi ve düzenlenmi WorldDEM ile 2 geçi ten elde edilmi ve düzenlenmemi WorldDEM verisi kullanılmı tır.



ekil 1. Test bölgesi.

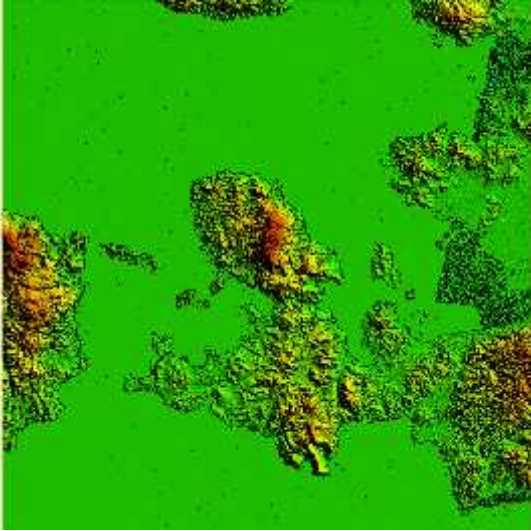
2.2 Test Çalı masında Kullanılan Veri

Test bölgesine ait ilk veri TerraSAR-X ve TanDEM-X'in tek geçi inden elde edilmi , orta düzey düzeltme uygulanmı WorldDEM verisidir (ekil 2). Yükseklikler 0 ile 1298 m arasında de i mektedir.



ekil 2. Tek geçi ten elde edilen WorldDEM.

İkinci veri TerraSAR-X ve TanDEM-X'in iki geçi inden elde edilmi , ham WorldDEM verisidir (ekil 3). Yükseklikler 420 ile 1289 m arasında de i mektedir.



ekil 3. İki geçi ten elde edilen WorldDEM.

WorldDEM verisinin test edilmesinde nokta ve yüzey olmak üzere iki farklı referans veri seti kullanılmı tır.

Birinci grup referans veri, yüksekli i bilinen ve da ılımları ekil-1'de gösterilen üç de i ik nokta setidir. Testte kullanılan her üç verinin de yatay do rulukları dm altında, dü ey do rulukları ise birkaç dm altındadır. Test çalı masında kullanılan bu verilerin belirtilen do ruluk de erleri, referans veri için genel kabul gören "5 kat daha iyi do ruluk" kriterini sa lamaktadır.

Bu veri setleri Tapu ve Kadastro Genel Müdürlü ünçe fotogrametrik nirengi i lemlerinde kullanılmak üzere 2010 yılında tesis edilen ve konum bilgileri GNSS ile ölçülen 265 adet kireçleme noktası, Harita Genel Komutanlı nca fotogrametrik nirengi i lemlerinde kullanılmak üzere 2012 yılında tesis edilen ve konum bilgileri GNSS ile ölçülen 24 adet kireçleme noktası, Harita Genel Komutanlı nca tesis edilen 19

adet Türkiye Ulusal Temel GPS A 1 (TUTGA) noktasıdır. Bu noktalardan toplam 263 adedi do ruluk ara tırmasında kullanılmı tır.

İkinci referans veri ise referans noktalarla yapılan test sonucunda do rulu u WorldDEM'e göre daha yüksek bulunan, Harita Genel Komutanlı ı tarafından hava foto raflarından görüntü e leme ile üretilen 5 metre çözünürlüklü sayısal yüzey modelidir (HGK SYM).

İlk olarak referans noktalar kullanılarak tek ve iki geçi ten üretilen WorldDEM ile HGK SYM'nin mutlak ve rölatif do rulukları ara tırılmı tır. Daha sonra HGK SYM ile WorldDEM verileri kar ıla tırılarak mutlak do ruluk ve do rulu un arazi e imine göre de i mi tekrar ara tırılmı tır.

2.3 WorldDEM Do ruluk Ara tırması

2.3.1 Nokta Setleri ile Kar ıla tırma

Kar ıla tırmaya tabi tutulan Sayısal Yükseklik Modelleri ile ilgili bilgiler Tablo 1'de sunulmu tur. Do ruluk ara tırması kapsamında ilk olarak her üç veri seti ayrı ayrı de erlendirmeye tabi tutulmu tur. Kar ıla tırma, veri setlerindeki her bir noktanın yüksekli i ile ilgili sayısal yükseklik modelinde o noktanın yatay konumuna kar ılıklı gelen pikselin yüksekli i arasındaki farkın hesaplanması suretiyle gerçekleştirilmi tır. "Düzeltilme" de eri olarak adlandırılan bu farklar istatistiksel olarak analiz edilmi ve uyuumsuz nokta var ise veri setinden çıkarılmı ve test yinelenmi tır. Bu ekilde uyuumsuz nokta kalmayana kadar aynı test tekrar edilmi tır.

	WorldDEM (Tek Geçi)	WorldDEM (İki Geçi)	HGK SYM
Çözünürlük	0.4"x0.4" (12 m)	0.4"x0.4" (12 m)	5 m
Yatay Datum	WGS84	WGS84	WGS84
Dü ey Datum	EGM08	EGM08	Türkiye Ulusal Dü ey Datumu
Model Türü	SYM	SYM	SYM

Tablo 1. Do ruluk ara tırmasında kullanılan SYM'ler

Test i lemi, referans de er olarak kullanılan her üç veri seti (Tapu ve Kadastro Gn.Md.lü ünün sıkla tırma noktaları, Hrt.Gn.K.lı nın hava foto rafı alımında tesis etti i yer kontrol (kireçleme) noktaları ve Hrt.Gn.K.lı nın TUTGA noktaları) ile ayrı ayrı tekrarlanmı tır. Elde edilen sonuçlar sırasıyla Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'de sunulmu tur.

		WorldDEM (Tek Geçi)	WorldDEM (İki Geçi)	HGK SYM
TKGM Kontrol Noktaları	Test Nokta Sayısı	246	246	523
	Minimum	-5,68	-5,39	-7,53
	Maksimum	8,43	5,58	3,45
	Ortalama Hata	0,87	1,29	0,55

Karesel Ortalama Hata	1,45	1,24	0,86
-----------------------	------	------	------

Tablo 2. SYM Verilerinin TKGM Kontrol Noktaları ile testi

HGK Yer Kontrol Noktaları		WorldDEM (Tek Geçi)	WorldDEM (ki Geçi)	HGK SYM
	Test Nokta Sayısı	8	8	20
Minimum	-1,16	0,37	-0,50	
Maksimum	5,98	7,00	4,92	
Ortalama Hata	1,94	2,18	0,34	
Karesel Ortalama Hata	2,19	2,13	1,10	

Tablo 3. SYM Verilerinin HGK Yer Kontrol Noktaları ile testi

HGK TUTGA Noktaları		WorldDEM (Tek Geçi)	WorldDEM (ki Geçi)	HGK SYM
	Test Nokta Sayısı	9	9	16
Minimum	0,79	0,82	-0,59	
Maksimum	6,10	4,70	2,69	
Ortalama Hata	2,33	2,36	0,60	
Karesel Ortalama Hata	1,46	1,12	0,83	

Tablo 4. SYM Verilerinin HGK TUTGA Noktaları ile testi

Son olarak ba langıçta ayrı ayrı teste tabi tutulan farklı kaynaklara ait üç veri seti birleştirilerek tek bir veri seti hâline getirilmi ve aynı kriterler izlenerek test tekrar edilmi tir. Bu durumda elde edilen sonuçlar Tablo 5'te sunulmu tur.

Tüm Referans Noktaları		WorldDEM (Tek Geçi)	WorldDEM (ki Geçi)	HGK SYM
	Test Nokta Sayısı	263	263	559
Minimum	-5,68	-5,30	-7,53	
Maksimum	8,43	7,00	4,92	
Ortalama Hata	0,95	1,36	0,55	
Karesel Ortalama Hata	±1,48	±1,27	±0,87	

Tablo 5. SYM Verilerinin tüm referans noktaları ile testi

HGK TUTGA ve HGK yer kontrol noktaları kullanılarak WorldDEM verilerinin rölatif do rululukları da araştırılmı tir. Bu amaçla HGK TUTGA ve yer kontrol noktalarının kendi içlerinde rölatif yükseklik farkları ve noktalar arasındaki mesafe hesaplanarak WorldDEM verisi ile karşılaştırılmı tir. Sonuçlar Tablo 6'da verilmi tir.

Kontrol Noktaları	HGK TUTGA		HGK YKN	
	SYM	WorldDEM (Tek Geçi)	WorldDEM (ki Geçi)	WorldDEM (Tek Geçi)

Test Nokta Sayısı	9	8		
Rölatif Gözlem Sayısı	36	28		
Ortalama Hata (m/100km)	-0,68	-0,57	-3,18	-2,82
Mutlak Ortalama Hata (m/100km)	3,49	3,10	5,03	4,42
Karesel Ortalama Hata (m)	±2,20	±1,68	±2,84	±2,85

Tablo 6. Rölatif do rululuk testi

Elde edilen sonuçlar WorldDEM verisinin duyurulan mutlak ve rölatif do rululuk değerlerini karşılaştırdı mı, iki geçi in do rululukta iyile me sa ladı mı göstermektedir.

2.3.2 HGK SYM ile Karşılaştırma

TerraSAR-X ve TanDEM-X uydularından elde edilen SYM verilerinin nokta setleri ile test edilmesinin ardından, aynı verilerin daha yüksek do rululuklu ba ka bir SYM (HGK SYM) ile karşılaştırılarak do rulu u test edilmi tir. İk karşılaştırmada kullanılan test noktaları genellikle açık ve düz alanlarda bulundu undan test sonuçlarını pozitif yönden etkileyecektir. Ba ka bir SYM ile karşılaştırmak ise yüzeyin tamamı hakkında daha do ru bilgi verecektir. ki geçi ten elde edilen WorldDEM düzeltilmemi oldu undan özellikle deniz kenarlarında kaba hatalar bulunmaktadır. Bu bölgelerin testi etkilememesi amacıyla her üç SYM verisi deniz kenarlarını içermeyecek ekilde ortak bir alanda kesilmi tir.

Do rulu u test etmek amacıyla tek ve iki geçi ten elde edilen WorldDEM ile HGK SYM verisinin farkları alınımı ve elde edilen fark yüzeyi analiz edilmi tir. Elde edilen sonuçlar Tablo 7'de verilmi tir. Yüzey karşılaştırmada elde edilen sonuçlar da iki geçi in do rulu u arttırdı mı göstermektedir.

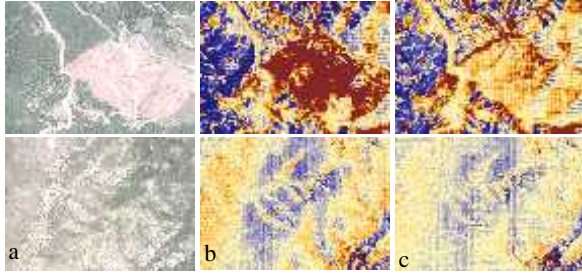
Üretilen fark yüzeyleri renklendirilerek hatalar gözle de incelenmi tir. Bu yüzeylerden örnekler ekil 5'te gösterilmi tir. Hata yüzeylerinde kahverengi ve lacivertin koyu tonları hataların artı ve eksi yönde yüksek oldu u bölgeleri göstermektedir. ekil 5 incelendi inde iki geçi in özellikle hataların büyük oldu u alanlarda iyile me sa ladı mı göstermektedir.



ekil 4. Yüzey testi yapılan bölge.

		WorldDEM (Tek Geçi)	WorldDEM (İki Geçi)
HGK SYM	Test Nokta Sayısı	5166x5465	
	Minimum	-80,87	-88,15
	Maksimum	82,33	82,26
	Ortalama Hata	-0,26	0,32
	Karesel Ortalama Hata	±2,66	±2,29

Tablo 7. WorldDEM Verilerinin HGK SYM ile testi



ekil 5. Hata yüzeyleri (a.Ortofoto, b.HGK-SYM WorldDEM tek geçi farkı, c.HGK-SYM WorldDEM iki geçi farkı)

Son olarak e imin WorldDEM do rulu una etkisini ara tırmak amacıyla fark yüzeyleri e im gruplarına göre sınıflandırılmış ve her e im grubunun do rulu u ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 8’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde e im arttıkça do rulu un belirgin ekilde azaldığı, iki geçi in her e im grubunda iyile me sa ladığı görülmektedir.

E im (derece)	Karesel Ortalama Hata (1 Geçi)	Karesel Ortalama Hata (2 Geçi)
0-9	±1,53	±1,41
10-19	±2,23	±1,86
20-29	±3,47	±2,82
30-39	±5,96	±5,16
>40	±7,84	±7,29

Tablo 8. WorldDEM Verilerinin e im gruplarına göre do rulu u

3. SONUÇ

Fırat ve Erdo an (2015) tarafından yapılan ara tırmada zmir bölgesine ait TerraSAR-X ve TanDEM-X uydularının tek geçi inden elde edilen WorldDEM verisinin do rulu u ayrıntılı ekilde analiz edilmiştir. Bu çalışmada aynı bölgeden uyduların ikinci geçi i de i lenerek elde edilen WorldDEM verisi de test edilmiştir, çoklu geçi in do ruluk üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Referans veri olarak nokta koordinatları kullanılarak yapılan testte WorldDEM’in yaklaşık ± 2 m, referans veri olarak daha yüksek do ruluklu bir SYM (HGK SYM) kullanılarak yapılan testte ise WorldDEM’in yaklaşık ± 4 m do rulukta oldu u görülmüştür. Bu değerler WorldDEM üretici firması tarafından açıklanan değerler ile uyumludur.

E im gruplarına göre yapılan ara tırma da e imin WorldDEM do rulu u üzerinde oldukça etkili oldu u, e im arttıkça do rulu un belirgin ekilde dü tü ü, çoklu geçi in her e im grubunda iyile tirmesini sa ladığı görülmüştür.

Tek geçi ve iki geçi ten elde edilen WorldDEM verilerinin karşılaştırılması sonucu çoklu geçi in do ruluk üzerinde olumlu etkisi olduğunu, özellikle tek geçi ten elde edilen WorldDEM verisinde oluşan yüksek hatalı bölgelerde çoklu geçi in iyile me sa ladığı ve hatalarını dü ürdü ü tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Collins, J., Riegler, G., Schrader, H., & Tinz, M. (2015). Applying terrain and hydrological editing to TanDEM-X data to create a consumer-ready WorldDEM product. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40(7), 1149.

Fırat, O., Erdo an, M. (2015). TerraSAR-X ve TanDEM-X Uydularından Elde Edilen Yüksek Çözünürlüklü Yükseklik Verisinin Farklı Arazi Tiplerinde Do ruluk Analizi. TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs 2015, Konya.

Koppe, W., Henrichs, L., & Hummel, P. (2015). Assessment of WorldDEM TM global elevation model using different references. In Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015 IEEE International (pp. 5296-5299). IEEE.

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.

Riegler, G., Hennig, S. D., & Weber, M. (2015). WorldDEM-a novel global foundation layer. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40(3), 183.

Soergel, U. (2010): Review of radar remote sensing on urban areas. Radar Remote Sensing of Urban Areas. Springer, Berlin, Germany, pp. 1-47.

Soergel, U., Jacobsen, K., Schack, L., 2013. The TanDEM-X Mission: Data Collection and Deliverables, Photogrammetric Week 13 Proceedings, Stuttgart, pp.193-203.

Wendleder, A., Wessel, B., Roth, A., Breunig, M., Martin and K., Wagenbrenner, S. (2012): TanDEM-X Water Indication Mask: Generation and First Evaluation Results. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing”, vol. 6, no. 1, pp. 171-179.

url1 (2017), <http://www.intelligence-airbusds.com/worlddem/>
(Son Ziyaret Tarihi: 02 Nisan 2017)