

## TerraSAR-X ve TanDEM-X'DEN Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Tek ve Çift Geçişe Göre Doğruluk Analizi

Mustafa ERDOĞAN, Orhan FIRAT, Temel DURĞUT

MSB Harita Genel Komutanlığı, Fotogrametri Dairesi Başkanlığı, 06590, Dikimevi, Ankara  
e-posta:mustafa.erdogan@hgk.msb.gov.tr

Geliş Tarihi: 01.02.2017 ; Kabul Tarihi: 22.06.2017

### 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 İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR) gözlemi yapan uydulardır. İki uydu birbirine 250-500 m yakınlıkta yörüngede hareket ederek eşzamanlı interfereometri sağlanmakta ve yüksek doğruluklu ve çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modelleri üretilmektedir. TanDEM-X uydu grubunun elde ettiği WorldDEM diye adlandırılan Sayısal Yüzey Modelinin; yaklaşık 12 m (0,4 yay saniyesi) konumsal çözünürlüğe, 10 m.den daha iyi mutlak düşey doğruluğa (LE90), eğimin %20'den az olduğu yerlerde 2 m.den daha iyi, diğer yerlerde ise 4 m göreceli doğruluğa (LE90) sahip olduğu DLR tarafından ifade edilmektedir. Başlangıçta tek bir geçişte elde edilen interferometrik çiftten üretilen WorldDEM'in, uydunun daha sonraki geçişleri de işleme 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 görüntü eşleme tekniği ile üretilen 5 m çözünürlüklü Sayısal Yüzey Modelleri (HGK SYM) kullanılarak test edilmiştir. Sonuçlar çift geçişten üretilen SYM'nin hem bağıl hem de 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 yükseldiği görülmüştür.

### Anahtar kelimeler

İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (InSAR); DTED2; SRTM2; Sayısal Yüzey Modeli; Doğruluk

## Accuracy Analysis of Digital Elevation Models Produced From TerraSAR-X And TanDEM-X According to The Single And DoublePass

### 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. 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 Surface 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.

### Keywords

Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR); DTED2; SRTM2; Digital Surface Model; Accuracy

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

## 1. Giriş

TerraSAR-X ve TanDEM-X uyduları, İnterferometrik 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 uydu 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 değişiklikler SYM kalitesini bozabilmektedir. İkincisi ise troposferdeki su buharının ışığın hızını etkilemesinden kaynaklanan dezavantajdır. Troposferdeki su buharı etkisi, kilometre mertebesinde konumsal olarak modellendirilmiş olmakla birlikte tekrarlı geçişlerdeki su buharı etkisi birbirlerinden farklı olabilmektedir. Bunun sonucu olarak ışığın her iki durumdaki atmosferik gecikmesi farklı olduğundan, veri kalitesi üzerinde olumsuz bir etki ortaya çıkabilmektedir. Her iki SAR görüntüsü aynı anda elde edildiğinde ise yukarıda açıklanan iki dezavantaj da ortadan kalkmaktadır. Çünkü iki görüntü arasında zamansal fark olmayacağından, zaman farkından kaynaklanan değişiklikler de olmayacaktır. Benzer şekilde atmosferik şartlar ne olursa olsun, aynı atmosferik şartlardan etkilenen iki görüntünün farkı alınacağından, sonuç üzerinde atmosferik gecikme etkisi olmayacaktır. Bu şekilde tek geçiş ile toplanan veri, genellikle enine bir baz mesafesinde iki anten

monte edilen uçaklar ile gerçekleştirilmektedir (Soergel vd., 2013).

Uçaklar ile SAR verisi toplanmasına ilk istisna ise 2000 yılında 11 gün süreyle görev yapan Mekik Radar Topoğrafyası Görevi (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM)'dir. Bu görevde 60 m uzunluğunda bir baz mesafesine yerleştirilen iki anten kullanılmış ve SAR verisi toplanmıştır. Toplanan SAR verisinden, dünyanın 56o Güney ve 60o Kuzey enlemleri arasında kalan bölgesi için yaklaşık 30 m grid aralığında SYM türetilmiştir. 30 m aralıklı olarak üretilen SYM verisi, dünyanın pek çok bölgesi için 90 metre aralıklı olacak biçimde dünyadaki kullanıcıların kullanımına sunulmuştur. 2014 yılında, dünyanın belirli bölgelerinin 30 m aralıklı SYM verisinin kullanıma açıldığı, diğer bölgelerin ise kademeli olarak kullanıma açılacağı duyurulmuştur (Rabus vd, 2003, Soergel vd, 2013).

2000 yılında gerçekleştirilen SRTM projesinden sonra DLR tarafından 2007 ve 2010 yıllarında, InSAR gözlemi yapan, TerraSAR-X ve TanDEM-X adlı iki uydu uzaya gönderilmiştir. SRTM projesinin aksine bu projede tek bir sensör taşıyıcı yerine iki uyduya iki algılayıcı sensör yerleştirilmiştir.

TerraSAR-X ve TanDEM-X uydularının yörüngeleri, uyduların uçuş güvenliği bakımından, hiçbir zaman kesişmeyecek şekilde ayarlanmıştır. Bunu sağlamak adına uydular için heliks şeklinde yörüngeler belirlenmiştir. Elde edilecek SYM'nin doğruluk kriterlerinin sağlanabilmesi için, iki uydu arasındaki mesafe milimetre doğruluğunda ölçülmektedir. Birinci yılın sonunda uydular arasındaki baz, ölçü duyarlılığının artırılması maksadıyla 1.3 kat büyütülmüştür. Böylece birinci geçişte daha az kesinlikle belirlenen nokta yükseklikleri ikinci geçişte daha yüksek kesinlikle belirlenebilmektedir.

Heliks şeklinde hareket, uçuş güvenliği sağlamanın yanında, uçuş yönünde uydular arasında önemli miktarda baz oluşmasına da neden olmaktadır. Söz konusu bazın büyüklüğü kutuplarda 0 m iken ekvator da 1000 metreye ulaşmaktadır. Bu şekildeki

bir yapı, hareket eden nesnelerin hızlarının belirlenmesinde kullanışlı olmakla birlikte projenin amacı olan SYM üretiminde, yaklaşık 50 milisaniyelik bir gecikmeye neden olduğundan, dezavantaj yaratmaktadır. Örneğin su yüzeylerinde, sadece birkaç milisaniyelik gecikme korelasyonun tümüyle kaybolmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte donmuş 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 gürültülü veri oluşturmasına neden olur. Sözü edilen olumsuzluk SRTM verisinde yoktur, çünkü SRTM projesinde boyuna (uçuş yönündeki) baz uzunluğu 7 m olarak sabit tutulmuştur ki bu da sadece 0,5 milisaniyelik bir gecikmeye neden olur. Bu değer ise su yüzeylerinden yansıyan sinyalin korelasyonun korunması için yeterli bir gecikmedir (Wendleder vd., 2013, Soergel vd., 2013).

DLR tarafından, TanDEM-X uydu grubunun elde ettiği WorldDEM'in; yaklaşık 12 m (0,4 yay saniyesi) konumsal çözünürlüğe, 4 m mutlak, 2 m rölatif düşey doğruluğa sahip olduğu ve bu niteliği ile TanDEM-X verisinin, DTED Seviye 3 düzeyinde çözünürlük ve doğruluğa sahip olduğu duyurulmuştur (url1, 2017; Riegler vd., 2015).

WorldDEM'in doğruluğu ve kullanımı konusunda araştırmalar da yapılmıştır. Yapılan bir çalışmada WorldDEM; GPS noktaları ve ICESat verisi ile LİDAR'dan elde edilmiş SYM ile karşılaştırılmış, GPS noktaları ile yapılan karşılaştırmada 1 m (LE90), referans SYM (LİDAR) ile yapılan karşılaştırmada 3.5 m (LE90) doğruluk bulunmuştur (Koppe vd., 2015). Yapılan diğer bir çalışmada da WorldDEM'in son kullanıcıya ulaştırılmasından önce yapılması gereken düzeltme işlemleri özetlenmiştir (Collins vd., 2015).

## 2. Materyal ve Metot

WorldDEM hâlihazırda tüm dünyayı kapsayan en yüksek çözünürlük ve doğruluklu veridir. Başlangıçta tek bir geçişte elde edilen

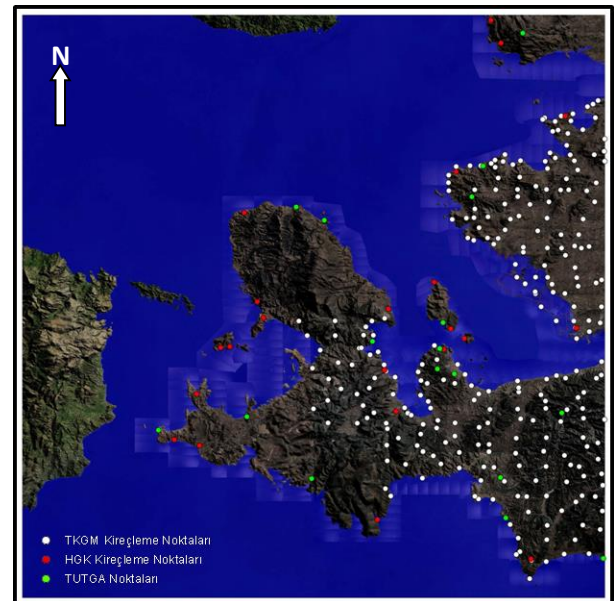
interferometrik çiftten üretilen WorldDEM'in, uydunun daha sonraki geçişleri de işleme alınarak doğruluğu daha da iyileştirilmektedir. Bu çalışmada uyduların tek ve çift geçişlerinden üretilen WorldDEM verisi jeodezik noktalar ve Harita Genel Komutanlığı tarafından 2013 yılından itibaren, stereo hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme tekniği ile üretilen 5 m çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modelleri (HGK SYM) kullanılarak test edilmiş ve çoklu geçişin doğruluğa etkisi araştırılmıştır.

Bu çalışmada teste tabi tutulan WorldDEM ve HGK SYM Sayısal Yükseklik Modellerinin her ikisi de Sayısal Yüzey Modelidir.

Bu çalışmada TerraSAR-X ve TanDEM-X uydularının tek ve çift geçişinden üretilen WorldDEM verisinin doğruluğunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

### 2.1. Test Bölgesi

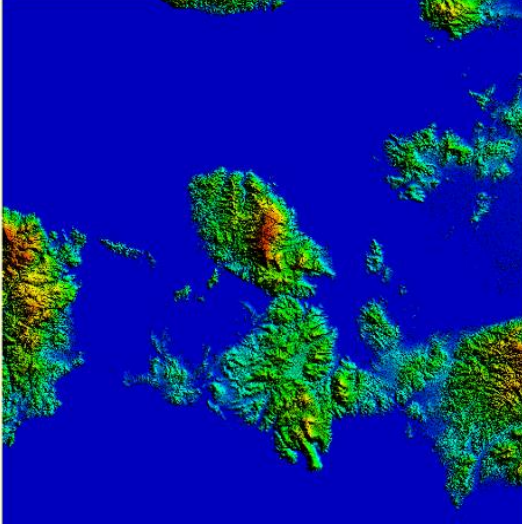
TerraSAR-X ve TanDEM-X uydularından elde edilen yüksek çözünürlüklü yükseklik verisinin test edilmesi amacıyla, bu uydulardan elde edilen ve 38°-39° enlemleri ile 26°-27° boylamları arasında kalan ve Şekil 1'de gösterilen bölgeye ait tek geçişten elde edilmiş ve düzenlenmiş WorldDEM ile 2 geçişten elde edilmiş ve düzenlenmemiş WorldDEM verisi kullanılmıştır.



Şekil 1. Test bölgesi (1° x 1°).

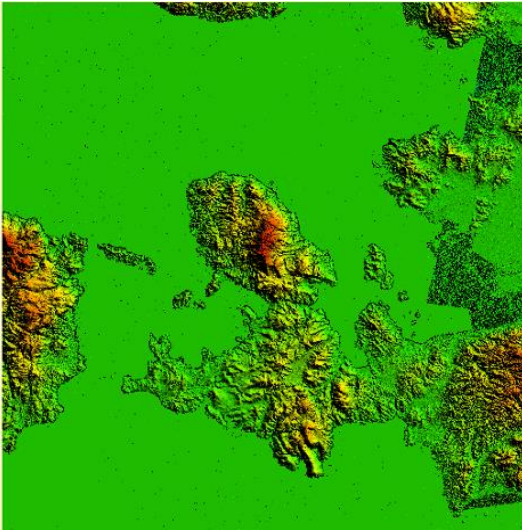
### 2.2. Test Çalışmasında Kullanılan Veri

Test bölgesine ait ilk veri TerraSAR-X ve TanDEM-X'in tek geçişinden elde edilmiş, orta düzey düzeltme uygulanmış WorldDEM verisidir (Şekil 2). Yükseklikler 0 ile 1298 m arasında değişmektedir.



Şekil 2. Tek geçişten elde edilen WorldDEM.

İkinci veri TerraSAR-X ve TanDEM-X'in iki geçişinden elde edilmiş, ham WorldDEM verisidir (Şekil 3). Yükseklikler 0 ile 1289 m arasında değişmektedir.



Şekil 3. İki geçişten elde edilen WorldDEM.

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

Birinci grup referans veri, yüksekliği bilinen ve dağılımları Şekil-1'de gösterilen üç değişik nokta setidir. Testte kullanılan her üç veri seti de dm

altında yatay doğruluğa ve birkaç dm altında düşey doğruluğa sahiptir.

Bu veri setleri Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğüne fotogrametrik nirengi işlemlerinde kullanılmak üzere 2010 yılında tesis edilen ve konum bilgileri GNSS ile ölçülen 265 adet kireçleme noktası, Harita Genel Komutanlığınca fotogrametrik nirengi işlemlerinde kullanılmak üzere 2012 yılında tesis edilen ve konum bilgileri GNSS ile ölçülen 24 adet kireçleme noktası, Harita Genel Komutanlığınca tesis edilen 19 adet Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) noktasıdır. Bu noktalardan toplam 263 adedi doğruluk araştırmasında kullanılmıştır.

İkinci referans veri ise referans noktalarla yapılan test sonucunda doğruluğu WorldDEM'e göre daha yüksek bulunan, Harita Genel Komutanlığı tarafından hava fotoğraflarından görüntü eşleme ile üretilen 5 metre çözünürlüklü Sayısal Yüzey Modelidir (HGK SYM).

Yapılan çalışmada, öncelikle referans noktalar kullanılarak tek ve iki geçişten üretilen WorldDEM ile HGK SYM'nin mutlak ve rölatif doğrulukları araştırılmıştır. Daha sonra HGK SYM ile WorldDEM verileri karşılaştırılarak mutlak doğruluk ve doğruluğun arazi eğimine göre değişimi tekrar araştırılmıştır.

Bu doğrultuda, ilk olarak her üç veri seti ayrı ayrı değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Karşılaştırma, veri setlerindeki her bir noktanın yüksekliği ile ilgili Sayısal Yüzey Modeli'nde o noktanın yatay konumuna karşılık gelen pikselin yüksekliği arasındaki farkın hesaplanması suretiyle gerçekleştirilmiştir. "Düzeltilme" değeri olarak adlandırılan bu farklar istatistiksel olarak analiz edilmiş ve veri kümesinin standart sapma değerinin 3 katından ( $3\sigma$ ) daha büyük düzeltme değerine sahip olan nokta var ise veri setinden çıkarılmış ve test yinelenmiştir. Bu şekilde uyumsuz nokta kalmayana kadar aynı test tekrar edilmiştir.

Karşılaştırmaya tabi tutulan Sayısal Yükseklik Modelleri ile ilgili bilgiler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Doğruluk araştırmasında kullanılan SYM'ler

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

### 3. Bulgular

#### 3.1. Nokta Setleri ile Karşılaştırma

Test işlemi, referans değer olarak kullanılan her üç veri seti (Tapu ve Kadastro Gn.Md.lüğünün sıklaştırma noktaları, Hrt.Gn.K.lüğünün hava fotoğrafı alımında tesis ettiği yer kontrol (kireçleme) noktaları ve Hrt.Gn.K.lüğünün TUTGA noktaları) ile ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar sırasıyla Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 2. SYM Verilerinin TKGM Kontrol Noktaları ile testi

	WorldDEM (Tek Geçiş)	WorldDEM (İki Geçiş)	HGK SYM
TKGM Kontrol Noktaları	Test Nokta Sayısı	246	246
	Minimum	-5,68	-5,39
	Maksimum	8,43	5,58
	Ortalama Hata	0,87	1,29
	Karesel Ortalama Hata	1,45	1,24

Tablo 3. SYM Verilerinin HGK Kontrol Noktaları ile testi

	WorldDEM (Tek Geçiş)	WorldDEM (İki Geçiş)	HGK SYM
HGK Kontrol Noktaları	Test Nokta Sayısı	8	20
	Minimum	-1,16	0,37
	Maksimum	5,98	7,00
	Ortalama Hata	1,94	2,18
	Karesel Ortalama Hata	2,19	2,13

Tablo 4. SYM Verilerinin HGK TUTGA Noktaları ile testi

	WorldDEM (Tek Geçiş)	WorldDEM (İki Geçiş)	HGK SYM
TUTGA Noktaları	Test Nokta Sayısı	9	16
	Minimum	0,79	0,82

	Maksimum	6,10	4,70	2,69
Ortalama Hata	2,33	2,36	0,60	
Karesel Ortalama Hata	1,46	1,12	0,83	

Son olarak başlangıçta ayrı ayrı teste tabi tutulan farklı kaynaklara ait üç veri seti birleştirilerek tek bir veri seti hâline getirilmiş ve aynı kriterler izlenerek test tekrar edilmiştir. Bu durumda elde edilen sonuçlar Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. SYM Verilerinin tüm referans noktaları ile testi

	WorldDEM (Tek Geçiş)	WorldDEM (İki Geçiş)	HGK SYM
Tüm Referans Noktaları	Test Nokta Sayısı	263	263
	Minimum	-5,68	-5,30
	Maksimum	8,43	7,00
	Ortalama Hata	0,95	1,36
	Karesel Ort. Hata	±1,48	±1,27

HGK TUTGA ve HGK yer kontrol noktaları kullanılarak WorldDEM verilerinin rölatif doğrulukları da araştırılmıştır. Bu amaçla HGK TUTGA ve yer kontrol noktalarının kendi içlerinde rölatif yükseklik farkları ve noktalar arasındaki mesafe hesaplanarak WorldDEM verisi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Rölatif doğruluk testi

Kontrol Noktaları	HGK TUTGA		HGK YKN	
	WorldDEM (Tek Geçiş)	WorldDEM (İki Geçiş)	WorldDEM (Tek Geçiş)	WorldDEM (İki Geçiş)
SYM				
Test Nokta Sayısı	9		8	
Rölatif Gözlem Sayısı	36		28	
Ortalama Hata (m/100km)	-0,68	-0,57	-3,18	-2,82
Mutlak Ort. Hata(m/100km)	3,49	3,10	5,03	4,42
Karesel Ort. Hata (m)	±2,20	±1,68	±2,84	±2,85

Elde edilen sonuçlar WorldDEM verisinin duyurulan mutlak ve rölatif doğruluk değerlerini karşıladığını, iki geçişin doğrulukta iyileşme sağladığını göstermektedir.

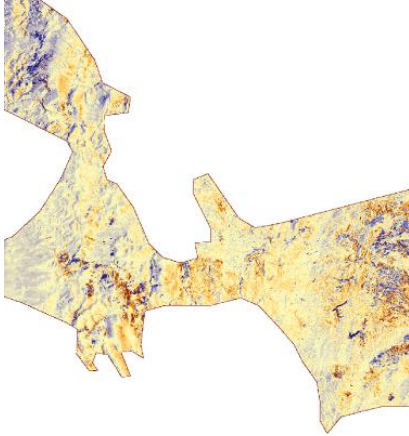
#### 3.2. HGK SYM ile Karşılaştırma

TerraSAR-X ve TanDEM-X uydularından elde edilen SYM verilerinin nokta setleri ile test edilmesinin ardından, aynı verilerin daha yüksek doğruluklu başka bir SYM (HGK SYM) ile karşılaştırılarak doğruluğu test edilmiştir. İlk karşılaştırmada

kullanılan test noktaları genellikle açık ve düz alanlarda bulunduğundan test sonuçlarını pozitif yönden etkileyecektir. Başka bir SYM ile karşılaştırmak ise yüzeyin tamamı hakkında daha doğru bilgi verecektir. İki geçişten elde edilen WorldDEM düzeltilmemiş olduğundan özellikle deniz kenarlarında kaba hatalar bulunmaktadır. Bu bölgelerin testi etkilememesi amacıyla her üç SYM verisi deniz kenarlarını içermeyecek şekilde ortak bir alanda kesilmiştir.

Doğruluğu test etmek amacıyla tek ve iki geçişten elde edilen WorldDEM ile HGK SYM verisinin farkları alınmış ve elde edilen fark yüzeyi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir. Yüzey karşılaştırma sonucu elde edilen sonuçlar da iki geçişin doğruluğu artırdığını göstermektedir.

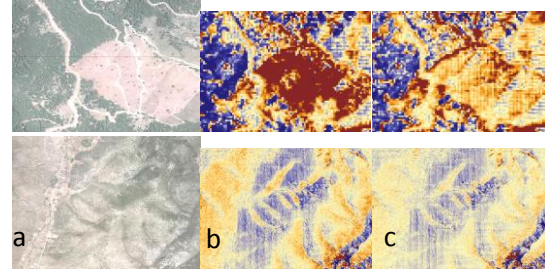
Üretilen fark yüzeyleri renklendirilerek hatalar gözle de incelenmiştir. Bu yüzeylerden örnekler Şekil 5'te gösterilmiştir. Hata yüzeylerinde kahverengi ve lacivertin koyu tonları hataların artı ve eksi yönde yüksek olduğu bölgeleri göstermektedir. Şekil 5 incelendiğinde iki geçişin özellikle hataların büyük olduğu alanlarda iyileşme sağladığını göstermektedir.



Şekil 4. Yüzey testi yapılan bölge.

Tablo 7. WorldDEM Verilerinin HGK SYM ile testi

		WorldDEM (Tek Geçiş)	WorldDEM (İki Geçiş)
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



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

Son olarak eğimin WorldDEM doğruluğuna etkisini araştırmak amacıyla fark yüzeyleri eğim gruplarına göre sınıflandırılmış ve her eğim grubunun doğruluğu ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 8'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde eğim arttıkça doğruluğun belirgin şekilde azaldığı, iki geçişin her eğim grubunda iyileşme sağladığı görülmektedir.

Tablo 8. WorldDEM Verilerinin eğim gruplarına göre doğruluğu

Eğim (derece)	Karesel Ortalama Hata (1 Geçiş)	Karesel Ortalama Hata (2 Geçiş)
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

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Fırat ve Erdoğan (2015) tarafından yapılan araştırmada İzmir bölgesine ait TerraSAR-X ve TanDEM-X uydularının tek geçişinden elde edilen WorldDEM verisinin doğruluğu ayrıntılı şekilde analiz edilmiştir. Bu çalışmada aynı bölgeden uyduların ikinci geçişi de işlenerek elde edilen WorldDEM verisi de test edilmiş, çoklu geçişin doğruluk üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Referans veri olarak nokta koordinatları kullanılarak yapılan testte WorldDEM'in yaklaşık ±2 m, referans veri olarak daha yüksek doğruluklu bir SYM (HGK SYM) kullanılarak yapılan testte ise WorldDEM'in yaklaşık ±4 m doğrulukta olduğu görülmüştür. Bu

değerler WorldDEM üretici firması tarafından açıklanan değerler ile uyumludur.

Eğim gruplarına göre yapılan araştırma da eğimin WorldDEM doğruluğu üzerinde oldukça etkili olduğu, eğim arttıkça doğruluğun belirgin şekilde düştüğü, çoklu geçişin her eğim grubunda iyileştirme sağladığı görülmüştür.

Tek geçiş ve iki geçişten elde edilen WorldDEM verilerinin karşılaştırılması sonucu çoklu geçişin doğruluk üzerinde olumlu etkisi olduğunu, özellikle tek geçişten elde edilen WorldDEM verisinde oluşan yüksek hatalı bölgelerde çoklu geçişin iyileşme sağladığı ve hataları düşürdüğü tespit edilmiştir.

## 5. 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., Erdoğan, M., 2015. TerraSAR-X ve TanDEM-X Uydularından Elde Edilen Yüksek Çözünürlüklü Yükseklik Verisinin Farklı Arazi Tiplerinde Doğruluk 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.

## İnternet kaynakları

url1-<http://www.intelligence-airbusds.com/worlddem/> (02.04.2017)