

TÜRKİYE İÇİN HASSAS YÜKSEKLİK MODELİ ÜRETİMİ

A.Yılmaz, O.Alp, A.OKUL, O.Eker, M.Erdoğan

Harita Genel Komutanlığı, Tıp Fakültesi Caddesi 06590 Cebeci/ANKARA - (altan.yilmaz, osman.alp, abduallah.okul, oktay.eker, mustafa.erdogan)@hgk.msb.gov.tr

ANAHTAR KELİMELER: Sayısal Yükseklik Modeli, DTED2, Hava Fotoğrafı, Otomatik Korelasyon, Grid Aralığı

ÖZET:

Arazi yüzey yükseklikleri, coğrafi bilgiler arasında en çok kullanılanlardandır. Bu veriler Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) şeklinde dağıtmakta ve türevleri; ortofoto üretimi, 3B şehir modelleri, hidrolojik modelleme, görünürlük, taşkın, su baskını analizleri gibi çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadır.

SYM çok değişik formlarda olabilmesine rağmen, çoğunlukla her biri uzayda bir noktanın yüksekliğini temsil eden çok sayıda kayıttan oluşur. SYM'nin, bir dizi modelleme ve işlem adımlarının sonuç ürünü olduğunu bilmek gerekir. SYM, arazi ölçmeleri, eş yükseklik eğrileri, vektör veriler, hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinden otomatik korelasyon ile, hava ve uzay radar verilerinden (yapay açıklıklı) ve lazer tarama (LIDAR) gibi kaynaklardan elde edilebilmektedir.

Harita Genel Komutanlığınca üretilmiş ülke genelini kapsayan en sık grid aralıklı SYM, 1 saniye (yaklaşık 30 m) aralıklı olan DTED2 verisidir. DTED2 verileri, NATO STANAG MIL-PDF-89020B belirtilen standartlarda, mevcut 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritalarda yer alan eş yüksek eğrileri, kot noktaları, göl ve deniz alanları kullanılarak üretilmiştir. DTED2 verilerinin karesel ortalama hatası, 2007 yılında yapılan bir test çalışmasında %90 güven düzeyinde ± 9 m olarak ortaya konmuştur.

Farklı kurumlarca, daha yüksek doğrulukta ve sık grid aralıklı SYM verileri ihtiyaç duyulan sınırlı alanlarda üretilmekte; ülke genelini kapsamamaktadır. TSK ve kamu kurumlarının teknolojik gelişmeler sonucunda; ortofoto üretimi, üç boyutlu modelleme, görüş analizi gibi konularda ülke genelini kapsayan, homojen, yüksek doğrulukta ve daha sık grid aralıklı SYM ihtiyacının karşılanmasına yönelik Hrt.Gn.K.lığı tarafından çekilen hava fotoğrafları kullanılarak talepleri karşılayacak optimum doğruluk ve grid aralığında sayısal yüzey ve arazi modellerinin üretilmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Türkiye genelindeki engebeli alanları temsil eden üç farklı bölgede 45 cm yer örnekleme aralıklı stereo hava fotoğraflarından otomatik korelasyon yöntemiyle SYM üretilmiştir. Üç farklı bölgede üretilen SYM'nin karesel ortalama hatası %90 güven düzeyinde sırasıyla; ± 2.51 m, ± 1.38 m ve ± 1.30 m olarak bulunmuştur. Bu doğruluk düzeylerinde INSPIRE tarafından tavsiye edilen grid aralıklarının; düz arazide 3-30 m, engebeli arazide ise 3-15 olabileceği bulunmuştur.

Türkiye geneli için homojen, araziye en iyi şekilde temsil edecek mümkün olan en sık grid aralığı olarak 5 metrenin uygun olacağı değerlendirilmektedir. Üretilen SYM formatının ise 32 Bit Floating GeoTiff olması önerilmektedir.

KEY WORDS: Digital Elevation Model, DTED2, Aerial Photos, Automatic Correlation, Grid Spacing

ABSTRACT:

Terrain height is one of the extensively used geospatial data. These data is distributed as Digital Elevation Model (DEM) and used in orthophotos production, 3D city modelling, hydrologic modelling, visibility analysis etc.

Although DEM might be different forms, they consist of many records all of which represent the height of a point. DEM is the resulting product of modelling and processing. DEM can be produced from land surveying, contours, vector data, aerial photos and satellite imagery by autocorrelation, airborne or spaceborne radar data and laser scanning.

The densest DEM produced by General Command of Mapping is one second (nearly 30 m in Turkey's geographic place) grid spacing DTED2. DTED2 is produced from contours, spot heights and lake and sea areas of 1:25.000 scale topographic maps of Turkey according to NATO STANAG MIL-PDF-89020B standart. DTED2 elevation accuracy is accessed in a study conducted in 2007 as ± 9 m RMSE (Root Mean Square Error) in %90 confidence interval.

Denser and more accurate DEM is produced by several institutions in only required areas not covering countrywide. Turkish Armed Forces and governmental institutions need denser, more accurate, homogeneous and countrywide DEM in order to use in orthophoto production, 3D modelling, visibility analysis and etc. A study is conducted to meet DEM demands with optimum accuracy and density by stereo aerial photos. DEM is produced in three different areas representing the general topographic structure of Turkey by using 45 cm ground sampling distance stereo aerial photos. The RMSE of the heights of three areas are respectively ± 2.51 m, ± 1.38 m and ± 1.30 m. The proposed grid spacing by INSPIRE with these accuracies is 3-30 m in flat terrain and 3-15 m in mountainous terrain.

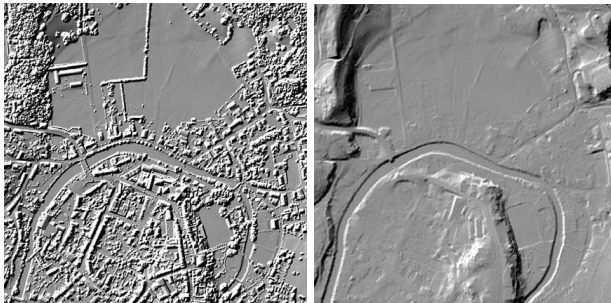
It is concluded that 5 m grid spacing will be suitable for a countrywide DEM with these accuracies. It is also proposed that production format of DEM should be 32 Bit Floating GeoTiff.

1. GİRİŞ

Arazi yüzey yükseklikleri coğrafi bilgiler arasında en çok kullanılanlardandır. Bu veriler Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) şeklinde dağıtmakta ve türevleri ortofoto üretimi, 3B

şehir modelleri, hidrolojik modelleme, görünürlük, taşkın, su baskını analizleri gibi çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadır (Fisher ve Tate, 2006).

SYM çok değişik formlarda olabilmesine rağmen, çoğunlukla her biri uzayda bir noktanın yüksekliğini temsil eden çok sayıda kayıttan oluşur. SYM'nin, bir dizi modelleme ve işlem adımlarının sonuç ürünü olduğunu bilmek gerekir. SYM, arazi ölçmeleri, eş yükseklik eğrileri, vektör veriler, hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinden otomatik korelasyon ile, hava ve uzay radar verilerinden (yapay açıklıklı) ve lazer tarama (LIDAR) gibi kaynaklardan elde edilebilmektedir. SYM üretildiği kaynağa, yöntemine göre hatalar içermektedir. Kullanılan SYM'de bu hataların biliniyor olması SYM kullanımından kaynaklanan hataların tanımlanabilmesi açısından önem arz etmektedir. TSK ve kamu kurumlarının teknolojik gelişmeler sonucunda; ortofoto üretimi, üç boyutlu modelleme, görüş analizi gibi konularda artan yüksek doğruluklu ve daha sık grid aralıklı SYM ihtiyacının karşılanmasına yönelik olarak Hrt.Gn.K.lığı tarafından çekilen hava fotoğrafları kullanılarak talepleri karşılayacak optimum doğruluk ve grid aralığında sayısal yüzey ve arazi modellerinin üretilmesi amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), düzenli bir grid yapıda ve çoğunlukla kare, daha az olmak üzere üçgen ve dikdörtgen formda olmak üzere yükseklik verileri kümesidir. Gridin boyutları ve her bir satırdaki gözlem sayısı bilindiğinden yükseklik değerleri arasındaki kesin olmayan konumsal ilişki kurulabilir. SYM denildiğinde genellikle grid yapıdaki yükseklik modelleri ifade edilmektedir (Fisher ve Tate, 2006). Grid, arazi ve su altı yükseklikleri modellemede kullanılan en yaygın coğrafi veri modelidir. Gridler, düzenli veya eşit dağılımlı noktalar kümesi ile temsil edilirler. Gridlerin, diğer yükseklik veri modellerinden üstün bazı özellikleri vardır. Yüksekliklerin düzenli aralıklarla olmasından dolayı sadece bir noktanın yatay bir koordinata dayandırılması yeterlidir. Bu noktadan, faydalanarak, grid ile birlikte sağlanan referans koordinat bilgisi ile birlikte diğer noktaların yatay konumu belirlenebilir. Bu, her bir noktanın yatay geometri koordinat çiftinin açıkça belirlenmesi ihtiyacını ortadan kaldırır ve böylelikle dosya boyutları daha küçük olur. Grid, ayrıca veri işleme için oldukça kolay bir yapıdır. Grid içindeki aralıklar, modellenecek arazi engebesinin sıklığı ve boyutuna göre en etkin olacak şekilde seçilir. Örnek olarak, engebeli ve kesintisi fazla olan bir arazi küçük, dar bir grid aralığına ihtiyaç duyarken yumuşak bir eğime sahip olan arazi ise oldukça geniş bir grid aralığına ihtiyaç duyacaktır (Federal Geographic Data Committee, 2008). Sayısal Yüzey Modeli, insan yapısı detayları ve bitki örtüsünü kapsayan SYM'yi kastetmektedir. Sayısal Arazi Modeli (SAM) ise yukarıda bahsedilen detaylar çıkarıldığında kalan çıplak yer yüzeyini belirtmektedir (Şekil 1) (Höhle, 2009).



Şekil 1. Sayısal Yüzey (solda) ve Sayısal Arazi (sağda) Modelleri

Kırıklık hatları, bir yüzeyin eğimi veya sürekliliğinin ani değişimlerini modellemek için kullanılan çizgilerdir. Kırıklık hatları, sabit bir yükseklikte veya aşağı ve yukarı eğimlerde

gözlenen yüzey kırıklarını temsil etmektedir (Federal Geographic Data Committee, 2008).

DTED (Digital Terrain Elevation Data-Sayısal Arazi Yükseklik Verisi), Amerika Ulusal Coğrafya ve İstihbarat Ajansı (NGA) tarafından askeri uygulamaları desteklemek amacıyla geliştirilen, arazi yüksekliği, eğim ve/veya yüzey engebesi gibi bilgilere gereksinim duyan sistem veya uygulamalara temel veri sunan tekdüze matris şeklindeki arazi yükseklik değerleridir. DTED Seviye 0; 30 ark saniyesi aralıklı (nominal 1 km), DTED Seviye 1; 3 ark saniyesi aralıklı (nominal 100 m) ve DTED Seviye 2; 1 ark saniyesi aralıklı (nominal 30 m) yükseklik verisi içermektedir (NATO STANAG MIL-PDF-89020B). Verilerin üretilmesinde ilk olarak Uzay Mekiği RADAR Topoğrafya Görevi (Space Shuttle RADAR Topography Mission – SRTM) kullanılmıştır. Ancak; diğer uzaktan algılama teknikleri, hava fotoğrafları, mevcut haritaların eş yükseklik eğrileri, gerçek arazi yüzeyi ölçmeleri ve LIDAR sistemleri de DTED verisi üretilmesinde kullanılabilmektedir. DTED2 için NATO STANAG MIL-PDF-89020B'de geçen doğruluk kıstasları yatayda 23 m ve düşeyde 18 metredir.

YÜKPAF, Topoğrafik haritalarda yer alan; münhani, deniz, göl ve geniş yataklı dere kıyıları ile kot ve nirengi noktalarının, deniz seviyesinden olan yükseklikleri ile birlikte bilgisayar ortamına aktarılmasıyla oluşturulan vektör verilerdir. Yurtiçi bölgelere ait, 10 m. aralıklı münhanileri içeren 1:25.000 ölçekli (YÜKPAF25) ile 100 m. aralıklı münhanileri içeren 1:250.000 ölçekli (YÜKPAF250) iki çeşit YÜKPAF üretimi yapılmıştır.

2. MEVCUT DURUM ANALİZİ

2.1 Harita Genel Komutanlığında Mevcut Durum

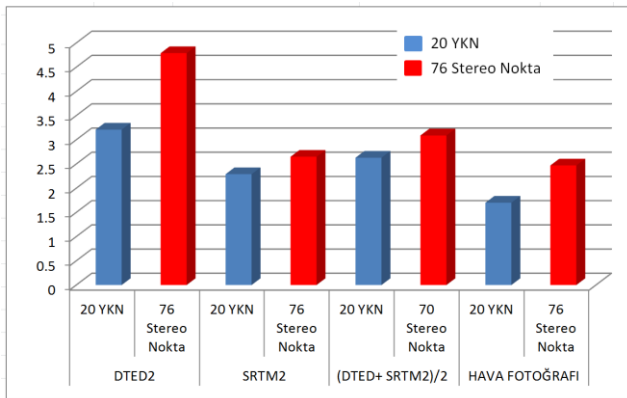
Hrt.Gn.K.lığında; ilk SAM üretimleri, 1:25.000 ölçekli pafta boyutunda ve ED50 datumuna göre gerçekleştirilmiştir. 2000 yılından itibaren ise DTED standardına uygun olarak, 1°x1°'lik coğrafi alanı kapsayacak şekilde ve WGS84 datumunda üretilmiştir. DTED üretiminde münhani kalıplarından sayısallaştırılan eş yükseklik eğrileri, kot noktaları, göl ve deniz alanları kullanılmıştır. 1:25.000 ölçekli pafta boyutunda ve ED50 datumuna göre SAM üretimi artık yapılmamaktadır.

Hrt.Gn.K.lığınca üretilen DTED2 verilerinin doğruluğu 2007 yılında yapılan bir çalışma ile test edilmiştir. Bu test çalışması ile verilerin %90 güven düzeyinde ± 9 m. doğruluğunda olduğu ortaya konmuştur. Çalışmada maksimum ve minimum hata miktarları yaklaşık + 40 ve - 40 m. olarak bulunmuştur. Bu değerler tüm verinin yaklaşık %1'i kadardır.

Ön çalışma amacıyla; Ankara bölgesindeki I28 ve I29 1/100.000 ölçekli pafta alanlarında stereo görüntülerden okunan 96 noktanın yüksekliği ile DTED2 verilerinin karşılaştırılması sonucunda; doğruluğun %90 güven düzeyinde ± 8.5 m, maksimum ve minimum hataların da sırasıyla +9 m ve -29 m olduğu tespit edilmiştir. Aynı bölgede SYM'de hiçbir düzeltme işlemi yapmadan otomatik korelasyonla üretilen verilerin standart sapmasının (σ) %90 güven düzeyinde ± 1.5 m olduğu görülmüştür. DTED2, SRTM2 ve DTED2 ve SRTM2 verilerinin toplanıp ikiye bölünmesinden ve otomatik korelasyonla elde edilen SYM ile yapılan test sonuçları Tablo 1'de, karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 2'de verilmiştir.

| Ürün | Nokta Sayısı | Ortalama Fark (m) | σ (\pm m) (% 68 G.A.) | σ (\pm m) (% 90 G.A.) |
|-----------------|-----------------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| DTED2 | 20 YKN | -0.73 | 3.21 | 5.28 |
| | 76 Stereo Nokta | -1.45 | 4.79 | 8.23 |
| SRTM2 | 20 YKN | 1.23 | 2.29 | 4.27 |
| | 76 Stereo Nokta | 1.72 | 2.65 | 5.21 |
| (DTED2+SRTM2)/2 | 20 YKN | 0.73 | 2.63 | 4.49 |
| | 76 Stereo Nokta | 0.13 | 3.09 | 5.08 |
| HAVA FOTOĞRAFI | 26 YKN | -0.24 | 1.7 | 2.83 |
| | 79 Stereo Nokta | 0.16 | 2.47 | 4.27 |

Tablo 1. Mevcut verilerin doğruluk araştırması



Şekil 2. Mevcut verilerin doğruluk araştırması grafiği

2.2 Diğer Ülkelerdeki SYM/SAM Üretim Uygulamaları

Almanya Federal Kartografya ve Jeodezi Ajansı (BKG) 2003 yılına kadar 1:50.000 ile 1:1.000.000 ölçekleri arasında ve yaklaşık ± 20 m doğruluğunda ülke çapında sayısal yükseklik modelleri sunarken, federal eyaletlerin ise 1:5.000 ile 1:50.000 ölçekleri arasında ve ± 0.3 m ve ± 5 m doğruluğunda sayısal yükseklik modelleri mevcuttu. Fakat ülke çapında yüksek doğruluklu bir sayısal yükseklik modeli mevcut değildi. Bu nedenle 1:25.000 harita ölçeğinde ± 1 m ile ± 3 m arasındaki doğruluklarda bir sayısal yükseklik modeli üretildi. Bu durumda BKG, farklı aralıklarda, farklı koordinat sistemlerinde, farklı doğruluklarda ve farklı üretim yöntemleriyle (lazer tarama, fotogrametri, analog haritalardan münhanilerin sayısallaştırılması) üretilmiş sayısal yükseklik modellerini birleştirmek zorunda kalmıştır. Kalite kontrolleri ise ilgili bölgelerde GPS ölçüleriyle gerçekleştirilmiştir (Hovenbitzer, 2004).

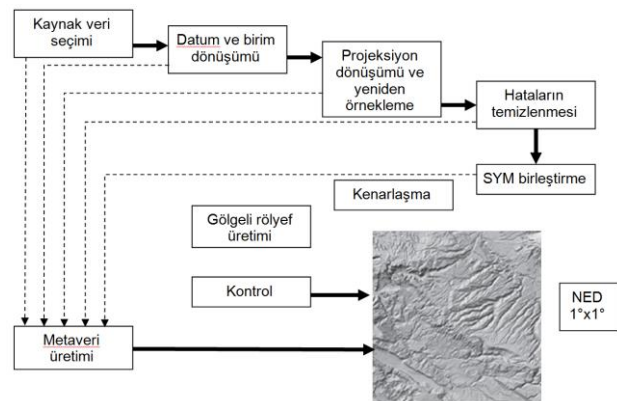
BKG günümüzde 10 m, 25 m, 50 m, 200 m ve 1.000 grid aralıklarında yükseklik modelleri sunmaktadır. Bu verilerden 200 m ve 1.000 m aralıklı olanlar 1:50.000 ölçekli haritalardan elde edilen münhanilerden; 10 m, 25 m ve 50 m grid aralıklı olanlar ise lazer tarama, fotogrametri ve münhanilerin sayısallaştırılmasıyla elde edilmişlerdir. 10 m grid aralıklı sayısal yükseklik modelinin yükseklik doğruluğu ± 0.5 m ile ± 2 m arasındadır (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), 2012).

Kanada Topografik Bilgi Merkezi (CTI), Kanada Sayısal Yükseklik Verisini (CDED) federal, bölgesel ve toprakla ilgili

devlet kurumları ve özel sektör ile ortaklaşa üretmektedir. Veri, bölgelere göre değişen çözünürlüklerde, 1:10.000 ile 1:250.000 ortalama ölçekleri arasında temsil edilen Geobase Seviye 1 olarak adlandırılarak sunulmaktadır. CDED için kaynak Ulusal Topografik Veri tabanının hipsografik ve hidrografik verilerinde elde edilmektedir. CDED için parçalama referans şeması Ulusal Topografik Sistemin harita serileridir. 1:50.000 ölçekli CDED için grid aralığı kuzey-güney doğrultusunda 0.75 (23 m) ark saniyesidir. Batı-doğu doğrultusunda ise 0.75-3 (16-11 m) ark saniyesi arasında değişmektedir. Verilerin doğruluğu üretim yöntemi ve bölgesine göre değişmekle beraber 5 metrenin altındadır. CDED, 1201 adet satır ve sütundan oluşan grid yapıda sunulmaktadır (Canada Centre for Topographic Information, 2007).

Avustralya'da, Ulusal Yükseklik Verisi Çerçevesi (NEDF) kapsamında mevcut yükseklik verilerine daha kolay erişim sağlamak ve yeni veri toplayacaklara optimum çözüm sunmak için oluşturulmuştur. Proje, mevcut en yüksek çözünürlüğe sahip tüm kaynaklardan elde edilen verinin kullanılması ve tüm kamu kademelerinde sayısal yükseklik modeline olan ihtiyacı ortaya çıkarmak amacıyla başlamıştır. Verilerin ilk incelemesi 2008 yılında yapılmıştır. Halihazırda, 1 ve 3 saniye aralıklı SRTM'den elde edilen sayısal yükseklik modelleri ve 9 saniye aralıklı sayısal yükseklik modeli tüm ülkeyi kapsamaktadır ve kendi içinde tutarlıdır. Sınırlı kapsama alanına sahip olmakla birlikte gittikçe artan yüksek çözünürlüklü veriler genel olarak yerleşim yerleri ve tehlikelere açık sahil kesimlerinde mevcuttur. Verilerin bir çatıda birleştirilmesi ve sunulması, ülke çapında boş alanlarda veri toplama gelecekteki koordinasyonu ve verileri geliştirebilmek için erişim ve tespit edilebilirliği artırmaktadır (Geoscience Australia, 2011).

Ulusal Yükseklik Veri Kümesi (The National Elevation Dataset-NED), ABD Jeolojik Araştırma Enstitüsü (USGS) tarafından üretilen ve dağıtılan temel yükseklik verisidir. NED, Birleşik Devletler, Alaska, Hawaii ve ada topraklarında kesintisiz raster yükseklik verisi sağlamaktadır. NED, belirlenmiş bir çözünürlüğe, koordinat sistemine, yükseklik birimine, yatay ve düşey datuma göre farklı kaynaklardan üretilmiş verilerden oluşmaktadır. NED, Ulusal Haritanın bir parçası olarak yükseklik katmanının sunmakta ve çeşitli bilimsel ve haritacılık uygulamalarında temel yükseklik verisi sağlamaktadır. Verinin üretim adımları Şekil 3'de gösterilmiştir (U.S. Geological Survey (USGS), 2012).



Şekil 3. NED üretim iş akışı (U.S. Geological Survey (USGS), 2012)

NED, iki ayda bir yeni, geliştirilmiş yükseklik verisiyle güncellemeleri sağlayan çok çözünürlüklü bir veri kümesidir. NED verisi, tüm ABD için kesintisiz olmak üzere bir ark saniyesi grid aralıklarında ve ABD'nin bazı kesimlerinde 1/3 ve

1/9 ark saniyesi aralıklarında sunulmaktadır. Yükseklik verisiyle birlikte ayrı bir katman olarak web üzerinde tıklanarak ulaşılabilecek, verinin kaynağı, üretim şekli, koordinat sistemi, yatay ve düşey datumu, yükseklik birimi gibi bilgilerin sunulduğu metaveri katmanı da yer almaktadır.

NED veri doğruluğu, ABD Ulusal Jeodezik Ölçme Biriminin gravite ve jeoid modelleme çalışmalarında kullandığı jeodezik kontrol noktalarıyla tespit edilmektedir. 2003 yılında, 13.305 noktayla yapılan doğruluk kontrolünde tüm verinin %90 olasılıkla 3.99 m mutlak yükseklik doğruluğunda olduğu tespit edilmiştir.

NED verileri bir web servisi aracılığı ile sunmakta ve kullanıcılar verileri bu arayüz yardımıyla indirebilmektedir. Çok büyük alanları kapsayan veriler ise harici depolama üniteleriyle kullanıcıya sağlanmaktadır (U.S. Geological Survey (USGS), 2012).

3. UYGULAMALAR

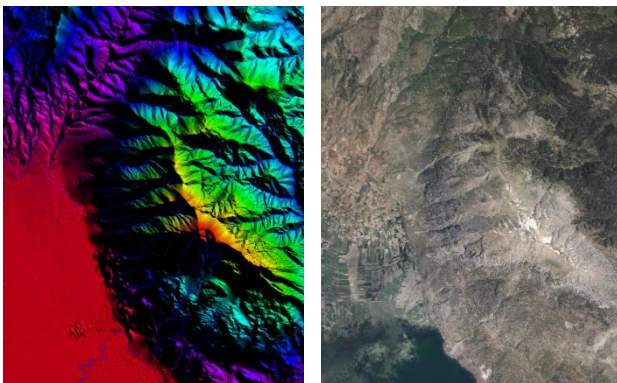
Sayısal hava kamerasının da devreye girmesiyle görüntülerin radyometrik ve geometrik ayırma dereceleri artmış, yazılımların otomatik eşleme algoritmaları gelişmiştir. Bu gelişmelere bağlı olarak, otomatik yöntemlerle neredeyse piksel bazlı olarak SAM ve SYM üretilmektedir.

Uygulama için farklı arazi özelliklerinin yansıtan üç adet 1/25.000 ölçekli pafta alanı seçilmiş ve her bir pafta alanı için aşağıdaki çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

3.1 Uşak L23-b3 1/25.000 Ölçekli Pafta

UŞAK L23-b3 paftası;

- Ormanlık bölge ihtiva etmesi (paftanın 1/3'ü sık orman),
- Yükseklik farklarının Türkiye topoğrafyasının genelini yansıması (800 m – 2800 m),
- Göl, dere gibi topoğrafik yapıların yer alması,
- Orta yoğunlukta yerleşim yerlerini ihtiva etmesi,
- Kıymetlendirmesinin yapılmış olması nedenleriyle seçilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. L23-b3 SYM (solda) ve ortofotusu (sağda)

Üretilen SAM/SYM doğruluk testlerinde kullanılmak üzere stereo modellerden 8.000 adet üç boyutlu nokta kontrol noktası olarak hassas bir şekilde okunmuştur. Yöneltilme sonrası stereo modellerden elde edilebilecek yatay doğruluk ± 0.5 m ve düşey doğruluk ise ± 1.0 m altındadır.

L23-b3 paftasının fotogrametrik kıymetlendirmesi tamamlanmıştır. Bu nedenle SYM için nokta bulutu oluştururken dere yatakları da kırıklık hatları (break line) olarak sisteme girilmiştir. Ayrıca yüksekliğin ani değiştiği diğer arazi parçaları da vektörel olarak toplanmış ve nokta bulutu oluşturmaya dahil edilmiştir.

Öncelikle çalışma bölgesinin mevcut DTED2 ve SRTM2 verileri ile Revizyon sonrası düzeltilen münhaniler ve yüksekliğe katkısı olabilecek diğer vektör verilerden (dere, göl vb.) üretilen SAM, stereo modeller üzerinden okunan üç boyutlu nokta koordinatları ile test edilmiş ve Tablo 2'deki sonuçlar elde edilmiştir.

| VERİ | 3 σ 'yi geçen (22 m) Nokta Sayısı | Ortalama Fark (m) | σ (\pm m) (% 68 G.A.) | σ (\pm m) (% 90 G.A.) |
|------------|--|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| DTED2 | 109 | -1.04 | 7.19 | 11.95 |
| SRTM2 | 152 | -1.81 | 6.55 | 11.18 |
| SAM Vektör | 107 | -0.39 | 5.74 | 9.47 |

Tablo 2. L23-b3 paftası mevcut verilerin doğruluk araştırması

Daha yüksek doğruluğa sahip SAM'ın üretilmesi için; mevcut stereo hava fotoğraflarından otomatik olarak SAM toplatılmış ve yardımcı veri olarak

- dere yatakları ve
- kırıklık hatları

kullanılmıştır. SAM toplanmasında kullanılan dengeleme yazılımı Inpho Match-AT'nin bir uzanımı olan Inpho Match-T yazılımı kullanılmıştır.

Bir adet 1:25.000 ölçekli pafta alanının, 5 m aralıklı SAM toplama süresi 4 çekirdekli Xeon Dual işlemcili çalışma istasyonlarında yaklaşık 40 dakika sürmektedir. Veri toplama aralığını 10 m.ye çıkarmanın veri toplama süresini çok etkilemediği tespit edilmiştir.

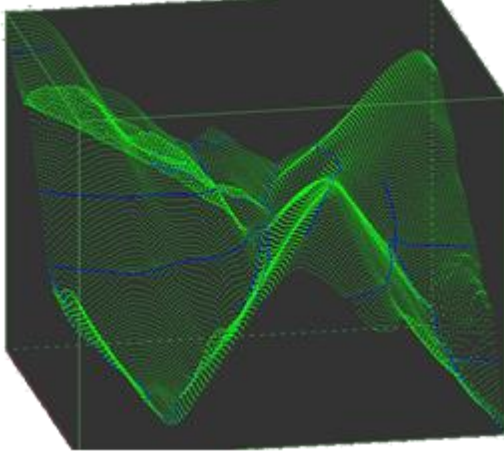
Farklı özellikteki hava fotoğraflarından SAM üretimini (düzeltme olmadan) doğruluğa etkilerini görmek için yapılan teste Tablo 3'deki sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde; hava fotoğraflarının PAN, RGB ve CIR olması ile 8 veya 16 bit olmasının doğrulukta anlamlı bir fark yaratmadığı tespit edilmiştir.

| VERİ | 3 σ 'yi geçen (6 m) Nokta Sayısı | Ortalama Fark (m) | σ (\pm m) (% 68 G.A.) | σ (\pm m) (% 90 G.A.) |
|------------|---|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| PAN 8 Bit | 483 | -0.13 | 1.44 | 2.38 |
| RGB 8 Bit | 488 | -0.13 | 1.43 | 2.37 |
| CIR 8 Bit | 517 | -0.10 | 1.47 | 2.42 |
| PAN 16 Bit | 487 | -0.13 | 1.44 | 2.38 |
| RGB 16 Bit | 487 | -0.14 | 1.43 | 2.37 |

Tablo 3. L23-b3 Farklı Özellikteki Hava Fotoğraflarından Üretilen SAM Doğruluk Araştırması

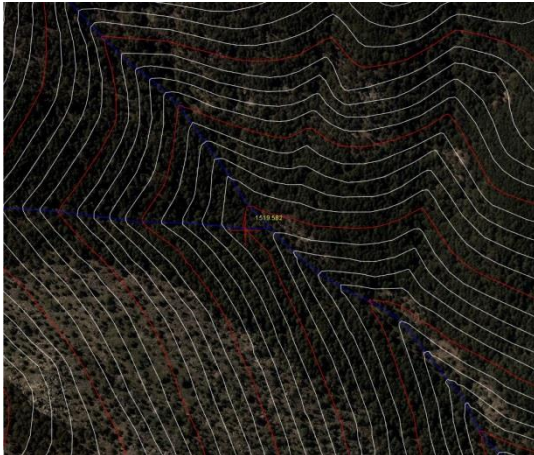
Inpho Match T yazılımında üretilen SAM nokta bulutu DTMaster Stereo yazılımında stereo hava fotoğrafları üzerinde kontrol edilerek aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:

- Arazi yüzeyinin çıplak olduğu alanlarda üretilen SAM'ın, arazi engebeli de olsa topoğrafyayı çok iyi temsil ettiği (Şekil 5),



Şekil 5. Nokta Bulutu ve Üzerinde Vektör Veriler

- Ağaçlık ve ormanlık olan alanlarda da yüzey olarak topoğrafyayı temsil ettiği, fakat orman ve ağaçlık bölgelerin üzerinden geçtiği,
- Otomatik eşleme algoritmasının hatalı toplanmış noktaların otomatik elenebildiği,
- Kırıklık hatlarını SAM üretimine dahil etmenin münhani üretimi için önemli olduğu,
- Kırıklık hatlarında, derelerin dahil edilmesinin gerekli olduğu (Şekil 6),



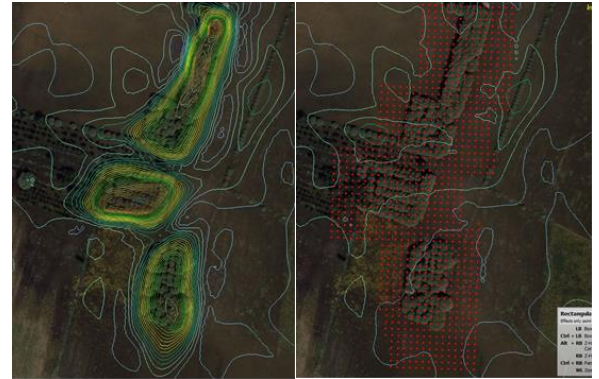
Şekil 6. Dereler Dahil Edilerek Üretilen Münhaniler

- Sırt uzanım hatlarının dahil edilmesinin ise sistemin bu bölgelerde sırtın eğimini çok keskinleştirilmesi nedeniyle uygun olmadığı, bu verilerin yumuşak hatlar olarak dahil edilmesi gerektiği (Şekil 7),



Şekil 7. Sırt Hatları ve Üretilen Münhaniler

- Sırt hatlarında, sırt uzanımına dik doğrultudaki hatlarının önceden çizilmesinin ağaçlık bölgelerde zemini yakalayabilmek için gerekli olduğu,
- Çok geniş olmayan ağaçlık alanların, Stereo Editleme yazılımıyla basit olarak operatör müdahalesiyle düzeltilebildiği (Şekil 8),



Şekil 8. Yanlış Toplanan Ağaçlık Bölgelerin (Solda) Yazılımda Düzeltilmesi (Sağda)

- Stereo Editleme yazılımıyla yapılan düzeltmeler sonucu yeni durumu yansıtan münhanilerin "on the fly" oluştuğu,
- Ormanlık bölgelerde ağaç boyutlarının birbirine yakın olması durumunda seçilen alanın yüksekliklerinin zemine indirilebildiği,
- Ormanlık bölgelerde, genellikle ağaç boyutları farklılık gösterdiği için, Stereo Editleme yazılımında zemin görülen yerlerde kırıklık hatları çizmek suretiyle düzeltme yapmak gerektiği tespit edilmiştir.

Otomatik üretilen SAM, stereo düzeltme yazılımına alınarak binalar ve ağaçlık bölgeler gibi yazılımın hatalı topladığı noktalar, gerek ilave vektör veriler çizilerek gerekse yazılımın otomatik düzeltme araçları sayesinde düzeltilmiş, 5 m, 10 m, 15m ve 20 m grid aralıklı SAM toplanarak Tablo 4'deki sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde; grid aralığının 5 m veya 10 m olmasının doğruluğu fazla etkilemediği görülmektedir. Aralığın 20 metreye çıkmasının ise hem doğruluğu hem de 3σ 'yi geçen nokta sayısını artırdığını görülmektedir.

| VERİ (Aralık metre) | 3 σ 'yi geçen (6 m) Nokta Sayısı | Ortalama Fark (m) | σ (\pm m) (% 68 G.A.) | σ (\pm m) (% 90 G.A.) |
|---------------------|---|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 5 | 341 | -0.17 | 1.52 | 2.51 |
| 10 | 362 | -0.13 | 1.59 | 2.62 |
| 15 | 554 | -0.01 | 1.66 | 2.72 |
| 20 | 637 | 0.05 | 1.86 | 3.07 |

Tablo 4. L23-b3 farklı aralıklarda düzeltilmiş sam doğruluk araştırması

5 m ve 10 m aralıklı 32 Bit Geotiff dosya boyutları sırasıyla 25 MB ve 6 MB'dır.

ABD "Coğrafi Veri Konumlandırma Doğruluk Standartları – FGDC-STD-007.3-1998"na göre; normal dağılıma uyan yükseklik doğruluğu için %90 güven aralığında 1.6449 katsayısı uygulanmaktadır.

$$\text{VMAS} = 1.6449 \times \text{RMSEZ} \quad (\text{VMAS} = \text{Vertical Map Accuracy Standart})$$

$$\text{DoğrulukZ} = 1.9600/1.6449 \times \text{VMAS} = 1.1916 \times \text{VMAS}$$

$$\text{VMAS} = 1.6449 \times 1.52 = 2.50 \text{ m}$$

$$\text{DoğrulukZ} = 1.1916 \times 2.50 = 2.98 \text{ m} \quad (\% 95 \text{ Güven Aralığı})$$

INSPIRE; yükseklik verisi grid aralığının belirlenmesinde Tablo 5'de belirtilen formülü önermektedir:

| Tavsiye Edilen Grid Aralığı | Arazi Tipi |
|--|--------------------------|
| $3 \times \text{KOH}_z \leq \text{Grid aralığı} \leq 20 \times \text{KOH}_z$ | Düz ve az engebeli arazi |
| $3 \times \text{KOH}_z \leq \text{Grid aralığı} \leq 10 \times \text{KOH}_z$ | Dağlık arazi |

Tablo 5. INSPIRE Grid Aralığı Standartları

Elde edilen karesel ortalama hatalara göre grid aralığını hesapladığımızda ($\text{KOH}_z \approx 1.6 \text{ m}$) (Tablo 6):

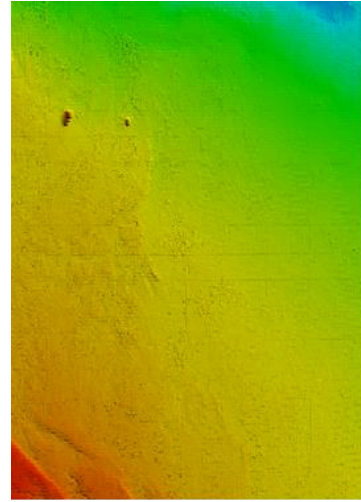
| Tavsiye Edilen Grid Aralığı | Arazi Tipi |
|--|--------------------------|
| $4.8 \text{ m} \leq \text{Grid aralığı} \leq 32 \text{ m}$ | Düz ve az engebeli arazi |
| $4.8 \text{ m} \leq \text{Grid aralığı} \leq 16 \text{ m}$ | Dağlık arazi |

Tablo 6. SAM Grid Aralığı Hesabı

INSPIRE'nin önerdiği grid aralık standartları incelendiğinde, Hrt.Gn.K.lığı verisinden arazi özelliklerini tam yansıtacak ve yeterli doğruluk seviyesinde olacak şekilde 5 m ve 10 m aralıklarından birisinin seçilebileceği değerlendirilmektedir.

3.2 Aksaray L30-a1 1/25.000 Ölçekli Pafta

L30-a1 paftası, yükseklik farklarının, yüksek bitki örtüsünün ve yerleşim yeri detay yoğunluğunun az olduğu bölgeleri yansıtması açısından seçilmiştir. Araziye yükseklikler 920-1008 m aralığında değişmektedir (Şekil 9). Pafta, Tuz Gölünün güney batısında yer almaktadır.



Şekil 9. L30-a1 Sayısal Yüzey Modeli

Üretilecek SAM/SYM doğruluk testlerinde kullanmak üzere stereo modellerden 250 adet üç boyutlu nokta kontrol noktası olarak hassas bir şekilde okunmuştur. Yönelme sonrası stereo modellerden elde edilebilecek yatay doğruluk $\pm 0.3 \text{ m}$ ve düşey doğruluk ise $\pm 0.75 \text{ m}$ altındadır.

Öncelikle çalışma bölgesinin mevcut DTED2 ve SRTM2 verileri stereo modeller üzerinden okunan üç boyutlu koordinatlar ile test edilmiş ve Tablo 7'deki sonuçlar elde edilmiştir.

| VERİ | 3 σ 'yi geçen (6 m) Nokta Sayısı | Ortalama Fark (m) | σ (\pm m) (% 68 G.A.) | σ (\pm m) (% 90 G.A.) |
|-------|---|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| DTED2 | 2 | -1.19 | 1.86 | 3.63 |
| SRTM2 | 0 | 1.26 | 1.25 | 2.93 |

Tablo 7. L30-a1 DTED2 ve SRTM2 doğruluk araştırması

L30-a1 paftasından Inpho Match T yazılımı kullanılarak nokta bulutu SAM olarak toplanmış ve otomatik filtrelenebilen arazi detayları stereo düzenleme yazılımında düzeltilmiştir. Sonuç SAM 32 bit Geotiff olarak 5 m, 10 m, 15 m ve 20 m.ye örneklenmiş ve doğruluk araştırması yapılmıştır. Doğruluk araştırmasından elde edilen sonuçlar Tablo 8'de verilmiştir.

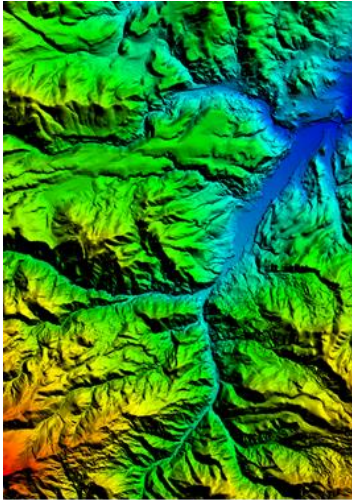
Tablo 8 incelendiğinde; arazinin çok düz olması sebebiyle 5 m ve 20 m grid aralıklarındaki doğruluk seviyelerinde farklılıklar görülmemektedir. Grid aralığının 20 m seçilmesi, 20 m.den küçük aralıklara isabet eden detayların yükseklik farklılıklarının ortaya çıkmamasına neden olacaktır.

| VERİ (Aralık metre) | 3 σ 'yi geçen (2 m) Nokta Sayısı | Ortalama Fark (m) | σ (\pm m) (% 68 G.A.) | σ (\pm m) (% 90 G.A.) |
|---------------------|---|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 5 | 0 | -0.71 | 0.45 | 1.38 |
| 10 | 2 | -0.69 | 0.43 | 1.33 |
| 15 | 2 | -0.69 | 0.43 | 1.34 |
| 20 | 1 | -0.69 | 0.44 | 1.33 |

Tablo 8. L30-a1 farklı aralıklarda düzeltilmiş SAM doğruluk araştırması

3.3 Doğubayazıt J51-a1 1/25.000 Ölçekli Pafta

J51-a1 paftası; yükseklik farklarının ve derin vadilerin fazla olduğu, yüksek bitki örtüsünün ve yerleşim yeri detay yoğunluğunun az olduğu bölgeleri yansıtmaları açısından seçilmiştir. Arazide yükseklikler 1930-3300 m aralığında değişmektedir (Şekil 10). Pafta, Van Gölünün kuzey doğusunda yer almaktadır.



Şekil 10. J51-a1 Sayısal Yüzey Modeli

Üretilen SAM/SYM doğruluk testlerinde kullanılmak üzere stereo modellerden 124 adet üç boyutlu nokta kontrol noktası olarak hassas bir şekilde okunmuştur. Yöneltilme sonrası stereo modellerden elde edilebilecek yatay doğruluk ± 0.5 m ve düşey doğruluk ise ± 1.5 m altındadır.

Öncelikle çalışma bölgesinin mevcut DTED2 ve SRTM2 verileri stereo modeller üzerinden okunan üç boyutlu koordinatlar ile test edilmiş ve Tablo 9'daki sonuçlar elde edilmiştir.

| VERİ | 3 σ 'yi geçen (15 m) Nokta Sayısı | Ortalama Fark (m) | σ (\pm m) (% 68 G.A.) | σ (\pm m) (% 90 G.A.) |
|-------|--|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| DTED2 | 3 | -2.19 | 4.36 | 8.03 |
| SRTM2 | 2 | 1.20 | 4.84 | 8.20 |

Tablo 9. J51-a1 DTED2 ve SRTM2 doğruluk araştırması

J51-a1 paftasından Inpho Match T yazılımı kullanılarak nokta bulutu SAM olarak toplanmış ve otomatik filtrelenebilen arazi detayları stereo düzenleme yazılımında düzeltilmiştir. Sonuç SAM 32 bit Geotiff olarak 5 m, 10 m, 15 m ve 20 m.ye örneklenmiş ve doğruluk araştırması yapılmıştır. Doğruluk araştırmasından elde edilen sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir.

| VERİ (Aralık metre) | 3 σ 'yi geçen (2 m) Nokta Sayısı | Ortalama Fark (m) | σ (\pm m) (% 68 G.A.) | σ (\pm m) (% 90 G.A.) |
|---------------------|---|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 5 | 1 | -0.64 | 0.46 | 1.30 |
| 10 | 1 | -0.67 | 0.48 | 1.36 |
| 15 | 3 | -0.67 | 0.48 | 1.35 |
| 20 | 4 | -0.67 | 0.53 | 1.41 |

Tablo 10. J51-a1 farklı aralıklarda düzeltilmiş SAM doğruluk araştırması

Tablo 10 incelendiğinde; Farklı grid aralıklarındaki doğruluk seviyelerinde farklılıklar görülmemektedir. Yalnızca 3 σ 'yi geçen nokta sayısı artmaktadır. Grid aralığının 20 m seçilmesi, 20 m'den küçük aralılara isabet eden detayların yükseklik farklılıklarının ortaya çıkmamasına neden olacaktır. Özellikle dere çatakları ve kayalık bölgeler SAM'da ifade edilmemiş olabilecektir.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Üç farklı topografyaya sahip bölgede yapılan doğruluk çalışmaları incelendiğinde, hava fotoğraflarından üretilen SAM'ın diğer altlık ürünlerden elde edilen verilere göre üstünlüğü görülmektedir. Tablo 11'de elde edilen standart sapmalar % 90 güven aralığında özetlenmiştir.

| VERİ | Bölge | Yükseklik Aralığı (m) | DTED2 (σ \pm m) | SRTM2 (σ \pm m) | Hv.Foto. (σ \pm m) |
|--------|-------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|
| L23-b3 | Uşak | 800-1800 | 11.95 | 11.18 | 2.51 |
| L30-b1 | Aksaray | 900-1000 | 3.63 | 2.93 | 1.38 |
| J51-a1 | Doğubayazıt | 1930-3300 | 8.03 | 8.20 | 1.30 |

Tablo 11. Paftalardan elde edilen sam doğruluk araştırması özeti

Tablo 11 incelendiğinde; hava fotoğraflarından otomatik eşleme yöntemiyle üretilen SAM ve SYM doğruluklarının, operatör okuma hatası ve hava fotoğraflarının yöneltilme hataları da dahil edildiğinde ± 3 metrenin altında kaldığı görülmektedir. Çok düz, bitki örtüsünün az olduğu alanlarda SAM doğruluğunun hava fotoğrafları yöneltilme doğruluklarına yakın olmaktadır.

Hava fotoğraflarından otomatik SYM ve SAM üretimi; bir adet 1/25.000 ölçekli pafta alanı için, 4 çekirdekli Xeon Dual işlemcili çalışma istasyonunda yaklaşık 40 dakika sürmektedir. Çalışmada değerlendirilen her bir pafta için SYM'den SAM'a düzeltme ve münhani üretimleri için harcanan süreler Tablo 12'de verilmiştir.

| VERİ | SYM'den SAM'a Düzeltme Süresi (Saat) | Otomatik Üretilen Münhane Düzeltme Süresi (Saat) | TOPLAM SÜRE (Saat) |
|--------|--------------------------------------|--|--------------------|
| L23-b3 | 43 | 19 | 62 |
| L30-b1 | 6 | 8 | 14 |
| J51-a1 | 13 | 17 | 30 |

Tablo 12. SYM/SAM ve münhane üretiminde paftalarda harcanan süreler

Tablo 12 incelendiğinde; en fazla sürenin Uşak L23-b3 paftasına harcandığı görülmektedir. Bunun nedenleri; paftada yükseklik farklarının fazla olması, paftanın 1/3'ünün sık ormanla kaplı olması, paftanın orman olmayan alanlarında ise ağaç topluluklarının ve çalılıkların olması ve yerleşim yerlerinin yer almasıdır. Aksaray L30-b1 paftası, yaklaşık 100 m yükseklik farkı içermekte, neredeyse hiç bitki örtüsü yer almamaktadır. Doğubayazıt J51-a1 paftasında ise; yükseklik farklarının büyük olmasına rağmen, bitki örtüsü ve yerleşim yeri yok denecek kadar azdır.

Türkiye geneli incelendiğinde; büyük şehir alanları ve tamamen ormanla kaplı alanlarda SAM ve münhane üretim süresinin 10 güne yaklaşabileceği değerlendirilmektedir. Bunun yanında geniş düzlüklerin olduğu ve bitki örtüsünün çok seyrek olduğu bölgelerde bu sürenin iki güne düşeceği; ortalama olarak ise bir paftanın SAM ve münhane üretimlerinin beş gün sürebileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca, operatörlerin üretim sürecindeki yazılım ve hata kaynaklarına alışmalarıyla sürelerin yaklaşık %20 oranında kısalabileceği düşünülmektedir.

Hrt.Gn.K. lığında; 32 Bit Floating (INSPIRE) GeoTiff formatında ve 5 grid aralığında SYM üretilmeye başlanmıştır. İlk aşama olarak değerlendirilen bu üretim sonrasında SAM üretimine de geçilecektir. Üretilen her bir veri grubu için üretimle eş zamanlı olarak HGK metaveri profiline göre metaverileri toplanmaktadır.

Üretilmesi planlanan SAM/SYM ve münhanilere ilave olarak, üretilen verilerin kullanıcıların kolay erişimine olanak sağlayacak şekilde web üzerinden sunulması gerektiği düşünülmektedir. Diğer ülkelerde yapılan çalışmalarda, çok sayıda yükseklik verisi üreticisinden (kamu ve özel sektör) gelen verilerin ortak bir paydada birleştirildikleri, yükseklik verisini üretecek kurumların da verinin eksik olduğu üretimlerini gerçekleştirdikleri, böylelikle aynı bölgeler için çoklu çabaların önüne geçildiği görülmektedir. Ülkemizde de, özellikle kamu kurumları büyük ölçekli harita üretimi yaptırmakta, lazer tarama ile SYM elde etmektedirler. Söz konusu veriler aynı çatı altında birleştirilebildiği takdirde zaman ve maliyet tasarrufu sağlanabileceği değerlendirilmektedir.

Ayrıca üretilen ve üretilecek yükseklik verilerinin doğruluk kontrolü için, TUTGA ve TUSAGA kapsamındaki jeodezik noktalar, nivelman noktaları ve hava fotoğrafı çekimi için inşa edilen ve ölçülen yer kontrol noktalarının kullanılmasının ve kamu kurumları tarafından inşa edilecek her noktanın bu kontrole dâhil edilmesi veri doğruluğu konusunda daha fazla veri sağlayabilecektir.

Buraya kadar yapılacak çalışmalar, 2000 yılından itibaren üretilmeyen ve eski münhane kalıplarından üretilmiş olan

DTED2 verilerinin güncellenmesi ve doğruluğunun artırılmasını ve daha sık aralıklı (1/3 veya 1/9 ark saniye aralıklı) yeni bir SAM'ın üretilmesini sağlayacaktır. Böylelikle TSK ve kamu kurumlarından gelen daha sık aralıklı ve doğruluğu yüksek yükseklik verisi ihtiyacının karşılanabileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), 2012. Digital Terrain Models for Germany, http://www.bkg.bund.de/nn_171776/EN/FederalOffice/Products/Geo-Data/Digital-Terrain-Models/DGM-Germany/DGMGermany__node.html__nnn=true (15 Haziran 2012).

Canada Centre for Topographic Information, 2007, Canadian Digital Elevation Data, Level 1 Product Specifications Edition 3.0, 01 June 2007, http://www.geobase.ca/doc/specs/pdf/GeoBase_product_specs_CDED1_3_0.pdf, (29 Haziran 2012).

Federal Geographic Data Committee, 2008. Geographic Information Framework Data Content Standard, Part 3: Elevation, May 2008, http://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/framework-data-standard/GI_FrameworkDataStandard_Part3_Elevation.pdf (15 Haziran 2012).

Fisher, P.F. ve Tate, N.J., 2006, Causes and consequences of error in digital elevation models. Progress in Physical Geography 30, 4 (2006) pp. 467–489.

Geoscience Australia, 2011. National Elevation Data Audit 2011, National Elevation Data Framework (NEDF):The Shared Digital Representation of Australia's Landform and Seabed, http://www.ga.gov.au/image_cache/GA20006.pdf, (02 Temmuz 2012).

Höhle, J., 2009. DEM Generation Using a Digital Large Format Frame Camera. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 75, No.1, January 2009, pp. 87–93.

Hovenbitzer, M., 2004, The Digital Elevation Model 1:25.000 (DEM25) for the Federal Republic of Germany, XXth ISPRS Congress Proceedings, Commission 4, İstanbul, pp.1240-1243.

INSPIRE, 2012. D2.8.II.1 Data Specification on Elevation-Draft Guidelines, http://www.inspire.jrc.europa.eu/documents/Data_Specification_EL_v2.0.pdf, (02 Temmuz 2012).

U.S. Geological Survey (USGS), 2012. National Elevation Dataset, ftp://edcsgs9.cr.usgs.gov/data/topo/NED_History/DEM_Manual_2ndEd_Chap4_NED.pdf, (15 Haziran 2012).