1/25 000 ÖLÇEKLİ STANDART TOPOĞRAFİK HARİTALARDAN ELDE EDİLEN SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİN DOĞRULUK ANALİZİ

Semih YILDIZ¹, Zuhale AKYÜREK², Abdurrahim AYDIN³

¹Y. Müh., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı, 06800, Çankaya, Ankara, semih.yildiz@metu.edu.tr

²Prof. Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı, 06800, Çankaya, Ankara, zakyurek@metu.edu.tr

³Doç. Dr. Abdurrahim Aydın, Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, 81620, Düzce, aaydin@duzce.edu.tr

ÖZET

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) yeryüzünün katı kısmını oluşturan kara parçalarının diğer bir ifade ile topoğrafyanın deniz seviyesinden yüksekliğini, coğrafi konumu ile birlikte nicelik olarak ifade etmek üzere geliştirilmiş ve yaygın bir şekilde kullanılan 3 boyutlu bir veri modelidir. Günümüzde kullanım amacına bağlı olarak farklı ölçeklerde ve farklı teknikler kullanılarak SYM üretimi yapılabilmektedir. Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilen ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan 1/25 000 (25K) ölçekli standart topoğrafik paftalar, üzerlerine işlenmiş eşyüksekti eğrileri sayesinde SYM üretimi için sıklıkla kullanılmaktadır. Yatay doğruluğunun ± 5 m ve düşey doğruluğunun ± 2.5 m olduğu belirtilen bu paftalar, tüm ülke topoğrafyasını kapsayacak şekilde üretilmiş olması nedeniyle, ülke çapında ve metre hassasiyetinde SYM (PAF-SYM) üretme imkânı tanımaktadır. Ancak hem üretim tekniği hem de kullanılan paftalar açısından hata barındıran bu PAF-SYM'lerin doğrulukları merak konusudur.

İnsansız hava araçları (İHA) diğer platformlara göre daha detaylı, yüksek çözünürlüklü ve düşük maliyetli veri üretimine imkân tanınması nedeniyle çok kısa zamanda bilimsel çalışmaların ilgi odağı hâline gelmiştir. Bu çalışma, İHA kullanılarak elde edilen veriler ışığında, 25K paftalardan üretilen 10 metre çözünürlüğe sahip PAF-SYM'lerin doğruluğunu test etmeyi ve hataların topoğrafyaya göre nasıl bir dağılım içinde olduğunu ortaya çıkarmayı amaçlamıştır. Bu kapsamda, üzerine 12 MP çözünürlüğe sahip kamera entegre edilmiş DJI Mavic Pro model İHA ile 80 metre uçuş yüksekliğinde 2.5 cm çözünürlükte görüntü elde edecek şekilde 7 ve 12 hektarlık iki farklı alanda uçuş gerçekleştirilmiştir. Uçuş sonucunda elde edilen sayısal görüntüler işlenerek yüksek çözünürlükte (~13cm/piksel) SYM'ler (İHA-SYM) üretilmiştir. Yatay ve düşey doğrulukları ile piksel çözünürlükleri santimetre hassasiyetinde olan İHA-SYM'ler, metre hassasiyetinde olan PAF-SYM'lerin doğruluk analizinde bir referans olarak kullanılmıştır. İki ürünü kıyaslamak için, öncelikle 13 cm çözünürlüğündeki İHA-SYM'ler 10 metre piksel çözünürlüğe sahip olacak şekilde ağırlıklı ortalama yöntemi ile yeniden örneklendirilmiştir. Böylece aynı çözünürlükte iki ayrı yöntem ile elde edilmiş SYM'ler kıyaslanmıştır. Kıyaslamaya göre SYM'ler arasında birinci alanda ortalama 6,38 metre, ikinci alanda ise ortalama -3,86 metre fark olduğu görülmüştür. Ayrıca, ağaç ve çalılıkların yoğun olduğu veya eğimin arttığı arazi bölgelerinde PAF-SYM ve İHASYP arasındaki yükseklik farklarının daha fazla olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: çözünürlük, fotogrametri, İHA, sayısal yükseklik modeli

ABSTRACT

ACCURACY ASSESSMENT OF DIGITAL ELEVATION MODEL (DEM) DERIVED FROM 1/25000 SCALE STANDART TOPOGRAPHIC MAPS

Digital elevation models (DEMs) are widely used 3D data models that consist of arrays of regularly spaced and geographically referenced bare-earth elevation values. There are various techniques used to create DEMs. In Turkey, A well-known technique is to derive elevation values from contours on 1/25 000 (25K) standard topographic maps that are already produced for the whole country by National Mapping Agency of Turkey (GCM). These 25K maps have 5 m horizontal and 2.5 m vertical accuracies. The technique to produce DEMs from 25K maps includes map digitizing, contour drawing and interpolation. Inherent errors in 25K maps combined with production procedure errors led to generate DEMs (25K-DEMs) with even greater errors, which are the subject of this study.

The aim of this study is to test the correctness of the 25K-DEMs and to find out how the errors are distributed over the topography in comparison with very high resolution DEMs derived from UAV platform (UAV-DEMs). Unmanned aerial vehicles (UAVs) have become the focus of scientific studies in a very short time since they allow for more detailed, high resolution and low cost data generation than other platforms such as artificial satellites and airplanes. In this scope, A DJI Mavic Pro model UAV with an integrated 12 MP resolution camera was used to gather very high-resolution (2.5 cm) images. Two different flights were carried out in two different study sites of 7 and 12 hectares at altitude of 80 meters. The obtained digital images were processed to produce high resolution (about 13cm/pixel) UAV-DEMs. UAV-DEMs are resampled from 13 cm pixels to 10 m pixel resolution using bilinear interpolation method to be able to compare them with 10 m resolution 25K-DEMs. As a result, DEMs obtained from two different techniques were compared by taking the elevation differences pixel by pixel. The average error of the first and second site were 6.38 m and -3.86 m respectively. In addition, the comparison shows that elevation errors increase in the regions where trees and shrubs are denser or slope is steeper.

Keywords: digital elevation model, photogrammetry, resolution, UAV

1. GİRİŞ

Bilim ve mühendislik uygulamaları başta olmak üzere askerî, kültürel ve sportif faaliyetler gibi yeryüzü yüksekliğine bağlı uygulamalarda yatay konumlanmanın yanında düşey konumlamaya da ihtiyaç duyulmaktadır. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) bu gereksinimi karşılamak üzere geliştirilmiş ve son derece yaygın olarak kullanılmakta olan bir veri modeli olarak karşımıza çıkmaktadır. Arazi eğimi, arazi bakışı ve havza alanı gibi özellikler SYM üzerinden belirlenebilmektedir. Uzaktan algılama, fotogrametri veya yersel ölçme teknikleri kullanılarak SYM üretmek mümkündür. Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilen ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan 1/25 000 (25K) ölçekli standart topoğrafik paftalar (Şekil 1), üzerlerine işlenmiş eşyüksekti eğrileri sayesinde SYM üretimi için sıklıkla kullanılmaktadır (Şekil 2) (Selvi, 2018).

Şekil 1. 1:25 000 ölçekli (25K) topoğrafik harita.

Şekil 2. 25K haritadan türetilmiş eşyüksekti eğrileri.

İnsansız Hava Araçları (İHA) üzerlerine entegre edilmiş GPS, IMU ve kamera algılayıcıları sayesinde uzaktan, ucuz maliyetli, yüksek çözünürlükte ve doğrulukta veri elde etme imkânı sunmaktadır (Bhandari vd., 2015). Bu durum İHA'ları, coğrafi veri elde etmede geleneksel olarak kullanılmakta olan yapay uydulara ve pilotlu hava araçlarına alternatif yeni bir platform olarak karşımıza çıkarmıştır. Bu çalışmada, İHA kullanarak sayısal hava görüntüleri elde etme ve bu verilere bağlı olarak önemli bir coğrafi veri türü olan ve yaygın bir şekilde kullanılan Sayısal Yükseklik Modeli (İHA-SYM) üretme olanağı ve kazanımları ele alınmıştır. Ayrıca çok yüksek çözünürlükte olan bu İHASYM'ler (13cm/piksel) 25K paftalardan elde edilen 10 m çözünürlüğe sahip PAF-SYM'lerin doğruluğunu test etmek için bir referans olarak kullanarak, PAF-SYM düşey doğruluğu analizi ve hataların topoğrafyaya nasıl yayıldığı konularında araştırma yapılmıştır.

2. UYGULAMA

Ilgaz Dağı Millî Parkı havzasında 7 Eylül 2017 tarihinde iki farklı alanda İHA ile uçuş gerçekleştirilmiştir. Çalışmada DJI Mavic Pro model İHA kullanıldı. Fotoğraf alımı İHA üzerine bütünlüklük 12 MP çözünürlüğe sahip DJI FC220 model kamera sistemi ile yapılmıştır. Konum hassasiyetini artırmak adına arazide kontrol noktaları tesis edilmiş ve bu noktalar üç boyutlu olarak Satlab SL600 Model CORS-GPS ile konumlandırılmıştır. Uçuş planlamasında UgCS yazılımı kullanılırken veri işleme ve SYM üretimi için Pix4D yazılımı ve üretilen SYM'lerin analiz ve doğruluk kıyaslamaları için R-Studio, ArcGIS ve Quantum GIS yazılımları kullanılmıştır.

2.1 Çalışma Alanı

Çalışma kapsamında, Türkiye'nin gözde millî parklarından biri olan Ilgaz Dağı Millî Parkı havzasında 7 ve 25 hektarlık alana sahip iki farklı alanda İHA ile veri alımı yapılmıştır. Bu havza Kastamonu'nun 45 km güneyinde ve Ankara'nın 200 km kuzeyinde Orta Anadolu bölgesinde yer almaktadır (Şekil 3). Deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 1800 metredir. Ortalama sıcaklığı 5.7 °C'dir. Toprak genellikle şistler ve volkanik kayalardan oluşmuştur. Anadolu'nun en uzun ve en dinamik kırılma çizgisi olan kuzey fay hattı Ilgaz Dağı'nın güney eteklerinden geçmektedir. Millî Park içinde farklı özelliklere sahip vadiler, sırtlar ve tepeler vardır. Jeomorfolojik olarak, hafif dalgalı yayla düzlüğü veya zirve düzlüğü olarak ifade edilebilecek bir yapıya sahiptir. Arazi, genel olarak başta saf Gökmar ve Sarıçam meşcereleri olmak üzere orman ile orman içi açıklık (OT) niteliğindeki alanlardan oluşmaktadır (Aydmözü vd., 2012). Ilgaz Dağı Millî Parkı'nın dağlık ve engebeli bir yapıya ve farklı arazi örtüsüne sahip olması, bu test alanını konuma bağlı uygulamalar açısından önemli kılmaktadır.

Şekil 3. Kastamonu ili, Ilgaz Dağı Milli Parkı sınırları dâhilinde bulunan çalışma alanlarını gösterir harita.

2.2 1:25 000 Ölçekli Paftalardan Sayısal Yükseklik Modeli Kazanımı (PAF-SYM)

Ulusal ölçekte standart bir SYM oluşturmak için diğer veri toplama yöntemlerine kıyasla üretim hızı, maliyet, çözünürlük ve doğruluk ölçütleri açısından beklentileri karşılaması nedeniyle 1:25 000 ölçekli topoğrafik paftaların sayısallaştırması benimsenmiştir. Yatay doğruluğunun ± 5 m ve düşey doğruluğunun ± 2.5 m olduğu belirtilen bu paftalar, tüm ülke topoğrafyasını kapsayacak şekilde üretilmiş olması nedeniyle, ülke çapında ve metre hassasiyetinde SYM (PAF-SYM) üretme imkânı tanımaktadır (Bildirici vd., 2008). 1:25 000 ölçekli paftalar üzerinden yükseklik eğrilerinin sayısallaştırılması sonucu oluşturulan sayısal veri kütüğüne YÜKPAF25 denilmektedir. Çizgisel harita ve onun YÜKPAF25 örneği sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2 ile gösterilmiştir. Nokta yükseklikleri sadece eğriler ile temsil edilmektedir.

YÜKPAF25 verileri, DTED-2 standardında 1" çözünürlüklü SYM üretimi için kullanılmaktadır. Paftaların sayısallaştırılması sonucu elde edilen eşyüksekti eğrileri ayrık veri yapısında (discrete) olup devamlı veri yapısına (continuous) kavuşturmak için yükseklik değerlerinin hesap (enterpolasyon) yoluyla bulunması gerekmektedir. Hesap sonucu bulunan grid yapıdaki yeni yükseklik değerlerinin hata miktarları daha fazla olmaktadır. Arazinin topoğrafik yapısı, toplanan veri (sayısallaştırma) sıklığı ve oluşturulacak grid ağının sıklığı gibi etmenler hata büyüklüğü üzerinde etkilidir. Kısaca SYM üretimi, baskı haritalarının sayısallaştırılmasının yanı sıra eşyüksekti eğrilerinin vektöre çevrilmesi ve vektör eğrilerin yükseklik bilgilerine göre etiketlenmesi, etiketli vektör eğrilerinin enterpolasyon tekniği ile belirli bir çözünürlüğü olan gridlere çevrilmesi ve nihai olarak bu vektör gridlerin tekrar raster formatına dönüştürülerek SYM elde edilmesi aşamalarından oluşmaktadır. (Selvi, 2018).

Bu çalışmada hem üretim tekniği hem de üretildikleri paftalar açısından hata barındıran çalışma alanlarına ilişkin Harita Genel Komutanlığı tarafından yukarıda bahsedilen yöntemle üretilen Şekil 4'te gösterilmekte olan 10 metre çözünürlüğe sahip PAF-SYM'lerin doğrulukları ele alınmıştır. Alan-1 için kullanılan PAF-SYM ortalama deniz seviyesinden yüksekliği maksimum 1982, minimum 1932 olmak üzere ortalama 1960 metredir. Alan-2 için kullanılan PAF-SYM ortalama deniz seviyesinden yüksekliği maksimum 1995, minimum 1815 olmak üzere ortalama 1890 metredir.

Şekil 4. Doğruluğu test edilmek üzere sırasıyla Alan 1 (Sol) ve Alan 2 (Sağ) için temin edilen 10 m çözünürlüğe sahip 1:25 000 Ölçekli Topoğrafik Haritalardan elde edilmiş Sayısal Yükseklik Modelleri (PAF-SYM).

2.3 İHA Verisinden Yüksek Çözünürlükte Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi (İHA-SYM)

İHA ile yüksek çözünürlükte görüntü verisi elde etme ve bu görüntülerden SYM üretme süreci aşağıda belirtilen üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

2.4 Uçuş Planlaması ve Yer Kontrol Noktalarının Tesisi

Saha çalışmaları öncesinde, uçuş planlama yazılımı UgCS kullanılarak ilk olarak 7 hektarlık alan için uçuş planı tasarlanmıştır. Uçuş planı %75 ön ve %75 yan bindirmeli olarak 2.5 cm çözünürlüğü koruyacak şekilde topoğrafyaya adaptif olarak planlanmıştır. 25 hektarlık alan için iki uçuş olarak veri alımının gerçekleştirilmesi uygun görülmüş ve uçuş planı bu doğrultuda tasarlanmıştır. Ancak sahanın büyük olması nedeniyle batarya kapasitesine bağlı olarak uçuşların başarılı şekilde tamamlanabilmesi için bu iki uçuşta ön bindirme oranı %75 iken yan bindirme oranı %65 olarak tanımlanmıştır. Bu iki uçuş da ilk uçuşla aynı (2.5 cm) çözünürlüğü sağlayacak şekilde ortalama 80 m yükseklikte planlanmıştır. Her iki alan için tasarlanan uçuş planları Şekil 5'te gösterilmektedir.

Şekil 5. UgCS yazılım kullanılarak sırasıyla Alan-1 (a.) ve Alan-2 (b.) için tasarlanan uçuş planları.

İHA'lar sahip oldukları IMU ve GPS özellikleri sayesinde çekilen her fotoğrafın çekim anına ait üç boyutlu konumlarını ölçmekte ve kaydetmektedir. Ancak bu konum ölçüleri metre hassasiyetinde olduğundan üretilecek arazi modelinin konum doğruluğunu artırmak için ayrıca yer kontrol noktalarının (YKN) tesis edilmesi ihtiyacı doğmaktadır. Bu amaçla arazide 7 hektarlık Alan 1'de 11 adet ve 25 hektarlık Alan 2'de 13 adet olmak üzere toplam 24 adet Yer Kontrol Noktası (YKN) tesis edilmiştir. Tesis edilen YKN'ler, Satlab SL600 Cors-GPS kullanılarak TUREF/TM-33 (EPSG: 5255) koordinat sisteminde cm hassasiyetinde konumlandırılmış ve elipsoit yükseklikleri ortalama deniz seviyesine indirgenmiştir. Yükseklikleri deniz seviyesine indirmek için kullanılan geoid yüksekliği Dünya Gravite Modeli-2008 (EGM-2008) verilerinden elde edilmiştir. EGM-2008'e göre çalışma alanının geoid yüksekliği ortalama yaklaşık 36.52 metredir. Alınan koordinatlar ve hesaplanan ortalama deniz seviyesinden yükseklikler Çizelge 1'de verilmektedir. Ayrıca, YKN'lerin arazideki dağılımları Şekil 6'da gösterilmektedir.

Çizelge 1. Alan 1 (7 ha) için ölçülen Yer Kontrol Noktası (YKN) koordinatları ve hesaplanan ortalama deniz seviyesinden yükseklikleri.

Nokta No	Sağa Değer (m)	Yukarı Değer (m)	Elipsoidal Yükseklik (m)	Ortalama Deniz Seviyesi Yükseklik (m)
1	560697.70	4547482.42	2008.23	1971.71
2	560662.71	4547465.53	2005.21	1968.69
3	560641.8	4547425.17	2004.98	1968.46
4	560684.01	4547403.96	2000.64	1964.12
5	560737.15	4547346.60	1991.66	1955.14
6	560776.89	4547337.75	1986.99	1950.48
7	560823.78	4547417.20	1990.45	1953.93
8	560795.51	4547436.43	1998.32	1961.80
9	560764.49	4547444.17	2002.05	1965.52
10	560724.20	4547437.72	2000.95	1964.43
11	560726.33	4547541.35	2013.71	1977.19

Şekil 6. Sırasıyla Alan-1 (solda) ve Alan-2 (sağda) için tesis edilen Yer Kontrol Noktalarının (YKN) arazideki dağılımları.

2.5 İHA ile Veri Alımının Gerçekleştirilmesi

Arazi çalışması saat 08:45'te başlamış olup 11:45'te tamamlanmıştır. Arazi çalışması esnasında anemometre ile yerden yapılan ölçümlerde maksimum rüzgâr hızı 3 m/s olarak ölçülmüştür. DJI Mavic Pro model İHA 10 m/s'ye kadar rüzgâra dayanıklı olarak uçuşa olanak sağlamaktadır. Arazi çalışmaları esnasında hava sıcaklığı 18 °C olup gökyüzü tamamen bulutsuzdur. Böylece hem rüzgâr hem de sıcaklık açısından hava koşullarının uçuşa oldukça müsait olduğu gözlenmiştir. Uçuş planı doğrultusunda, 3 adet otonom uçuş gerçekleştirilmiştir. Alan 1'e ait görüntü alımı 09:42'de başlayıp 09:48'de tamamlanmış ve toplam uçuş süresi 8 dakika 6 saniye olarak gerçekleşmiştir. Uçuş boyunca toplam 2.4 km yol almıştır. Minimum yükseklik 1975 m ve maksimum 2068 m olarak ölçülmüştür. Hem ön hem de yan bindirme oranı % 75 ve yön açısı 230 ° olarak tayin edilmiştir. Benzer şekilde ikinci uçuş 13 dk. 23 sn. sürerken, üçüncü uçuş 12 dk. 56 sn. sürmüştür. Gerçekleştirilen ikinci ve üçüncü uçuşlarda sırasıyla 4.3 km ve 4.1 km yol almıştır. İkinci uçuşta uçuş yüksekliği minimum 1879 m ve maksimum 2058 m'dir. Üçüncü uçuşta uçuş yüksekliği minimum 1879 m ve maksimum 2058 m'dir. Her iki uçuşta, ön bindirme % 65, yan bindirme % 75 ve yön açısı 60 ° olacak şekilde uçuş yapılmıştır. Alan 1'de tek uçuş yapılarak toplam 118 görüntü elde edilirken Alan 2 için ilk uçuşta 210 ve ikinci uçuşta 197 olmak üzere toplam 407 adet görüntü elde edilmiştir.

2.6 Veri İşleme ve Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi

Arazi çalışmaları akabinde elde edilen hava fotoğraflarından SYM üretebilmek için lisanslı bir ürün olan Pix4D yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım, Computer Vision (CV) ve Fotogrammetry alanlarında kullanılan algoritmalara dayalı olarak İHA verilerini işlemek için geliştirilmiştir. Program girdi olarak sayısal hava fotoğraflarını ve yer kontrol noktalarını kullanmaktadır. Ayrıca yer noktalarının işaretlenmesi için kullanıcının elle müdahalesine imkân tanımaktadır. Yazılım ilk olarak hava fotoğraflarını eşlemek için CV alanında yaygın olarak kullanılan SIFT algoritmasını kullanarak anahtar noktaları (keypoint) tespit etmektedir. Bu anahtar noktalar kullanılarak fotoğraflar eşleştirilmekte ve kamera iç ve dış yöneltme parametreleri tayin edilmektedir. Böylece stereo kamera kalibrasyonu otomatik olarak yapılmakta ve uçuş modeli fotogrametrik anlamda oluşmaktadır. Çizelge 2'de gösterildiği gibi programın çıktısı olarak verdiği kalite raporu kullanıcı tarafından kontrol edilmekte ve model doğruluğu istenilen düzeyde ise YKN noktaları işaretleme safhasına geçilmektedir. YKN noktaları kullanılarak model coğrafi olarak konumlandırılmaktadır.

Çizelge 2. Pix4D yazılımı ile oluşturulan stereo modellere ilişkin kalite değerlendirme cetveli (Pix4D, 2018).

	Alan 1	Alan 2	Referans
Görüntüler	Görüntü başına ortalama 48060 Görüntü başına ortalama 52392 anahtar nokta üretildi.	anahtar nokta üretildi.	> 1000
Veri seti	118 görüntünün 118'i (%100) kalibre edildi.	407 görüntünün 401'i (%98) kalibre edildi.	> %95
Kamera Optimizasyonu	Başlangıç ve optimizasyon sonrası kamera iç parametreleri arasındaki fark % 0.08'dir.	Başlangıç ve optimizasyon sonrası kamera iç parametreleri arasındaki fark % 0.12'dir.	< %5
Eşleşme	Kalibre edilmiş görüntüler arasındaki nokta eşleşmesi ortalama 16468'dir.	Kalibre edilmiş görüntüler arasındaki nokta eşleşmesi ortalama 18298'dir.	> 1000
Coğrafi Referanslama	8adet YKN kullanılarak 11 adet YKN kullanılarak referanslama gerçekleştirildi. Karekök ortalama hata (RMSE)= 0.053'tür.	referanslama gerçekleştirildi. Karekök ortalama hata (RMSE)= 0.044'tür.	YKN Sayısı ≥ 3 RMSE < 2 * GSD

Girdileri tamamlanan yazılım SYM üretmek üzere nokta kümesi sıklaştırması (Point Cloud Densification) yapmakta ve milyonlarca nokta üretmektedir. Üretilen bu noktalar topoğrafik özelliklerine göre ayrıca sınıflandırılmaktadır (Point Cloud Densification). Elde edilen nokta kümesinden En Yakın Komşu Enterpolasyonu yöntemi kullanılarak Sayısal Arazi Modeli (SAM) oluşturulmakta ve topoğrafyayı olduğu gibi göstermektedir. SYM üretmek için sınıflandırılmış nokta kümesi kullanılarak topoğrafya üzerinde bulunan ağaç, çalı ve bina gibi toprak üstü objeler elimine edilmektedir. Böylece doğal topoğrafya yüzeyini gösterir SYM üretilmektedir. İş akışı şematik olarak kısaca Şekil 7'de gösterildiği gibidir.

Şekil 7. Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi için genel iş akış şeması (Bhandari. et al.. 2015).

Yukarıda ifade edilen iş akışının tamamlanması sonucunda aşağıda Şekil 8 ve Şekil 9’da gösterilmekte olan her iki çalışma alanına ilişkin Ortofoto ve Sayısal Yükseklik Modelleri elde edilmiştir.

Şekil 8. Çalışma alanlarına ilişkin İHA verilerinin işlenmesi sonucunda sırasıyla Alan 1 (a.) ve Alan 2 (b.) için üretilen ortofotolar.

Şekil 9. Çalışma alanlarına ilişkin İHA verilerinin işlenmesi sonucunda sırasıyla Alan 1 (a.) ve Alan 2 (b.) için üretilen 13 cm çözünürlüğe sahip Sayısal Yükseklik Modelleri (İHA-SYM).

2.7 İHA-SYM Verileri Yardımıyla PAF-SYM Doğruluk Analizi

PAF-SYM doğruluk analizi iki farklı grupta toplanan kontrol verisine göre yapılmıştır. Bunlar;

- İHA verilerinin işlenmesi ile elde edilen sayısal yükseklik (İHA-SYM) verileri ve
- CORS-GNSS yöntemiyle çalışma alanlarına tesis edilen YKN noktaları verileridir.

Her iki kontrol verisi grubundaki doğruluğun PAF-SYM verilerinden yüksek olduğu açıktır.

İHA-SYM çok yüksek çözünürlükte (13 cm) iken PAF-SYM'nin çözünürlüğü 10 m'dir. İki ürünü kıyaslamak için öncelikle 13 cm çözünürlüğündeki İHA-SYM'ler 10 metre piksel çözünürlüğüne sahip olacak şekilde En Yakın Komşu Entropolasyonu hesap yöntemi kullanılarak dönüştürülmüştür. Böylece aynı çözünürlükteki iki metottan elde edilmiş SYM'ler (1) formülü kullanılarak Şekil 9'da gösterildiği gibi her iki alan için ayrı ayrı hata dağılımları elde edilmiştir. Hata dağılımlarının istatistiksel sonuçları Çizelge 3'te sunulmuştur.

$$X = \text{İHA-SYM}, Y = \text{PAF-SYM} \text{ ve } Z = \text{Yükseklik Hatası olmak üzere; } Z = X - Y \quad (1)$$

Çizelge 3. Grid noktalarında hesaplanan PAF-İHA ve İHA-SYM yükseklik farklarına ilişkin istatistiksel sonuçlar

Alan Adı	Ortalama (m)	Medyan (m)	Maksimum (m)	Minimum (m)	Standart Sapma (m)	Piksel Sayısı	Alan (ha)
Alan 1	6.38	10.54	19.34	-0.56	3.40	705	7.5
Alan 2	-3.86	-4.04	8.85	-25.74	3.58	2551	25.5

Ortalama deniz seviyesine göre tanımlı yükseklik değerlerine ilişkin mutlak hataların %95'i birinci alan için 12 m ikinci alanda 9 m'nin altındadır. Ancak Şekil 10'da gösterildiği hata dağılımı büyük ölçüde arazinin topoğrafik yapısıyla ilişkilidir. Noktasal hata değerleri dağlık ve ağaçlı alanlarda 20-25 m'ye çıkmakta iken düz yerlerde ise 4-6 m seviyesine düşmektedir.

Şekil 10. Sırasıyla Alan 1 (a.) ve Alan 2 (b.) için hesaplanan yükseklik farklarının coğrafik dağılımları.

Bu çalışmanın esas amaçlarından biri olan “İHA-SYM yükseklik değerlerini mutlak ölçüt kabul ederek PAF-SYM yükseklik değerlerinin doğruluğunu test etme” yönetiminin sağlaması niteliğinde olabilecek ikinci bir değerlendirme seçeneği de ele alınmıştır. Şöyle ki YKN noktaları yukarıda da bahsedildiği gibi araziye gelişigüzel ve tüm alanı kapsayacak şekilde dağıtılarak tesis edildiğinden ve GNNS ile çok hassas olarak konumlandırıldığından bu noktalar hem İHA-SYM hem de PAF-SYM için bir doğruluk değerlendirmesi yapmaya imkân tanımaktadır. Ancak burada İHA-SYM yükseklik değerleri YKN noktalarına bağlı olarak elde

edildiğinden aralarında bir korelasyon olduğu da malumdur. Kullandığımız PAF-SYM doğruluk analizi metodunun güvenilirliğini destekler mahiyette olan YKN noktaları ile kıyas sonuçları tablo hâlinde sunulmuştur. Tablo 4'te görüldüğü gibi İHA-SYM yükseklik değerleri ile YKN yükseklik değerleri arasındaki farklar ortalama yarım metrenin altında kalırken PAF-SYM yükseklik değerleri ile YKN noktaları arasındaki yükseklik farkları birkaç metreyi bulabilmektedir. Ayrıca İHA-SYM ve PAF-SYM kıyaslamasında ortaya çıktığı gibi Alan 1 için elde edilen PAF-SYM ortalama yükseklik hatası Alan 2'den çok daha fazla çıkmaktadır.

Çizelge 4. Her iki çalışma alanına ait İHA-SYM ve PAF-SYM yükseklik değerlerinin arazide tesis edilen YKN noktalarının yükseklik değerleri ile farklarının istatistiksel değerleri. Burada Alan 1 ve Alan 2 için tesis edilen YKN noktaları mutlak ölçüt olarak kabul edilmiş ve her bir noktaya karşılık gelen piksel yükseklik değerleri ile kıyaslama yapılmıştır.

Alan Adı	SYM Türü	Ortalama (m)	Medyan (m)	Maksimum (m)	Minimum (m)	YKN Sayısı (m)
Alan 1	İHA-SYM	0.41	0.31	1.22	-0.43	11
Alan 1	PAF-SYM	5.36	4.59	10.85	1.82	11
Alan 2	İHA-SYM	0.14	-0.27	2.57	-0.96	11
Alan 2	PAF-SYM	-1.55	-2.87	9.36	-7.29	11

3. SONUÇLAR

Bu çalışma ile İHA kullanılarak standartlar dâhilinde çok yüksek çözünürlükte (13 cm) Sayısal Yükseklik Modeli (İHA-SYM) elde edilmiş ve 25K topoğrafik haritalardan elde edilen 10 m çözünürlükteki Sayısal Yükseklik Modelinin (PAF-SYM) doğrulukları iki SYM arasındaki fark alınarak test edilmiştir. Ortalama deniz seviyesine göre tanımlı yükseklik değerlerine ilişkin mutlak hatların %95'i birinci alan için 12 m ikinci alanda 9 m'nin altındadır. Ancak hata dağılımı büyük ölçüde arazinin topoğrafik yapısıyla ilişkilidir. Noktasal hata değerleri dağlık ve ağaçlık alanlarda 20-25 m'ye çıkmakta düz yerlerde ise 4-6 m seviyesine düşmektedir.

Sonuç olarak İHA-SYM kullanarak PAF-SYM'lerin doğruluğu test edilmiş ve yerel anlamda hatalar ortaya çıkarılmıştır. Ancak ülke çapında bir doğruluk değerlendirmesi yapabilmek için ülkenin farklı bölgelerinde daha büyük alanlarda uçuş yapılması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

İHA kullanımı ve görüntü alımı konusunda yardımcı olmak üzere arazi çalışmasına eşlik eden Düzce Üniversitesinden Arş. Gör. Remzi EKER ve Müh. Yalçın Sefer'e katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Aydınözü, D., İbret, Ü., Aydın, M., 2012. Kastamonu Ilgaz Dağı Millî Parkında Arazi Kullanımının Analizi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, Sayı: 26, Temmuz 2002, Sayfa: 108-123

Bhandari, B., Oli, U., Pudasaini, U., Panta, N., 2015. Generation of High Resolution DSM Using UAV Images. *FIG Working Week 2015 from the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World*. Sofia, Bulgaria. 1721 May 2015.

Bildirici, I.O., Üstün, A., Uluğtekin, N.N., Selvi, H.Z., Buğdaycı, I. ve Doğru, A.Ö., 2008. SRTM Verilerine Dayalı Ülke Bazında 3"×3" Çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modelinin Oluşturulması: Proje Sonuçları. *Uzaktan Algılama ve CBS Sempozyumu*. 13-15 Ekim 2008. Kayseri.

Pix4D, 2018. Quality Report Help. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558679-Quality-reportspecifications>. [Erişim tarihi: 09.05.2018].

Selvi, H.Z., Bildirici, İ.Ö., 2008. The accuracy and reliability of digital elevation models created from the contour lines of paper maps. 2. *International Conference on Cartography and GIS*. Borovest, Bulgaria. p. 7