YÜKSEK KONUM DOĞRULUKLU NOKTA BULUTU SAĞLAYAN HAVA KAYNAKLI LAZER İHA ÜRETİMİ VE VERİ KALİTESİNİN DEĞERLENDİRMESİ

Umut G. Sefercik, Serkan Karakış, Can Atalay

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak, Türkiye

ÖZET

Yoğun, yüksek konum doğruluklu, düşük maliyetli ve periyodik nokta bulutları elde etme ve doğrudan üç boyutlu dijital yüzey ve arazi modellerini sağlayabilme gibi avantajları sayesinde Hava Kaynaklı Lazer Tarama (ALS), haritacılık başta olmak üzere yeryüzü ve ona dair verileri inceleyen bilim alanlarında oldukça sık kullanılır hâle gelmiştir. ALS, özellikle mali açıdan güçlü Avrupa ülkeleri ve ABD'de, aktif algılamanın bulut ve orman penetrasyon yeteneği gibi avantajlarından faydalanarak pasif algılama prensipli yani güneşin aydınlatmasına bağımlı fotogrametriye alternatif bir yöntem olarak kısa sürede kabul görmüştür. Bununla birlikte, ALS teknolojisi, ihtiyaç duyduğu uçak, hava kaynaklı lazer tarayıcı, Global Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS), Atalet Ölçüm Birimi (IMU) ve yüksek kapasiteli iş istasyonları gibi ekipmanların yüksek maliyetinden ötürü az gelişmiş veya geliştirmekte olan ülkelerde yeterince kullanılamamıştır. Finansal gücü yeterli olmayan az gelişmiş ve geliştirmekte olan ülkelerde de ALS tekniğinin kullanılabilmesini sağlamak için araştırma ekibimiz, Ulusal bir Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) Projesi kapsamında, düşük maliyetli ALS kabiliyetli gelişmiş bir insansız hava aracı (İHA) üretmiştir. Cihaz, yeni dizayn ALS gimbal ve gerçek zamanlı kinematik konumlandırma gibi gelişmiş özelliklerle yüksek doğruluk ve çözünürlükte ALS verileri sağlayabilmektedir. Bu çalışmada, üretilen ALS, İHA ve verilerinden elde edilen dijital yüzey modelinin (DYM) kalitesi, açık, orman ve bina arazi sınıflarını içeren Bülent Ecevit Üniversitesi Merkez Kampüsü'ndeki bir test alanında görsel ve istatistiksel nokta ve model bazlı yaklaşımlarla ortaya konmuştur. Nokta bazlı analizlerde, araziden toplanan yer kontrol noktaları kullanılırken model bazlı değerlendirmelerde yersel lazer taramadan elde edilen referans DYM'den faydalanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, üretilen hava kaynaklı lazer tarayıcının veri performansının uluslararası ALS veri standartlarını fazlasıyla sağlayabildiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Sözcükler: gerçek zamanlı kinematik konumlandırma, gimbal, İHA, lazer

ABSTRACT

PRODUCTION OF AIRBORNE LASER ^{uav} CAPABLE OF PROVIDING POINT CLOUDS WITH HIGH GEOLOCATION ACCURACY AND QUALITY ASSESSMENT OF THE DATA

By means of providing dense, precise, low-cost and periodical point clouds and accurate three dimensional digital surface and terrain models of target areas, Airborne Laser Scanning (ALS) became respectable in a short time in remote sensing technologies and accepted as an alternative method to the photogrammetry especially in financially strong European Countries and USA. However, the technique could not be utilized sufficiently in underdeveloped or developing Countries due to the high cost of ALS equipment consists of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) and Inertial Measurement Unit (IMU) mounted aircrafts, airborne laser scanner, and high capacity work stations. To provide the utilization of ALS technique in underdeveloped and developing Countries which have financial problems, we generated a low cost airborne laser scanner skilled advanced unmanned air vehicle in the scope of a National Research and Development Project. The device is able to provide very accurate and high resolution ALS data in target areas with advanced properties such as novel ALS gimbal design and real time kinematic positioning. In the paper, the precise point clouds and the quality of generated digital surface model achieved from novel device are presented with visual and statistical approaches in a preferred test area which includes open, forest, and built-up terrain formations.

Key Words: gimbal, laser, real time kinematic positioning, UAV

1. GİRİŞ

Fotogrametri, 19. yüzyılın ortalarından itibaren yeryüzünün topoğrafik olarak modellenmesi konusunda çalışan bilim insanlarının hayatına plançete tekniği ile girmiş, analog, analitik ve nihayet dijital fotogrametri teknolojilerinin geliştirilmesiyle beraber uzaktan algılama teknolojileri içerisinde vazgeçilmez bir konuma gelmiştir. Pasif algılama prensipli optik kameralar ve yardımcı ekipmanları ile donatılmış uçan platformlardan hava fotoğrafı alımı ve işlenmesi

yöntemi olan fotogrametrinin sektörel bazdaki liderliği 2000’li yılların başına dek sürmüştür. Bu yıllarda, hava kaynaklı lazer tarama teknolojisi geliştirilmiş ve yerelden bölgesel ölçeğe kadar ki haritalama çalışmalarında fotogrametrinin en büyük alternatifi olarak gösterilmeye başlanmıştır (Baltsavias, 1999; Hill vd., 2000). Başlangıçta şeritvari harita üretimi ve arazi ölçmelerinden bağımsız olarak havadan hassas deplasman ve deformasyon analizleri gerçekleştirebilmek amacıyla geliştirilen teknik, elde edilen başarı ve veri kalitesi göz önünde bulundurularak bölgesel bazda haritalama çalışmalarında dahi kullanılmaya başlanmıştır. Hava kaynaklı lazer tarayıcı (ALS), global navigasyon uydu sistemleri (GNSS) ve atalet ölçüm birimi (IMU) bileşenlerinin kombinasyonu ile çalışan hava kaynaklı lazer tarama teknolojisi, kullanıcılara, hızlı ve periyodik veri alımı, doğrudan koordinatlı, yüksek konum doğruluklu ve yoğun (mm, cm mekânsal çözünürlükte) nokta bulutu üretimi gibi üstün avantajlar sunmaktadır. Tekniğin en büyük avantajlarından biri de diğer uzaktan algılama metodlarının aksine yeryüzünün üç boyutlu (3B) tasvirini sağlayan dijital yüzey modellerinin (DYM) ve dijital arazi modellerinin (DAM) yoğun ve yüksek kalitede nokta bulutları temelinde daha basit işlem adımları ile elde edilebilmesidir. ALS DYM ve DAM’ları literatürde pek çok çalışmada tercih edilmiştir (Lohr 1998; McIntosh, Krupnik, and Schenk 2000; Shan and Aparajithan 2005; Mandlbürger, Briese, and Pfeifer 2007; Liu 2008; Baligh, Valadan Zoej, and Mohammadzadeh 2008). Üstelik geçmişte bu konuda yapılan çalışmalar uçak, helikopter gibi platformlar kullanımı ile uygulanan geleneksel ALS yönteminden elde edilen 3B modellerin açık alanda ≤ 2 cm yatay ve ≤ 5 cm düşey mutlak konum doğruluklarına sahip olduklarını ortaya koymaktadır (Sefercik vd., 2015).

ALS teknolojisinin yukarıda belirtilen birçok avantajının yanında en büyük dezavantajı pahalı ekipman gereksinimidir. Teknik hem veri alımı hem de veri işleme adımlarında yüksek bütçeye ihtiyaç duymaktadır. Geleneksel ALS olarak tabir edilen ana yöntemle veri elde edebilmek için yukarıda bahsedilen ALS+GNSS+IMU entegre ekipmanlarının yan ısıra bunların monte edileceği bir de uçak ya da helikopter gereksinimi bulunmaktadır. Veri elde edilmesinin ardından ikinci adım olan veri işlemede de yüksek bellek kapasiteli iş istasyonu ihtiyacı bulunmaktadır. Geleneksel ALS teknolojisi, özellikle veri elde etme ekipmanlarının gerektirdiği bütçeler nedeniyle finansman gücü düşük ülkelerde ya hiç kullanılamamış ya da yalnızca devlet bünyesinde oldukça kısmi bölgelerde uygulanabilmiştir. ABD ve gelişmiş Avrupa ülkelerinde ALS tekniği yaklaşık 15 yıldır aktif olarak kullanılırken finans gücü düşük ülkelerde özellikle konu üzerinde çalışmak isteyen akademisyenler tekniğin gereksinimlerinin proje destek sınırlarının çok üzerinde maliyetlerde olması nedeniyle veri sıkıntısı yaşamışlardır.

Bu olumsuz duruma çözüm bulmak isteyen araştırma geliştirme (Ar-Ge) ekibimiz 2016 yılında KOSGEB’e “Üç Boyutlu Yüksek Konum Doğruluklu Hava Kaynaklı Lazer Tarama Kabiliyetli İnsansız Hava Aracı Üretimi” başlıklı bir Ar-Ge İnovasyon Projesi sunmuş ve projeye hak kazanmıştır. 2018 yılı başında tamamlanan proje ile yerli bir Lazer İnsansız Hava Aracı (İHA) üretilmiş ve yerli bir veri işleme yazılımı geliştirilmiştir. Bu çalışmada, üretilen Lazer İHA’nın özellikleri ve elde edilen ilk verilerin nokta ve model bazlı mutlak ve rölatif konum doğruluğu sonuçları farklı arazi sınıfları üzerinde yapılan analizler ışığında sunulmuştur. Üretilen bu araç ile yüksek bütçelere sahip olmayan araştırmacıların ALS verisine rahatça ulaşabilmeleri sağlanacaktır. Cihaz, optik sistemlerin çaresiz kaldığı özellikle yoğun ormanlık alanlar gibi üstten çıplak topoğrafya modellemeye olanak vermeyen alanlarda DAM üretimine ve meşcere yüksekliklerinin belirlenmesine, hızlı deplasman ve deformasyon hesaplamalara, millî savunmaya artı değer sağlayacaktır.

Bildiri altı bölümden oluşmaktadır. Girişin ardından ikinci bölümde çalışma alanı ve arazi sınıfı karakteristikleri sunulacaktır. Üçüncü bölümde üretilen Lazer İHA’nın özellikleri ve örnek veri sergilenecektir. Dördüncü bölümde metodoloji ve referans verilere yer verilecektir. Beşinci bölümde araştırma bulgularının sunulmasının ardından altıncı bölümde çalışma sonlandırılacaktır.

2. ÇALIŞMA ALANI

Bilindiği gibi son yıllarda Ülkemizde Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından çıkarılan İHA Yönetmeliği kapsamında İHA uçuşları, bilimsel çalışma yapılan kampüsler dışında izne tabidir. Bu noktadan hareketle, çalışma alanı olarak uçuş izni gerektirmemesi nedeniyle Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Merkez Farabi Kampüsü belirlenmiş ve kampüs içinde farklı arazi sınıfları içeren bir bölge test alanı olarak seçilmiştir. Çalışma alanı ve mevcut arazi sınıfları Şekil 1’de görülmektedir.

Sınıflı çalışma, uzaktan algılanmış verilerin kalite değerlendirmesi için oldukça önemli bir unsurdur. Her ne kadar, tüm dünyada açık alanlar değerlendirmelerinde ana arazi sınıfı olarak kabul görse de özellikle yüksek bitki örtüsünde tüm uzaktan algılama yöntemlerinin konum doğruluğu problemi yaşadığı aksi iddia edilemez bir gerçektir. Bu durum göz önünde tutularak analizler için açık alan, bina ve yüksek bitki örtüsü içeren bir bölge tercih edilmiştir.

Şekil 1. Çalışma alanı ve mevcut arazi sınıfları.

3. ÜRETİLEN LAZER İHA ve ÖRNEK VERİ

3.1 Lazer İHA

Üretilen Lazer İHA uçuş sırasında hava şartlarına en güçlü şekilde mukavemet gösterebilmesi adına sekiz kollu gövde olarak dizayn edilmiştir ve 40 km/h rüzgâr hızında dahi işlevseldir. Üzerine yerleştirilmiş gerçek zamanlı global pozisyonlama sistemi (RTK GPS) sayesinde anlık 3B konumlama yapabilmekte ve koordinatlı nokta bulutu üretebilmektedir. Cihazın üstten görünümü ve özellikleri Çizelge 1’de bulunmaktadır. Cihazın patent süreci nedeniyle detaylı görselleri bu çalışmada sunulamamıştır.

Çizelge 1. ALS İHA ve özellikleri.

Özellik	Değer
Gövde	Oktokopter (8 Kollu)	
Çap	1.35 m	
Hız	5 m/s	
Konumlandırma	RTK GPS	
Nokta yoğunluğu	500/m ²	
Manevra	360°	
Lazer puls dönüşü	Çift	
Gimbal	Özel dizayn lazer gimbal	
İşlemci	DJI A3	
Batarya	Özel dizayn kutusunda çift	
Zeka/ Ana Kartlar	Özel kapalı kutu dizayn	

3.2 Örnek Veri

Üretilen Lazer İHA, kameralı optik sistemlerden farklı olarak taşıdığı ALS ile şerit tarama tekniğini kullanmaktadır. Tercih edilen irtifadan şerit boyunca microsanilyelerde gerçekleşen lazer atımları ile yoğun nokta bulutu elde etme özelliğine sahiptir. Ayrıca şerit bindirme bölgelerinde yani stereo alanlarda nokta yoğunluğu artmaktadır. Şekil 2’de havada lazer tarama anındaki tarama görseli yani örnek veri sergilenmektedir.

Şekil 2. Lazer tarama örnek verisi.

ALS verisi cihazda her biri 2°’lik açıyla değişen atım paketleri hâlinde depolanmaktadır. Şekil 2’de yer alan örnek veri yalnızca bir pakete ait ham veri olup şeritte elde edilen toplam nokta bulutunun çok küçük bir kısmını tasvir etmektedir. Geliştirilen yazılım ile entegre edilen paketlere ilişkin toplam nokta bulutu görseli bulgular bölümünde sunulacaktır.

4. METODOLOJİ ve REFERANS VERİLER

Çalışmanın metodolojisi üç ayrı alt bölümde ele alınmıştır. Bu bölümler sırasıyla ALS veri elde etme, işleme ve kalite değerlendirmedir. İzlenen metodolojiler her bölüm için ayrı ayrı verilmiştir.

4.1 ALS Veri Elde Etme

Çalışma alanına ilişkin ALS verileri 28 Ekim 2017 tarihinde gerçekleştirilen uçuş ile elde edilmiştir. Uçuşta düz şerit tarama yöntemi izlenmiş olup boş alan kalmaması için şeritler arası bindirmeler uygulanmıştır. Veriler, 5 m/sn uçuş hızında ve yaklaşık 15 km/h rüzgâr hızında elde edilmiştir. Uçuş tamamen yer kontrol noktası vb. bağımsız gerçekleştirilmiş olup yalnızca İHA üzerine entegre edilmiş RTK GPS sistemine uyumlu çalışan bir baz GPS ile havadan haberleşme sağlanmış, bağıl konumlama yapılmıştır. Uçuş anında elde edilen ham veriler cihaza entegre edilmiş depolama biriminde toplanmıştır.

4.2 ALS Veri İşleme

Elde edilen ham lazer verileri depolama aygıtından PC’ye aktarılmış ve geliştirilen yazılım ile yöneltme ve füzyon işlemleri tamamlanarak uluslararası ortak lazer formatı olan .las formatına dönüştürülmüştür. Ham hava kaynaklı lazer verisi yöneltme işlemi kompleks verinin eşdüzlemsel hâle gelmesinde çok önemli bir işlem adımıdır. Bu adımın doğru uygulanmaması yanıltıcı sonuçlar doğuracaktır. Bu nedenle veri işleme sırasında sabit bina çatısı odaklı konum kalibrasyonu işlemi uygulanmıştır.

Yöneltilmiş ve füzyonu tamamlanmış nokta bulutlarının gürültüsü Microstation yazılımı TerraScan lazer veri işleme modülünde filtrelenmiş ve alana ilişkin DYM Surfer yazılımında uygun enterpolasyon yönteminin uygulanması ile 25 cm grid aralığında üretilmiştir. DYM üretiminin ardından ince filtreleme işlemine geçilmiş ve bu işlem BLUH (Bundle Block Adjustment Leibniz University Hannover) yazılımında gerçekleştirilmiştir. Tüm bu işlemlerin ardından sonuç DYM elde edilmiştir.

4.3 ALS Veri Kalite Değerlendirme

ALS verisinden elde edilen sonuç DYM'nin kalite değerlendirmeleri için nokta ve model bazlı olmak üzere iki ana yöntem uygulanmıştır. Nokta bazlı değerlendirme, yer kontrol noktası (GCP) temelinde olup literatürde oldukça sık uygulanan bir yöntemdir (Maas, 2003; Csanyi ve Toth, 2007; Dahlqvist vd., 2011; Pourali vd., 2014). Bu yöntemde, çalışma alanı üzerinde 68'i açık alan, 13'ü bina ve 24'ü yüksek bitki sınıfından olmak üzere toplam 105 GCP, GPS ile ölçülmüş ve elde edilen 3B konumlar ALS DYM'deki karşılıkları ile kıyaslanmıştır. Bu işlem sonucunda mutlak konum doğrulukları standart sapma (Eşitlik 1) göstergesi temelinde tespit edilmiştir. Nokta bazlı kalite değerlendirme her ne kadar literatürde geçerli bir yöntem olsa da DYM kalitesini tam olarak ortaya koyamamaktadır. Bunun nedeni, özellikle geniş arazilerde raster DYM çözünürlüğünde GCP toplamının imkânsız ve mantıksız oluşudur. Ek olarak, toplanan yüksek sayıda GCP'nin statik ölçme ile elde edilmesi mümkün olamayacağından nokta bazlı yöntem yatayda ≤ 3 cm, düşeyde ≤ 5 cm GCP bazlı konum hatası da barındırmaktadır.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Z_i - \mu)^2}{n - 1}}, \quad (1)$$

Eşitlikte σ yükseklik farklarının standart sapmasını, n piksel sayısını, ΔZ_i herhangi bir pikselde referans veriden olan yükseklik farkını, μ ise yükseklik farklarının aritmetik ortalamasını ifade etmektedir.

Nokta bazlı değerlendirmelerin problemleri göz önünde tutularak çok daha gerçekçi bir değerlendirme tipi olan model bazlı kalite değerlendirme yöntemi de uygulanmıştır (Lin, 1994). Bu yöntemde, çalışma alanında yaklaşık 20 istasyonda yersel lazer tarama (TLS) teknolojisi kullanılarak hava kaynaklı lazer taramadan daha yüksek mekânsal çözünürlükte (1-2 cm) nokta bulutları elde edilmiş ve referans DYM üretilmiştir. ALS verileri üretilen referans TLS DYM'si ile model bazlı karşılaştırılmış ve bu şekilde modelleri oluşturan tüm piksellerin işleme dahil olması sağlanarak çok daha doğru bir analiz gerçekleştirilmiştir. Model bazlı analizlerde de konum farklılıklarının karesel ortalama hata (Eşitlik 2) ve standart sapması ana doğruluk göstergesi olarak kullanılmıştır.

$$RMSE_{\Delta Z} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta Z_i^2}{n}}, \quad (2)$$

Eşitlikte $RMSE_{\Delta Z}$ yükseklik farklarının karesel ortalama hatayı, n piksel sayısını, ΔZ_i herhangi bir pikselde referans veriden olan yükseklik farkını ifade etmektedir.

Elde edilen Lazer İHA verilerinin kendi iç tutarlılıklarının analizi içinse model bazlı rölatif konum doğruluğu analizleri tüm arazi sınıfları için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Bu işlemde her bir pikselin çevresindeki 10 piksel ile komşuluk ilişkileri değerlendirilmiş ve 10 piksele kadar olan mesafedeki doğruluk ilişkisi aşağıdaki eşitlik kapsamında ortaya konmuştur.

$$RVA = \sqrt{\frac{\sum (dZ_i - dZ_j)^2}{(2 \times n_x)}}, D_l < D < D_u \quad (3)$$

Eşitlikte RVA rölatif düşey konum doğruluğunu, n piksel sayısını, $2 \times n_x$ mutlak düşey doğruluğun standart sapmaya normlandırmasını, D_l ve D_u alt ve üst piksel limitlerini (1 ve 10.) yansıtmaktadır.

4.4 Referans Veriler

Nokta ve model bazlı kalite değerlendirmelerinde kullanılan referans veriler Şekil 3'te sunulmuştur. Şekil 3a, çalışmada kullanılan 105 GCP'yi gösterirken Şekil 3b, yersel lazer tarama nokta bulutunu sergilemektedir. Nokta ve model bazlı değerlendirmelerde kullanılan nokta yoğunluğu şekilde net olarak karşılaştırılabilmektedir.

Şekil 3. (a) Nokta bazlı değerlendirme noktaları (sarı renk), (b) TLS nokta bulutu.

TLS istasyon taramalarında alet kurulduğu noktada lazer izdüşümünün 1,5 m çapında tarama yapamamaktadır. Bu kısımlar Şekil 3b’de siyah yuvarlak olarak görülen kısımlardır. Ancak tüm bu kısımlar en az bir diğer istasyon noktasından taranacak şekilde bir istasyon geometrisi oluşturulmuş ve nokta bulutunda DYM grid aralığını sağlamayan boşluk bırakılmamıştır. Bu sayede raster DYM üretiminde enterplasyon pencereleri minimize edilmiş ve enterpolasyon temelli konum doğruluğu kayıpları minimum seviyeye indirilmiştir.

5. BULGULAR

Şekil 4, Lazer İHA’dan elde edilen mutlak yüksekliğe göre sınıflandırılmış nokta bulutunu göstermektedir. Şekil 5’te ALS İHA ve referans TLS’den elde edilen DYM’ler yer almaktadır.

Şekil 4. Lazer İHA nokta bulutu.

Şekil 5. Lazer İHA ve referans TLS DYM'leri.

Çizelge 2'de Lazer İHA'dan elde edilen DYM'nin referans TLS modeline göre alan bazlı çarpaz korelasyon yöntemi ile elde edilmiş planimetrik konum doğruluğu değerleri görülmektedir.

Çizelge 2. Lazer İHA DYM planimetrik konum doğruluğu.

Referans DYM	Ötelenen DYM	ΔX (m)	ΔY (m)
TLS (0.25m)	Lazer İHA (0.25m)	-0.0068	0.0456

Çizelge 3 ve 4'te nokta ve model bazlı mutlak düşey doğruluk sonuçları yer almaktadır. Çizelge 5'te ise Lazer İHA DYM model bazlı rölatif düşey konum doğruluğu sonuçları görülmektedir.

Çizelge 3. Lazer İHA DYM nokta bazlı mutlak düşey konum doğruluğu.

Referans DYM	Test DYM	Sınıf	YKN sayısı	Mutlak Düşey Doğruluk (yükseklik farklarının standard sapması) (m)
TLS (25cm)	ALS İHA (25cm)	Açık alan	68	0.22
		Bina	13	0.07
		Bitki	24	0.19

Çizelge 4. Lazer İHA DYM model bazlı mutlak düşey konum doğruluğu.

Ref. DYM	Test DYM	Arazi Sınıfı	oran (%)	Karesel ortalama hata (sistematik hata= 0) (m)	Standart sapma (sistematik hata= 0) (m)		Hariç noktalar >1m (%)
				KOH	SZ	SZ $\alpha < 0.1$	
TLS (0.25m)	ALS (0.25 m)	Tüm alan	100	0.241	0.262	0.1999	3.52
		Açık alan	51.09	0.202	0.265	0.182	0.60
		Bina	3.16	0.217	0.039	0.173	1.69
		Bitki	45.74	0.252	0.234	0.183	7.98

Çizelge 5. Lazer İHA DYM model bazlı rölatif düşey konum doğruluğu.

Komşu piksel sayısı	Açık alan (m)	Bina (m)	Bitki (m)
1	.07	.07	.13
2	.08	.09	.15
3	.09	.10	.16
4	.09	.10	.17
5	.09	.11	.17
6	.09	.11	.17
7	.09	.12	.17
8	.09	.12	.17
9	.09	.12	.17
10	.09	.12	.17

Çalışmada ulaşılan bulgular göz önünde bulundurularak Lazer İHA'dan elde edilen DYM konum doğruluğunun hem yatay hem de düşey ekseninde 1/1000 ölçekli standart topoğrafik haritaların yapımı için yeterli olduğu söylenebilir. Ancak tel örgü vb. lazer sinyali ile tasviri güç nesnelerin haritalara işlenebilmesi için arazi bütünlemesi yapılma zorunluluğu kaçınılmazdır.

6. SONUÇ VE GELECEK HEDEFLERİ

Bu çalışmada, KOSGEB Ar-Ge İnovasyon Projesi kapsamında ekibimizce üretilen lazer tarama kabiliyetli insansız hava aracının ve sağladığı verilerin özellikleri sunulmuş, cihazdan elde edilen ilk verilerin üç boyutlu konum doğruluğu sonuçları paylaşılmıştır. Lazer İHA'dan elde edilen verilerin hem görsel hem de nokta ve model bazlı mutlak ve rölatif doğruluk temelli istatistiksel incelemeleri sonucunda büyük ölçekli harita üretimi (1/1000) gereksinimlerini karşıladıkları ve arazi bütünlemesi entegrasyonu ile rahatlıkla vektör harita üretiminde kullanılabilecekleri sonucuna varılmıştır. Üretilen cihaz üzerinde yapılacak geliştirmeler neticesinde veri kalitesinin uçak, helikopter gibi pahalı platformlarla çalışan geleneksel hava kaynaklı lazer tarama seviyesine (≤ 5 cm mutlak düşey doğruluk) çıkarılmasının mümkün olduğu tespit edilmiş ve yapılacak geliştirmeler ile doğruluğun 1/500 ölçekli harita yapımı için elverişli duruma getirilmesi hedef

olarak belirlenmiştir. Bir diğer hedef, sisteme dahil edilecek yüksek çözünürlüklü kamera ile renkli nokta bulutu elde edilmesidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı, 2016/1 kodlu Ar-Ge İnovasyon Projesi kapsamında destekleyen KOSGEB'e, T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına, projeyi yürütmemizde her türlü desteği veren Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesine, Zonguldak Teknopark ve Düzce Teknopark'a sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

Baligh, A., Valadan Zoej M. J., and Mohammadzadeh, A., 2008. Bare Earth Extraction from Airborne Lidar Data Using Different Filtering Methods. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII(B3b): 237–240.

Baltsavias, E., 1999. A Comparison between Photogrammetry and Laser Scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2–3): 83–94.

Csanyi, N., and Toth, C. K., 2007. Improvement of Lidar Data Accuracy Using Lidar-Specific Ground Targets. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73(4): 385–396.

Dahlqvist, S., P. Rönnholm, P. Salo, and M. Vermeer., 2011. Evaluating the Correctness of Airborne Laser Scanning Data Heights Using Vehicle-based RTK and VRS GPS Observations. *Remote Sensing*, 3(12): 1902–1913.

Hill, J. M., Graham, L. A., Henry, R. J., Cotter, D. M., Ping, A., Young, P., 2000. Wide-area Topographic Mapping and Applications Using Airborne Light Detection and Ranging (Lidar) Technology. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(8): 908–914.

Lin, Q., Vesecky, J. F., Zebker, H. A., 1994. Comparison of Elevation Derived from Insar Data with DEM over Large Relief Terrain. *International Journal of Remote Sensing*, 15(9): 1775–1790.

Liu, X., 2008. Airborne LiDAR for DEM Generation: Some Critical Issues. *Progress in Physical Geography*, 32: 31–49.

Lohr, U., 1998. Digital Elevation Models by Laser Scanning. *The Photogrammetric Record*, 16(91): 105–109.

Maas, H. G., 2003. Planimetric and Height Accuracy of Airborne Laserscanner Data: User Requirements and System Performance. *Photogrammetric Week 2003*, Edited by D. Fritsch, 117–125.

Mandlbürger, G., Pfennigbauer, M., Steinbacher, M., Pfeifer, N., 2011. Airborne Hydrographic Lidar Mapping - Potential of a New Technique for Capturing Shallow Water Bodies. *19th International Congress on Modelling and Simulation*, Perth, Australia, December 12–16, 2416–2422.

McIntosh, K., Krupnik, A., Schenk, A., 2000. Improvement of Automatic DSM Generation over Urban Areas Using Airborne Laser Scanner Data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIII (B3): 563–570.

Pourali, S., Arrowsmith, C., Chrisman, N., Matkan, A., 2014. Vertical Accuracy Assessment of LiDAR Ground Points Using Minimum Distance Approach. *Proceedings of Research at Locate'14 in conjunction with Locate 2014*, 1142: 86–96.

Shan, J., ve Aparajithan S., 2005. Urban DEM Generation from Raw Lidar Data: A Labeling Algorithm and Its Performance. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71(2): 217–226.

Sefercik U. G., Glennie C., Singhanian, A., Hauser D., 2015. Area-based quality control of airborne laser scanning 3D models for different land classes using terrestrial laser scanning: sample survey in Houston, USA, *International Journal of Remote Sensing*, 36:23, 5916-5934.