

[1106]

HAVA KAYNAKLI LAZER TARAMANIN TOPOĞRAFİK TASVİR POTANSİYELİ: HOUSTON ÖRNEĞİ

Umut G. SEFERCİK^{1*}, Craig GLENNIE², Abhinav SINGHANIA², Darren HAUSER²

¹Bülent Ecevit Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye
²Houston Üniversitesi, Hava Kaynaklı Lazer Haritalama Ulusal Merkezi, Houston, ABD

ÖZET

Hava kaynaklı lazer tarama (ALS), sağladığı yoğun ve hassas nokta bulutları sayesinde kısa sürede uzaktan algılama teknolojileri içerisinde saygın bir yer kazanmış, özellikle finansal gücü yüksek Avrupa Ülkelerinde ve Amerikada fotogrametriye en büyük alternatif yöntem haline gelmiştir. ALS'nin en çok talep gören ürünleri topoğrafyanın üç boyutlu tasvirini sağlayan dijital yüzey ve arazi modelleridir. Bu ürünler pek çok farklı disiplin tarafından kullanılmasına karşın topoğrafik tasvir potansiyelleri üzerine literatürde kapsamlı çalışmalar bulunmamaktadır. Araştırmaların tamamına yakını yanıltıcı çıkarımlara yolaçması çok muhtemel nokta-bazlı çalışmalardır. Bu araştırmada, ALS ürünleri, yersel lazer tarama (TLS) ile elde edilen modeller referanslığında model-bazlı kıyaslama yaklaşımları ile analiz edilmiştir. Houston Üniversitesi kampüsünde farklı arazi sınıfları içeren 6 ayrı test alanında TLS verileri toplanarak ALS ürünleri üzerinde kapsamlı istatistiksel ve görsel değerlendirmeler yapılmıştır. Araştırma sonuçları, açık alan, çim ve bina sınıflarında topoğrafik tasvir başarısının oldukça yüksek olduğunu, orman sınıfında ise lazer sinyalinin çoklu dönüş yeteneğine rağmen düşey doğruluğun yaklaşık 50 cm'lere kadar düşebildiğini göstermiştir. Orman etkisinin daha net tespiti için dijital arazi modelleri üretilmiş ve ormanaltı çıplak topoğrafyada düşey doğruluğun yaklaşık 10 cm'e yükseldiği görülmüştür. Tüm sonuçlar ışığında, ALS ürünlerinin topoğrafik tasvir gücünün uluslararası doğruluk standartlarına göre 1/1000 ölçekli harita üretimine olanak verdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava Kaynaklı Lazer Tarama, Topoğrafik tasvir, Dijital Yüzey Modeli, Dijital Arazi Modeli, Standart sapma, Normalize medyan mutlak sapma

ABSTRACT

TOPOGRAPHIC ESTIMATION POTENTIAL OF AIRBORNE LASER SCANNING: CASE STUDY HOUSTON

Owing to providing dense and precise point clouds, Airborne Laser Scanning (ALS) became respectable in a short time in remote sensing technologies and called as an alternative method instead of photogrammetry especially in financially strong European Countries and USA. The most demanded products of ALS are digital surface and terrain models that provide 3D topographic estimation. Although, these products are widely used by several professions, there is no any comprehensive research about their topographic estimation potential in the literature. Almost entire investigations are point-based which may cause misleading interpretations. In this research, ALS products were analysed by model-based approaches in the basis of comparison with terrestrial laser scanning (TLS) models. In University of Houston campus, by collecting TLS data from 6 test areas, which have various land classes, comprehensive statistical and visual evaluations were completed on ALS products. Research results showed that the topographic estimation performance is considerable high in open, grass, and building land classes while can decrease to 50 cm in forest despite multiple return ability of laser signal. To detect the forest effect clearly, digital terrain models (DTM) were generated. In DTM, the vertical accuracy on the bare ground under forest was detected as approx. 10 cm. Overall, the results demonstrate that the topographic estimation potential of ALS products support the production of 1/1000 scaled topographic maps regarding international accuracy standards.

Keywords: Airborne Laser Scanning, Topographic estimation, Digital Surface Model, Digital Elevation Model, Standard deviation, Normalized median absolute deviation

1.GİRİŞ

Günümüzde, uzaya kıyasla çok alçak irtifalardan ölçüm yapmanın getirdiği avantajlar sayesinde vazgeçilmez yerini koruyan hava kaynaklı uzaktan algılama, fotogrametri ve hava kaynaklı lazer tarama (ALS) olmak üzere iki ana yöntem ile gerçekleştirilmektedir. Bu iki teknik arasında yaşanan rekabette, hızlı, güvenilir ve çok yüksek yoğunlukta nokta bulutları sağlayan ALS, fotogrametriyi geride bırakarak lider teknik olma yolunda hızla ilerlemektedir (Baltsavias 1999; Hill et al. 2000). ALS'nin en çok talep gören ürünleri, diğer uzaktan algılama yöntemleri ile kıyas götürmeyecek kadar hızlı şekilde üretilebilen, tüm doğal ve insan yapısı yeryüzü objelerinin üç boyutlu (3B) modellenmesine olanak veren dijital yüzey modelleri (DYM) ve yalnızca çıplak yeryüzeyi

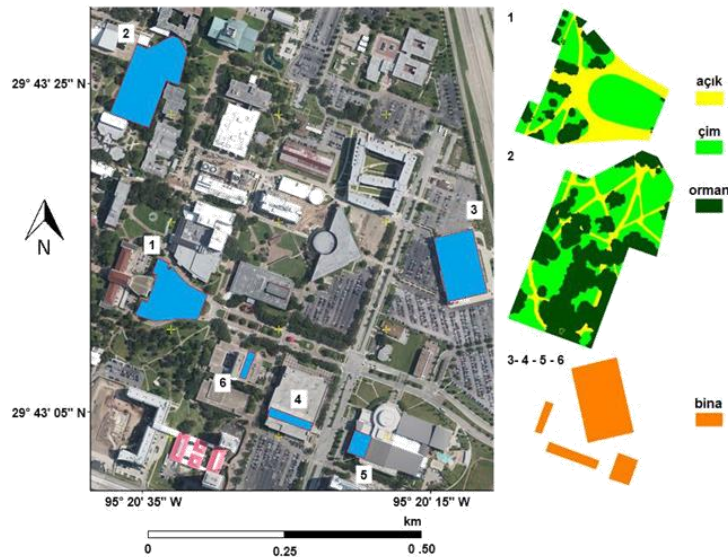
topoğrafyasını 3B tasvir eden dijital arazi modelleridir (DAM). Literatürde, ALS DYM ve DAM kullanarak gerçekleştirilmiş oldukça fazla sayıda çalışma bulunmaktadır (Mandlbürger, Briese, and Pfeifer 2007; Guenther et al. 2000; Carson et al. 2004; Hollaus, Wagner, and Kraus 2005; Hyypä et al. 2006; McCoy, Asner, and Graves 2011; Trinder and Salah 2011). Bu noktada akla ilk olarak şu soru gelmektedir; bilim insanları ve ticari kuruluşlar tarafından çok yoğun şekilde kullanılan ALS DYM ve DAM'ların doğruluğu ne düzeydedir? Bu denli yoğun kullanıma rağmen, günümüze dek bu modellerin doğruluğu üzerine yapılmış kapsamlı çalışmaların sayısı ve içeriği oldukça sınırlıdır. Mevcut çalışmaların tamamına yakını, ALS verisi bulunan test alanlarının bazı kısımlarında yer kontrol noktası (YKN) ölçümlerine ve kıyaslamasına dayalı nokta bazlı uygulamalardır. ALS veri yoğunluğu gözönüne alındığında, oldukça sınırlı sayıdaki YKN'ler ile doğruluk belirlemenin yanıltıcı sonuçlar doğurması oldukça kuvvetli bir ihtimaldir. Ek olarak, YKN ölçümlerinde genelde oturma sürelerinin çok uzun olması nedeniyle statik global navigasyon uydusu sistemleri (GNSS) ölçümleri yerine gerçek zamanlı kinematik (RTK) GNSS ölçümleri tercih edilmektedir. Bu durum, birkaç santimetre sıklıktaki ALS nokta bulutları ve onlardan üretilen hassas 3B modellerin doğruluğunun kendi rölatif doğruluğu dahi santimetre mertebelerinde olan bir yöntemle belirlenmeye çalışılması anlamına gelir.

Bu çalışmada, nokta bazlı uygulamalar yerine, ALS DYM ve DAM'ların her gridinin işleme sokularak gerçeğe en yakın doğrulukların saptanabilmesi hedefi konmuş ve model bazlı değerlendirme yöntemi benimsenmiştir. Model bazlı değerlendirme için, ALS'den daha yoğun veri sağlayabilen tek haritacılık yöntemi olan yersel lazer tarama (TLS) kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, test alanları ve kullanılan ölçüm metodları ve aletleri ile ilgili detaylı bilgi verilecektir. Üçüncü bölümde izlenen metodolojinin özeti sunulacaktır. Dördüncü bölümde, üretilen DYM ve DAM'lar ile kapsamlı doğruluk analiz sonuçları sergilenenektir. Sonuç hüküm ile çalışma sonlandırılacaktır.

2. TEST ALANLARI, ÖLÇÜM METODLARI VE ALETLERİ

Test alanları, Houston Üniversitesi Merkez Kampüsünde açık alan, çim, orman ve bina sınıflarını içeren 6 ayrı saha olarak seçilmiştir. Bu şekilde, üretilen ALS 3B modellerinin doğruluklarının farklı obje özelliklerinde vereceği sonuçların irdelenmesi ve daha doğru yorumlanması hedeflenmiştir. ALS uçuşları Amerikan Ulusal Hava Kaynaklı Lazer Haritalama Merkezi (NCALM) tarafından gerçekleştirilmiş olup Optech Gemini airborne laser terrain mapper (ALTM) aleti kullanılmıştır. Şekil 1, seçilen test alanlarını kampüsün ALS uçuşları sırasında çekilen entegre fotoğraflarından oluşturulan ortofoto üzerinde göstermektedir. Bölgede, ortometrik yükseklikler 10 ile 35m arasında değişmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanları (solda) ve arazi sınıfları (sağda)

Tüm test alanlarında, model bazlı analizlerde referans olarak kullanılmak üzere TLS verisi toplanmıştır. TLS nokta bulutları, 1 saatten uzun ölçüm sürelerinde dual frekanslı statik GNSS oturumları ile konumları hassas şekilde belirlenmiş harici hedefler üzerinden georeferanslandırılmıştır. TLS ölçümleri için Riegl VZ-400 tarayıcı kullanılmıştır. Taramanın, 100m altındaki mutlak konum doğruluğu 5mm, rölatif konum doğruluğu ise 3mm dolayındadır (Riegl, 2015). Çizelge1, kullanılan aletler ve yapılan ALS ve TLS ölçümleri ile ilgili detaylı bilgileri sunmaktadır.

Çizelge 1. ALS ve TLS alet ve ölçümleri ile ilgili bilgiler (DI 2014; Riegl 2014)

Parametre	ALS	TLS
Ölçüm aleti	Optech	Riegl
	Gemini ALTM	VZ-400
Tarih	06/23/12	11/13/13
Yılın günü	175	317
Nokta yoğunluğu (m ²)	45	≈10000 ≤ 10m yatay mesafede
Puls ritmi (kHz)	167	300
Dalgaboyu (nm)	1064	1550
Tarama frekansı (Hz)	0-70	N/A
Işın genişliği (mrad)	0.25	0.35
Bakış açısı (°)	-25 to +25	360 yatay (-40)-(+60) düşey
İrtifa (m)	1000	N/A
Eko sayısı	4	≈sınırsız

3. DYM VE DAM ÜRETİM VE DEĞERLENDİRME METODOLOJİSİ

Çalışmada, ALS verilerinin işlenmesi, DYM ve DAM üretimi ve performans değerlendirmelerinde Terrascan, ENVI, Surfer, BLUH ve LISA yazılımları kullanılmıştır. Tüm üretimlerde ve hesaplamalarda, Universal Transverse Mercator (UTM) 15° koordinat sistemi ve North American Datum 1983 (NAD83) datumu kullanılmıştır. ALS verileri, tüm Üniversite Merkez Kampüsünü içine alacak şekilde elde edilmiş, ham verinin çalışılabilir hale gelmesi için gerekli ön-işlemleri (kalibrasyon, şerit çözümleri vb.) NCALM tarafından tamamlanmış ve nokta bulutlarının yoğunluğu nedeniyle bilgisayar kapasiteleri gözönüne alınarak üzerinde hızlı çalışabilmek için herbiri 1×1km boyutlarındaki 42 karoya ayrılmıştır. Karoların belirlenmesinin ardından, test alanları çalışma blokları içine alınmış ve kaba nokta eliminasyonu için gerekli filtreleme işlemleri yapılmıştır. Kaba nokta filtrelemesi işlemleri üç ana kısımdan oluşmaktadır. Öncelikle düşey profiller çizdirilerek çalışma alanındaki ilk ve son sinyal ekolarına bağlı olarak oluşan ana üst ve alt kotlar belirlenmiş, sonrasında dijital yüzey modeli sınıfı açılmış ve mutlak yükseklik sınıflandırması kullanılarak düşey profil kot aralığında kalan noktalar bu yeni sınıfa dahil edilmiştir. Bu sayede kaba kotlu noktalar (batık vb.) yaratılan yeni sınıfta hariç bırakılmıştır. Kaba nokta filtrelemesi sonrasında veriler DYM üretimine hazır hale gelmiştir.

Bilindiği gibi, uzaktan algılama verileri ile dijital yeryüzü modelleri üretimlerinin ana unsuru enterpolasyondur. Bu noktada, ALS verileri ile DYM üretiminde diğer uzaktan algılama tekniklerinde rastlanmayan bir problem gün yüzüne çıkmaktadır. ALS, çok yoğun nokta bulutları içerdiğinden DYM üretiminde raster'ın her bir pikseli içine ağaç, duvar vb. düşey nesnelere çok sayıda yükseklik değeri isabet etmektedir.

ALS verisi ile DYM üretilirken düşey nesnelere tepeler hatları modellenecek olduğundan her piksel için maksimum kotla gri değer hesaplanmalıdır. Bu nedenle çalışmada, ALS yeryüzü modellerinin üretiminde bilim dünyasında en sık kullanılan ve ortalamaya dayalı işlem yapan Kriging enterpolasyon algoritması (Yang et al., 2004) yerine maksimum nokta kotuna dayalı enterpolasyon tercih edilmiştir. DAM üretiminde ise çıplak yeryüzü topoğrafyasının modellenmesi hedeflendiğinden ALS verileri içerisinde yalnızca yer sınıfındaki noktalar kullanılmıştır. Enterpolasyon metodu olarak en yakın komşuluk tercih edilmiştir.

ALS verilerinden 3B yeryüzü modeli üretiminde dikkat edilmesi gereken bir diğer problem, oluşacak raster'ın sınır piksellerinde enterpolasyon kaynaklı oluşacak deformasyonlardır. Uygulamada, her iki yeryüzü modelinin üretiminde de belirlenen bloğun olması gerekenden daha geniş tutulması ve gerçek üretim alanının üretim sonrası kesilerek alınmasıyla model köşelerinde deformasyon olmaması sağlanmıştır.

Bilimsel çalışmalara göre uzaktan algılama verilerinden üretilen 3B yeryüzü modellerinin grid aralığının kullanılan verinin yer örnekleme aralığının üç katı kadar olması en optimal seviyedir (Bochenek, 2007; Baltsavias et al., 2008). Aksi halde enterpolasyon, düşey doğruluk üzerindeki negatif etkisini artıracaktır. Bu noktadan hareketle, ALS verilerinin 7-8cm ortalama nokta bulutu yoğunluğuna uygun olarak yaratılan modellerin grid aralığı 25cm olarak tayin edilmiştir.

ALS verilerinden üretilen DYM'lerin bir diğer sorunu yoğun veri ve küçük grid aralıkları nedeniyle orman ve hemen dışındaki çıplak topoğrafya arasında enterpolasyona bağlı ortalama gri değerli pikseller oluşmasıdır. Bu durum, 3B görüntüde ağaçların çıplak topoğrafyaya yapışık görünmesine ve düzgün tasvir edilememesine sebep olmaktadır. Çalışmada, test alanının yükseklik değişim karakteristikleride gözönüne alınarak benzer prensiple

geliştirilmiş bir filtreleme metodu kullanılmıştır.

ALS verilerinin 6 alan için geoid ondülasyonları ve TLS verilerine göre hesaplanmış yatay konum ötelemeleri çizelge 2' sunulmuştur.

Çizelge 2. Geoid ondülasyonları (N) ve yatay ötelemeler

Referans	Test edilen	Alan	N (m)	dx (cm)	dy (cm)
model	model				
TLS	ALS	1	27.281	2.3	4.2
		2	27.284	1.9	3.1
		3	27.279	8.3	8.5
		4	27.279	6.9	18.8
		5	27.279	8.0	-2.5
		6	27.279	2.4	9.3

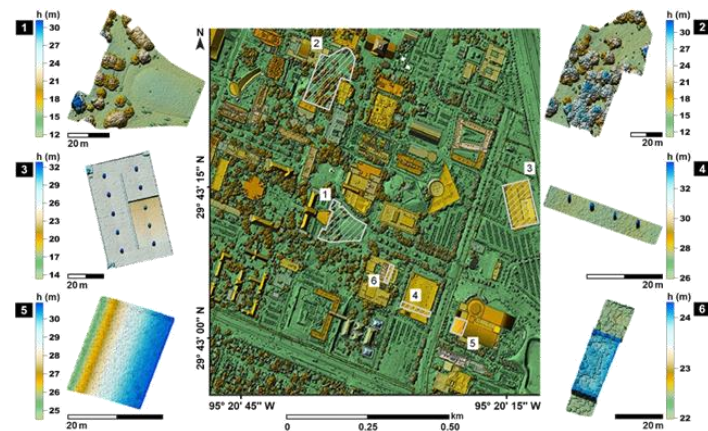
Mutlak yatay konum doğrulukları üretilen modellerle referans arasında nesne tabanlı çapraz korelasyon mantığıyla hesaplanmıştır. Mutlak düşey konum doğruluğu hesaplanmasında (eşitlik 1) arazi eğiminden kaynaklı etki de eğim çarpımıyla birlikte hesaplamalara dahil edilmiştir.

$$A_z = \sigma_{AZ} + b \times \tan(\alpha) \quad [1]$$

Eşitlikte, AZ üretilen haritanın mutlak düşey konum doğruluğunu, σ_{AZ} ALS ve TLS haritaları arasındaki yükseklik farklarının standart sapmasını, b eğim çarpım faktörünü ve α arazi eğimini tanımlamaktadır.

4.SONUÇ ÜRÜNLER ve DOĞRULUKLAR

Yukarıda tasvir edilen metodolojiye dayalı olarak üretilen DYM'ler Şekil 2'de gösterilmiştir. Takip eden Çizelge 3'te ise DYM'lerin 6 ayrı test alanındaki arazi sınıflarına göre hesaplanan doğrulukları verilmiştir. Doğruluk hesaplamalarında, ALS ve TLS DYM'leri arasında yükseklik farkı 1m'den fazla olan noktalar kaba nokta olarak tanımlanmış ve analizlerde hariç tutulmuştur. Bu noktalara ait yüzdeler tabloda görülmektedir.

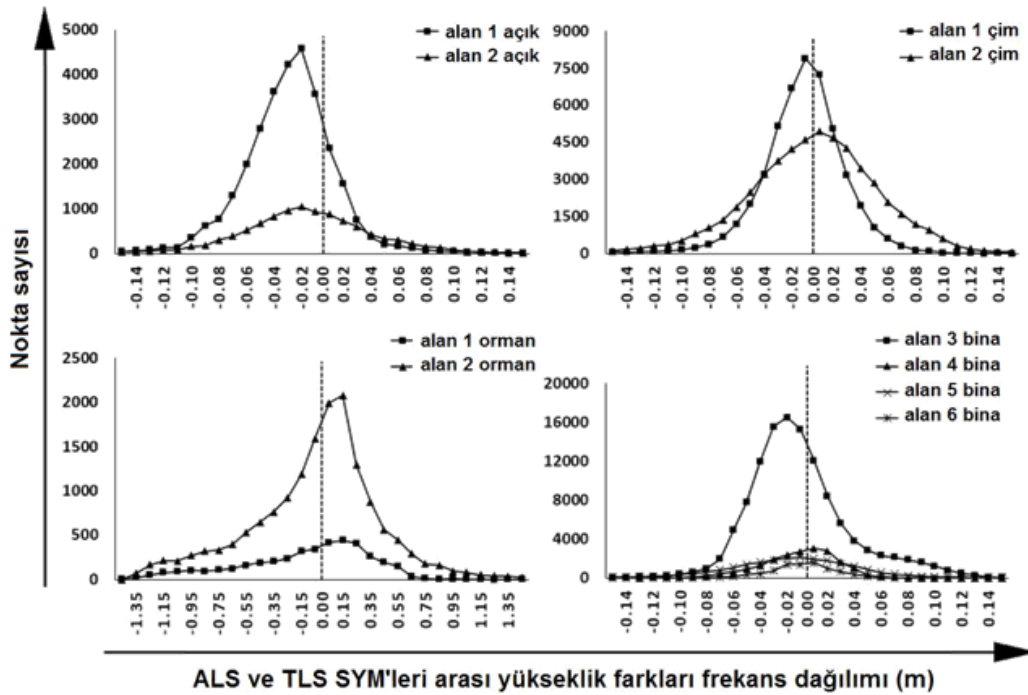


Şekil 2. Test alanlarında üretilen renkli yükseklik ölçekli DYM'ler

Çizelge 3. Sistematik hatası elemine edilmiş ALS DYM doğrulukları

Ref. DYM	Test edilen DYM	Alan	Nokta sayısı	Arazi sınıfı	σ_{AZ}	Hariç noktalar (%)
TLS 25 cm	ALS 25 cm	1	134197	tüm alan (100%)	0.06	0.17
				açık (32.70%)	$0.05 + 0.09 \times \tan(\alpha)$	0.29
				çim (48.48%)	$0.03 + 0.02 \times \tan(\alpha)$	0.03
				orman (18.81%)	0.48	0.17
				tüm alan (100%)	0.07	0.36
				açık (8.83%)	$0.05 + 0.06 \times \tan(\alpha)$	0.57
		çim (39.38%)	$0.05 + 0.01 \times \tan(\alpha)$	0.07		
		Orman (51.79%)	$0.29 + 0.10 \times \tan(\alpha)$	0.24		
		3	142365	bina (100%)	$0.05 + 0.20 \times \tan(\alpha)$	2.48
		4	19851	bina (100%)	$0.04 + 0.06 \times \tan(\alpha)$	0.03
		5	22298	bina (100%)	$0.05 + 0.02 \times \tan(\alpha)$	0.00
		6	9570	bina (100%)	$0.03 + 0.11 \times \tan(\alpha)$	0.18

ALS ve TLS DYM'leri arasındaki yükseklik farklarının yani ALS DYM'lerinin kot hatalarının frekans dağılımı Şekil 3'te sunulmuştur.

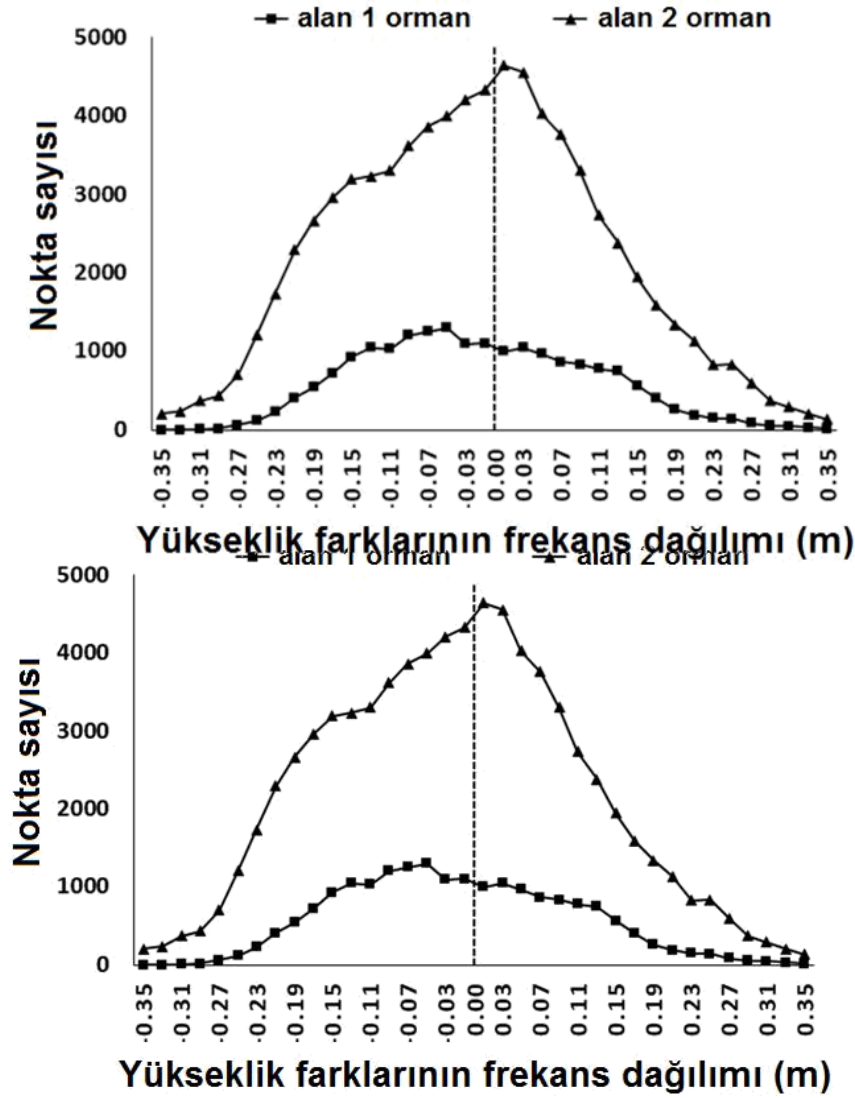


Şekil 3. ALS ve TLS DYM'leri arasındaki yükseklik farklarının frekans dağılımı

DYM analizlerinde 1 ve 2 no'lu alanlarda düşey doğrulukları düşük çıkan orman sınıflarında üretilen DAM'ların doğruluk sonuçları Tablo 4'te sunulmuştur. Görüldüğü gibi, DYM'den DAM'a dönülüp orman altı topoğrafya modellendiğinde model doğrulukları 12-14cm mertebesine kadar çıkmaktadır. Bu sonuçlar, son lazer ekosunun yüksek performansını gözler önüne koymaktadır. Takip eden Şekil 4'te DAM'ların yükseklik hatalarının frekans dağılımı görülmektedir.

Çizelge 4. Orman altı topoğrafyayı yansıtan DAM doğrulukları

Ref. DAM	Test edilen DAM		Alan	Nokta sayısı	Arazi sınıfı	σ_{AZ}	Hariç noktalar (%)
TLS 25 cm	ALS 25 cm		1	134197	orman (18.81%)	0.12	0.00
			2	208711	Orman (51.79%)	0.14	0.00

**Şekil 4.** ALS DAM düşey hata frekans dağılımı

5.SONUÇLAR

Bu çalışmada, ALS DYM ve DAM doğrulukları 6 farklı test alanında yapılan model bazlı analizler ile belirlenmeye çalışılmıştır. Analizlerde, ALS modellerine en uygun referans olarak görülebilecek TLS modelleri kullanılmıştır. Analiz sonuçları neticesinde, ALS DYM'lerinin orman sınıfı haricinde oldukça başarılı olduğu ve mutlak düşey doğruluklarının birkaç santimetre seviyesinde olduğu desimetre mertebelerine düşmediği saptanmıştır. Yalnızca orman sınıfında, mutlak düşey doğrulukların 5 dm'ler seviyelerine dek düşebildiği görülmüştür. Bu durumun kaynağı, hareketli orman kanopi yapısı ve TLS taramalarının yüksek düşey açılarda performansının iyi olmayışı olarak düşünülmektedir. Orman kanopisinin elemine edilmesine dayalı DAM üretimleri sonucu doğruluk seviyelerinin 1dm mertebesine doğru iyileştiği belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçları genel olarak irdelendiğinde, ALS modellerinin

1/1000 ölçekli harita üretimine büyük destek sağlayabileceği anlaşılmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında destekleri bulunan TÜBİTAK, NCALM ve Bülent Ecevit Üniversitesine çok teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Baltsavias, E.** 1999. "A Comparison between Photogrammetry and Laser Scanning." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54 (2): 83-94. doi:10.1016/S0924-2716(99)00014-3.
- Baltsavias, E., A. Gruen, H. Eisenbeiss, L. Zhang, and T. Waser.** 2008. "High-Quality Image Matching and Automated Generation of 3D Tree Models." *International Journal of Remote Sensing* 29 (5): 1243-1259. doi:10.1080/01431160701736513
- Carson, W. W., H. E. Andersen, S. E. Reutebuch, and R. J. McGaughey.** 2004. "Lidar Applications in Forestry - An Overview." American Society of Photogrammetry and Remote Sensing 2004. Annual Conference Proceedings, Denver, Colorado, USA, May 23-28, 9p.
- DI (Direct Industry).** 2014. *Catalogue of Optech Gemini ALTM*. <http://pdf.directindustry.com/pdf/optech/altm-gemini/25132-53143.html>
- Guenther G. C., A. G. Cunningham, P. E. LaRocque, and D. J. Reid.** 2000. "Meeting the accuracy challenge in airborne LIDAR bathymetry." Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop LIDAR, Dresden/FRG, June 16 – 17, (on CD-ROM).
- Hill, J. M., L. A. Graham, R. J. Henry, D. M. Cotter, A. Ping, and P. Young.** 2000. "Wide-area Topographic Mapping and Applications Using Airborne Light Detection and Ranging (Lidar) Technology." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66 (8): 908-914.
- Hollaus, M., W. Wagner, and K. Kraus.** 2005. "Airborne Laser Scanning and Usefulness for Hydrological Models." *Advances in Geosciences* 5: 57-63. doi:10.5194/adgeo-5-57-2005.
- Hyypä, J., X. Yu, H. Hyypä, and M. Maltamo.** 2006. "Methods of Airborne Laser Scanning for Forest Information Extraction." In International EARSeL Workshop 3D Remote Sensing in Forestry Proceedings, Vienna, Austria, February 14–15, 63–78.
- Mandlbürger, G., C. Briese, and N. Pfeifer.** 2007. "Progress in LiDAR Sensor Technology- Chance and Challenge for DTM Generation and Data Administration." In Proceedings of 51st Photogrammetric Week, Stuttgart, Germany, September 3-7, 159-169.
- McCoy, M. D., G. P. Asner, and M. W. Graves.** 2011. "Airborne Lidar Survey of Irrigated Agricultural Landscapes: An Application of the Slope Contrast Method." *Journal of Archaeological Science* 38 (9): 2141-2154. doi:10.1016/j.jas.2011.02.033.
- Riegl.** 2015. *Datasheet Riegl VZ-400*. http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegl/downloads/10_DataSheet_VZ-400_2014-09-19.pdf.
- Trinder, J. C., and M. Salah.** 2011. "Airborne Lidar as a Tool for Disaster Monitoring and Management." GeoInformation for Disaster Management, Antalya, Turkey, April 3-8, p.6.
- Yang C. S., S. P. Kao, F. B. Lee, and P. S. Hung.** 2004. "Twelve Different Interpolation Methods: A Case Study of Surfer 8.0." XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, July 12-23, 778-785.