

# HAVA LiDAR NOKTA BULUTU ÖRNEKLEME YOĞUNLUĞUNUN SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNİN DOĞRULUĞUNA ETKİSİ

M. YILMAZ, M. UYSAL

*Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar*  
[mustafayilmaz@aku.edu.tr](mailto:mustafayilmaz@aku.edu.tr)  
[muyisal@aku.edu.tr](mailto:muyisal@aku.edu.tr)

## Özet

*Veri işleme teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak harita, inşaat, maden, ziraat, mimari ve planlama gibi birçok mühendislik alanında yaygın olarak kullanılmaya başlanan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) nin oluşturulmasında yoğun ve doğru yükseklik verisi temini konusu önem kazanmaktadır. GPS (Global Positioning System), IMU (Inertial Measurement Unit) ve lazer tarama teknolojilerinin entegrasyonu ile oluşturulmuş üç boyutlu veri toplama yöntemi olan LiDAR (Light Detection and Ranging) sayısal yükseklik verisi üretimi konusunda klasik yöntemlere göre öne çıkmaktadır. Bu çalışmada hava LiDAR yöntemi ile temin edilen nokta bulutlarının örnekleme yoğunluğunun oluşturulan SYM lerin doğruluğu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Seçilen test alanında uniform metoduna göre %1, 5, 25, 50 ve 75 örnekleme yoğunluğu ile oluşturulan SYM ler hava LiDAR nokta bulutunun tamamı kullanılarak oluşturulan SYM ile karşılaştırılmıştır. Kriging enterpolasyon yönteminin kullanıldığı SYM lere ait sonuçlar örnekleme noktalarından elde edilen karesel ortalama hata değerlerine göre incelenmiştir.*

*Anahtar kelimeler: SYM, Hava LiDAR, Nokta bulutu, Örnekleme yoğunluğu, Kriging, Uniform.*

## THE EFFECT OF AIRBORNE LiDAR POINT CLOUD SAMPLING DENSITY TO THE ACCURACY OF DIGITAL ELEVATION MODELS

### Abstract

*Intense and accurate data supplying come into prominence for the creation of Digital Elevation Model (DEM) that has been used in diverse fields of engineering including geomatics, construction, mining, agriculture, architecture and planning in parallel with the developments in data processing technologies. LiDAR (Light Detection and Ranging) formed by the integration of GPS (Global Positioning System), IMU (Inertial Measurement Unit) and laser scanning technologies stands out in the digital elevation data production according to the conventional methods. In this study, the effect of airborne LiDAR point cloud sampling density to the accuracy of DEMS is investigated. DEMs with %1, 5, 25, 50 and 75 sampling density constituted by the uniform method are compared with the DEM constituted with all airborne LiDAR point cloud over a selected test area. The results of DEMS interpolated by Kriging are evaluated in terms of root mean square error of sampling points.*

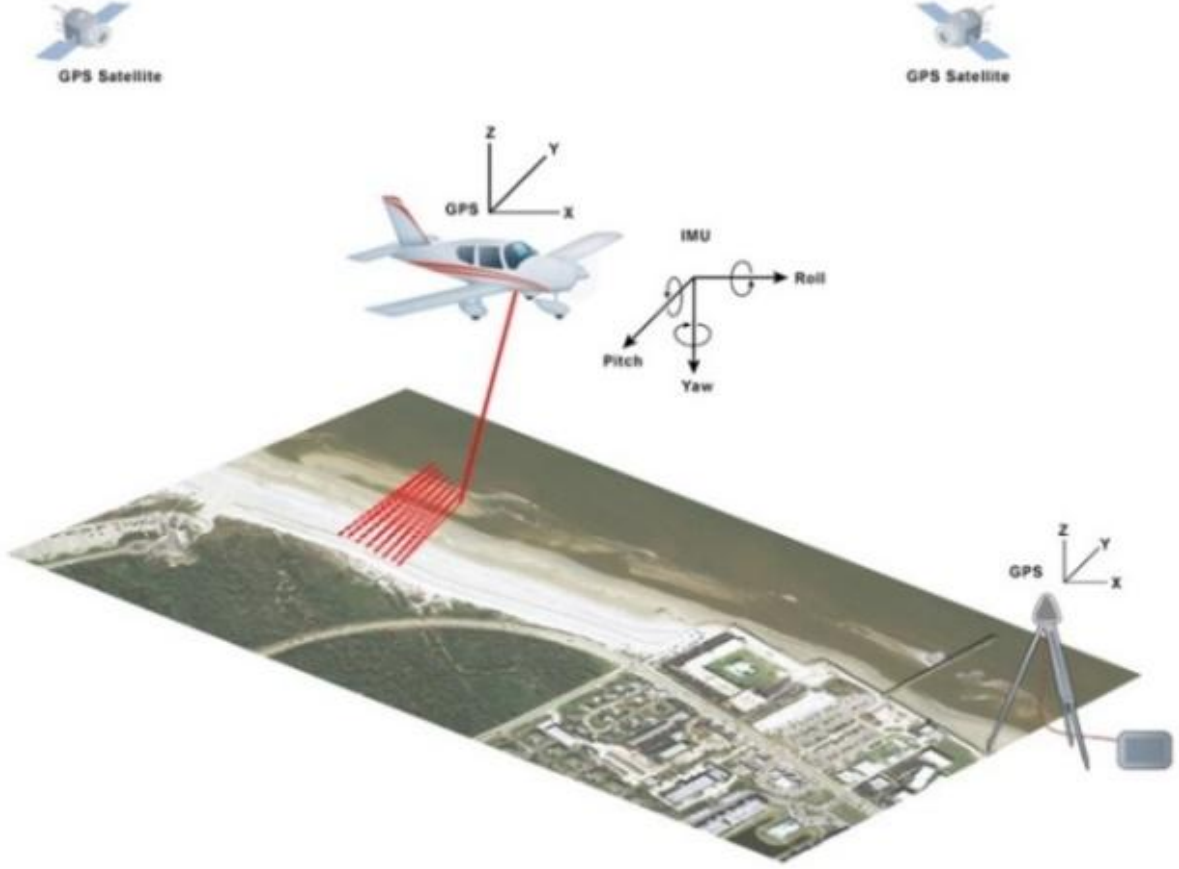
*Keywords: DEM, Airborne LiDAR, Point cloud, Sampling density, Kriging, Uniform.*

## 1. Giriş

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM); fiziksel yeryüzünün, düzenli aralıklarla bölünerek, tanımlı bir düşey datuma dayandırılmış yükseklik değerlerini ihtiva eden sayısal-kartografik gösterim yöntemidir. SYM üretimi için arazi yüzeyinde uygun biçimde dağılmış, konum (X, Y) ve yüksekliği (H) bilinen noktalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktalara “dayanak noktaları”, “kontrol noktaları”, “referans noktaları” veya “örnekleme noktaları” denir. SYM lerin fiziksel yeryüzünü tam anlamıyla temsil etmesi, yüzeydeki tüm noktaların tanımlı olmaması nedeniyle pratik anlamda mümkün değildir (Yanalak, 2002). Bu nedenle örnekleme noktaları yardımıyla, uygun bir enterpolasyon yöntemi kullanılarak oluşturulan model üzerinde istenilen sıklıkta yeni noktalar üretilir. Konum ve yükseklik bilgileri hesaplanan bu noktalar ile arazi yüzeyi sayısal olarak ifade edilir. Fiziksel yeryüzüne ilişkin kaynak verinin dağılımı, örnekleme yoğunluğu, kullanılan enterpolasyon yöntemi ve gridleme aralığı SYM lerin doğruluğunu doğrudan etkileyen faktörler olarak ele alınabilir (Kienzle, 2004; Liu vd., 2007; Tunalioglu ve Soycan, 2011). SYM üretiminin ilk aşaması olan ve elde edilecek hassasiyet üzerinde doğrudan etkisi olan örnekleme noktaları değişik kaynaklardan ve farklı ölçü yöntemleriyle belirlenebilmektedir. Düşük maliyetli, nokta yoğunluğu yüksek ve istenilen doğrulukta sayısal yükseklik verisine ihtiyaç duyan kullanıcılar için, klasik ölçme yöntemleri ve sayısal hava fotogrametrisi ile karşılaştırıldığında daha az arazi çalışması ve değerlendirme maliyeti gerektiren LiDAR (Light Detection and Ranging) yöntemi öne çıkmaktadır.

## 2. Hava LiDAR Sistemi

Işık algılama ve mesafe ölçüm teknolojisi olan LiDAR sistemi 1960’ların sonlarında geliştirilmiş ve SYM üretiminde kullanılabilirliği üzerine çalışmalar 1994’de başlamıştır (Petzold vd., 1999). LiDAR sistemleri kuruldukları platformlar temel alınarak üç grupta toplanmaktadır. Hava (Airborne) LiDAR sistemleri, Yersel (Terrestrial) LiDAR sistemleri ve Mobil (Mobile) LiDAR sistemleri. Bir hava LiDAR sistemi, Şekil 1’ de görüleceği üzere, bir lazer tarayıcı, küresel konumlama sistemi (GPS; Global Positioning System) ve atalet ölçüm sisteminin (IMU; Inertial Measurement Unit) entegrasyonundan oluşmaktadır. Uçak, helikopter vb. bir hava aracının altına monte edilen tarayıcı, lazer ışının yol ve gidiş-dönüş süresini kaydederek yer objeleri ve algılayıcı (sensör) arasındaki mesafeyi hesaplar (Meng vd., 2010). Hesaplanan bu mesafe temel alınarak GPS ile platformun o anki konumu kaydedilirken IMU ile uçağın durumu kaydedilerek ölçülen objenin konumu hesaplanmaktadır (Liu, 2008).



Şekil 1. Hava LiDAR sistemi (URL 1)

Hava LiDAR sistemleri, lazer ışınlarını elektromanyetik dalgalar halinde göndererek veri elde eden aktif uzaktan algılama sistemleridir. Yeryüzüne saniyede binlerce ışın göndererek GPS/INS teknolojisi yardımıyla fiziksel yeryüzüne ilişkin üç boyutlu (3B) veri doğrudan elde edilmektedir. LiDAR sistemi, yüksek yoğunluklu ve geometrik özellikli sayısal yükseklik verisini, klasik ölçmeler ile yaklaşık aynı doğrulukta, hava fotogrametrisinden daha hızlı oluşturmaya imkân vermektedir.

Hava LiDAR sistemi veri yoğunluğu, doğruluk, hız ve maliyet avantajları sebebiyle topografik haritalama, bitki-orman haritalama, yol, enerji nakil hatları, demir yolları güzergâhları, kıyı çizgisi tespiti, 3B şehir modelleme, afet değerlendirme ve daha birçok uygulamada kullanılmaktadır. Hava LiDAR sistemindeki algılayıcıların aktif sistemler olması nedeniyle gün ışığından ve gölgeden etkilenmemekte, gece ya da gündüz kolaylıkla kullanılabilir. Yükseklik değerleri LiDAR verisine dâhil olduğu için SYM üretimine daha uygundur. Yüksek çözünürlüklü hava LiDAR verileri ile 3B görsel gerçeklik elde edilerek coğrafi bilgi sistemleri için daha hassas SYM ler üretilebilmektedir. (Liu, 2008).

### 3. Test Alanı, Kaynak Veri ve Değerlendirme Metodolojisi

Çalışmanın gerçekleştirileceği test alanı olarak ABD'nin Washington Eyaleti'nin 154 km. güneyinde bulunan, 2550 metre yüksekliğindeki St. Helens yanardağı ( $46^{\circ} 11' 28''$  K;  $122^{\circ} 11' 40''$  B) bölgesi ( $\sim 116.04 \text{ km}^2$ ) seçilmiştir.

SYM üretimde kaynak olarak kullanılan hava LiDAR veri seti Washington Üniversitesi'nden (URL 2) temin edilmiş olup 23071760 adet noktayı ( $\sim 5.03 \text{ m}^2/\text{nokta}$ ) kapsamaktadır. Hava LiDAR veri setine ait minimum yükseklik değeri 743.91 m., maksimum yükseklik değeri 2539.38 m., ortalama yükseklik değeri 1469.23 m. ve standart sapması 370.40 m. dir. Hava LiDAR veri setindeki noktaların yatay konum doğrulukları 30 cm. ve düşey doğruluğu 15 cm. seviyesinde olup söz konusu veri setinin doğruluk analizi karesel ortalama hatası  $\pm 5.3$  cm. olan GPS veri seti ile gerçekleştirilmiştir (URL 2).

Çalışmanın birincil amacının SYM üretiminde kullanılan örnekleme yoğunluğunun doğruluğa etkisinin incelenmesi olduğu için, nokta dağılımına yönelik veri seyrekleştirme yöntemlerinden “uniform” metodu (Lee vd., 2001) seçilmiştir. Uniform metodunda arazi karakteristiğine bağlı olarak model uzayında oluşturulan 3B grid hücrelerinin her birinin içinden sadece bir nokta seçilip diğer noktalar silinerek veri seyrekleştirilmektedir.

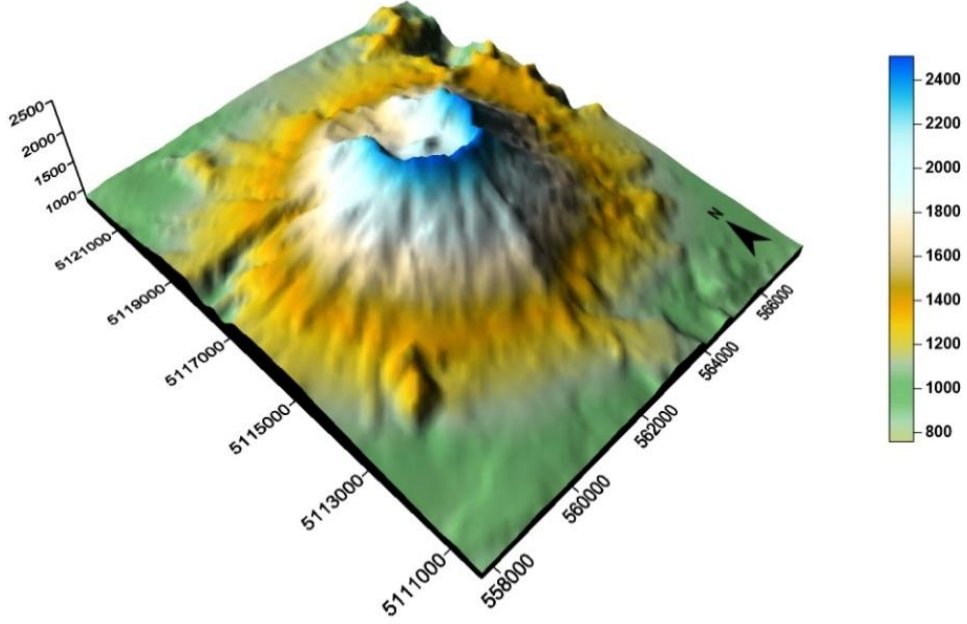
Hava LiDAR verisi kullanılarak test alanının SYM si oluşturulurken örnekleme noktaları kullanılarak ara noktaların üretiminde Kriging (KRIG) enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Boogart ve Schaeben (2002) tarafından en iyi lineer yansız hesaplayıcı (best linear unbiased estimator) ya da en iyi lineer yansız kestirimci (best linear unbiased predictor) olarak tanımlanan KRIG, bilinen yakın noktalardan alınan verileri kullanarak diğer noktalardaki verilerin optimum değerlerini kestiren bir enterpolasyon yöntemidir. Örnekleme nokta yoğunluğu farklı olan veri setleri ile üretilen SYM ler; hesaplanan ve bilinen model değerleri arasındaki küçük farklara bile duyarlı olan (Yılmaz ve Güllü, 2014), enterpolasyon yöntemlerinin hata hesabında global olarak kullanılan (Erdoğan, 2010) ve SYM uygulamalarında sonuçların değerlendirilmesinde etkin olan (Aguilar vd., 2005) karesel ortalama hata (KOH) ölçütüne göre incelenmiştir. Hava LiDAR veri setinin tamamı kullanılarak oluşturulan SYM deki örnekleme noktasının yüksekliği  $Z^{\text{referans}}$  ve uniform yöntemiyle seyrekleştirilen LiDAR verisi kullanılarak oluşturulan SYM deki örnekleme noktasının yüksekliği  $Z^{\text{uniform}}$  ve n, örnekleme nokta sayısı olmak üzere KOH;

$$KOH = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^{\text{referans}} - Z^{\text{uniform}})^2} \quad (1)$$

şeklinde hesaplanır.

#### 4. Sayısal Uygulama

Bu çalışma kapsamındaki uygulamanın ilk aşaması olarak mevcut hava LiDAR verisinin tamamı (%100) kullanılarak Surfer 12 yüzey modelleme programı yardımıyla test alanının 3B modeli oluşturulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. Test alanının 3B modeli

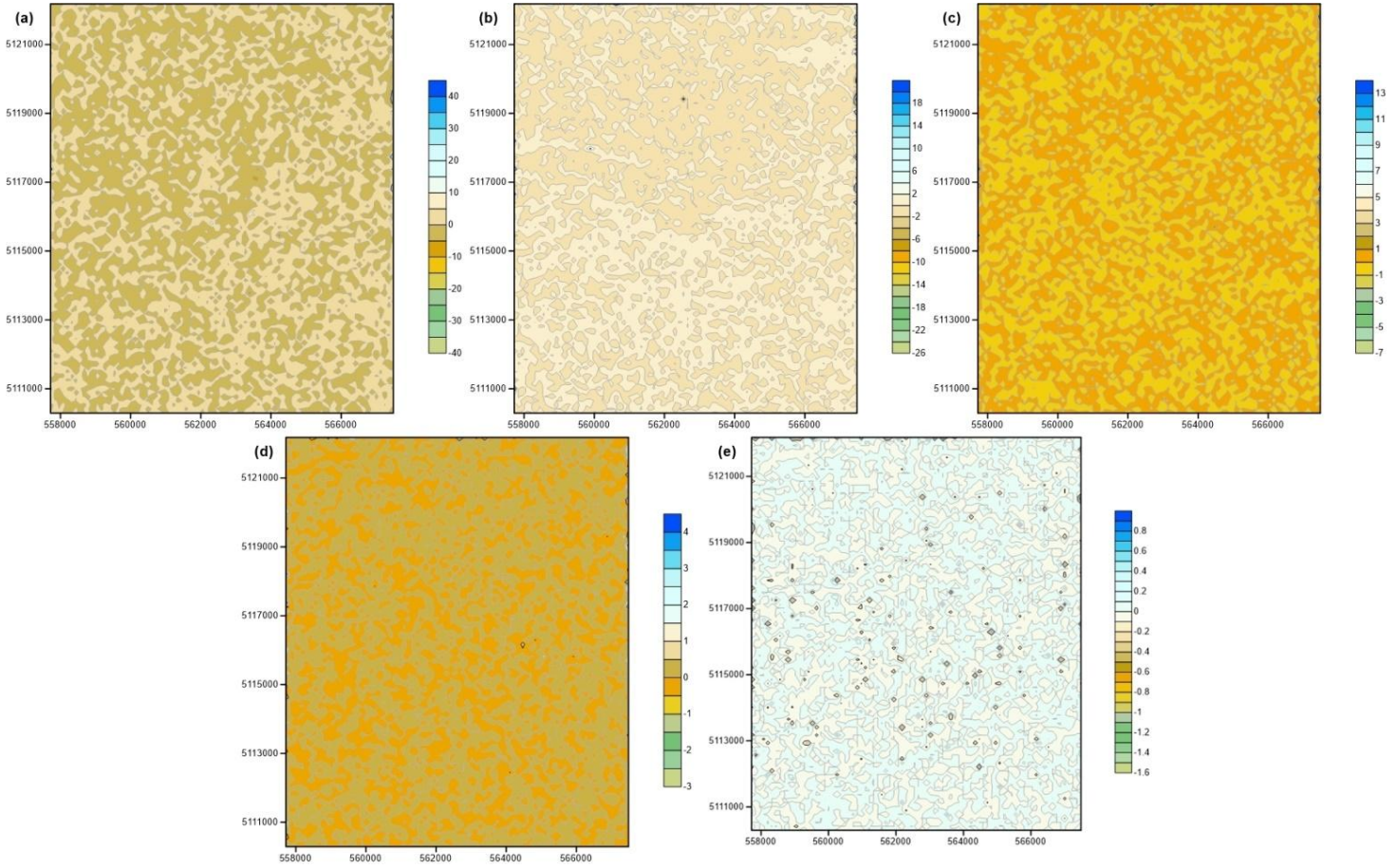
İkinci aşama olarak mevcut hava LiDAR verisinin sıra ile %1, 5, 25, 50 ve 75 i alınarak alt veri setleri (Tablo 1) oluşturulmuştur.

Tablo 1. Oluşturulan hava LiDAR veri setleri

%	Nokta Sayısı	Nokta Yoğunluğu (m <sup>2</sup> /nokta)
1	231579	501.09
5	1153392	100.61
25	5825014	19.92
50	11535942	10.06
75	17367867	6.68

Oluşturulan bu alt veri setleri kullanılarak yine Surfer 12 programı yardımıyla test alanının 3B modeli oluşturulmuş ve referans olarak kullanılan (%100) 3B model ile bu modeller arasında %100-%i (i=1, 5, 25, 50 ve 75) şeklinde fark haritaları oluşturulmuş (Şekil 3) ve örnekleme noktalarına ait farklara ilişkin istatistiksel değerler (Tablo 2) hesaplanmıştır.





Şekil 3. Yüzeyle arasındaki fark haritaları

(a: %100-1, Kontur aralığı 5 m.; b: %100-5, Kontur aralığı 2 m.; c: %100-25, Kontur aralığı 1 m.; d: %100-50, Kontur aralığı 0.5 m.; e: %100-75, Kontur aralığı 0.1 m.)

Tablo 2. Oluşturulan hava LiDAR veri setleri (Birimler, m)

Fark	Min	Maks	Ort	KOH
%100-%1	-37.59	35.05	-0.03	1.59
%100-%5	-24.66	19.63	-0.02	0.83
%100-%25	-6.96	12.07	0.01	0.34
%100-%50	-2.84	3.57	0.00	0.15
%100-%75	-1.57	0.88	0.00	0.06

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Fiziksel yeryüzünün matematiksel olarak tanımı yapılabilen bir yüzeyle temsil edilmesini amaçlayan SYM nin üretiminde ihtiyaç duyulan örnekleme noktalarının dağılımı ve sıklığı, SYM nin gerçek

topografyaya uygunluğunu sağlamada en önemli etkidir. Bu çalışma kapsamında kullanılan kaynak verinin %1, 5, 25, 50 ve 75 oranında uniform metoduna göre nokta yoğunluğu değiştirilerek Kriging enterpolasyon yöntemi ile üretilen SYM lerin doğruluk karşılaştırması gerçekleştirilmiştir. Tablo 2 deki sonuçlar incelendiğinde, Şekil 3 den de görüleceği üzere nokta yoğunluğunun artmasına paralel olarak SYM lerin doğruluğunda iyileşme görülmüştür. KOH ölçütüne göre en iyi sonuç en yüksek nokta yoğunluğuna sahip (%75) SYM de elde edilmiştir ( $\pm 0.06$  m.) ve bu sonuç en düşük nokta yoğunluğuna sahip (%1) SYM ye göre yaklaşık 27 kat daha iyidir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre örnekleme nokta sayısı (yoğunluğu) arttıkça SYM den elde edilen doğruluğun arttığı görülmüştür. Bu durumda SYM üretiminin ilk aşaması olan verilerin toplanması bölümünde daha çok sayıda verinin temin edilebileceği yöntemlerin seçilmesi gerekmektedir. Yersel ölçmeler, sayısal hava fotogrametrisi, radar ve uydu görüntülerine göre daha az arazi çalışması, düşük değerlendirme maliyeti, geniş alanlara ait veriyi çok kısa zamanda elde etme, her türlü arazi koşulunda zemin bilgisine ulaşabilme, yüksek çözünürlük ve nokta sıklığı, konum ve yükseklik verisini birlikte elde etme avantajları ile güvenilir, hızlı ve ekonomik 3B sayısal veri üreten hava LiDAR sisteminin SYM ler için öncelikli veri toplama yöntemi olarak kullanılabilmesi öngörülmektedir.

Gelecekteki çalışmalarda; hava LiDAR verisi örnekleme yoğunluğunun SYM doğruluğuna etkisinin farklı enterpolasyon yöntemleri (inverse distance weighting, thin plate spline vb.) ve nokta seyrekleştirme metodları (curvature, random vb.) kullanılarak farklı karakteristiğe sahip arazi (düz, dağlık, ormanlık, vadi, yerleşim alanı vb.) yüzeylerinde özellikle zaman-maliyet konusu da göz önüne alınarak yapılacak karşılaştırmaların faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

## Kaynaklar

- Aguilar, F.J., Agüera, F., Aguilar, M.A. ve Carvaj, F., (2005). Effects of Terrain Morphology, Sampling Density, and Interpolation Methods on Grid DEM Accuracy. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71(7), 805-816.
- Boogaart, K.G. ve Schaeben, H., (2002). Kriging of regionalized directions, axes and orientations I. Directions and axes. *Mathematical Geology*, 34 (5), 479-503.
- Erdoğan, S., (2010). Modelling the spatial distribution of DEM error with geographically weighted regression: An experimental study. *Computers and Geosciences*, 36, 34-43.
- Kienzle, S., (2004). The effect of DEM raster resolution on first order, second order and compound terrain derivatives, *Transactions in GIS*, 8 (1), 83-111.
- Lee, K.H., Woo, H. ve Suk, T., (2001). Point Data Reduction Using 3D Grids, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 18 (3), 201-210.

- Liu, X., Zhang, Z., Peterson, J . ve Chandra, S., (2007). The Effect of LiDAR Data Density on DEM Accuracy, *MODSIM07 International Congress on Modelling and Simulation*, Christchurch, New Zealand.
- Liu, X., (2008). Airborne LiDAR for DTM generation: Some critical issues. *Progress in Physical Geography*, 32 (1), 31-49.
- Meng, X., Currit, N. ve Zhao, K., (2010). Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A review of critical issues. *Remote Sensing*, 2 (3), 833-860
- Petzold, B., Reiss, P. ve Stossel, W., (1999). Laser scanning-surveying and mapping agencies are using a new technique for the derivation of digital terrain models. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54, 95-104.
- Tunalıoğlu, N. ve Soyca, M., (2011). Geçki Planlama Çalışmaları İçin Hava Lidar Verisine Dayalı Sayısal Arazi Modelleme ve Doğruluk Analizi, *TMMOB HKMO 13. Türkiye Harita Bilimsel Kurultayı*, Ankara.
- Yanalak, M., (2002). Sayısal Arazi Modellerinde Yükseklik Enterpolasyonu, *Harita Dergisi*, 128, 44-58.
- Yılmaz, M. ve Güllü. M., (2014). A comparative study for the estimation of geodetic point velocity by artificial neural networks, *Journal of Earth System Science*, 123 (4), 791-808.

---

URL 1. <http://www.aspl.ece.ufl.edu/starek.htm>

URL 2. [http://wagda.lib.washington.edu/data/type/elevation/lidar/st\\_helens/toutle03.htm](http://wagda.lib.washington.edu/data/type/elevation/lidar/st_helens/toutle03.htm)