

Hava LiDAR Nokta Bulutundan Sayısal Yükseklik Modeli Üretiminde Veri Seyrekleştirme Algoritmalarının Karşılaştırılması

Mustafa YILMAZ^{1,*}, Murat UYSAL¹, İbrahim YILMAZ¹

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 03200, Afyonkarahisar.

Özet

Veri işleme teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak harita, inşaat, maden, ziraat, mimari, güvenlik ve planlama gibi birçok mühendislik alanında yaygın olarak kullanılmaya başlanan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) nin oluşturulmasında istenilen yoğunlukta ve doğru olarak konum (X, Y) ve yüksekliği (H) bilinen “örnekleme” noktaları temini konusu önem kazanmaktadır. GPS (Global Positioning System), IMU (Inertial Measurement Unit) ve lazer tarama teknolojilerinin entegrasyonu ile oluşturulmuş üç boyutlu (3B) veri toplama yöntemi olan LiDAR (Light Detection and Ranging) 3B nokta üretimi konusunda klasik yöntemlere göre öne çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında seçilen bir test alanında hava LiDAR yöntemi ile temin edilen nokta bulutunun tamamı kullanılarak oluşturulan SYM ile farklı veri seyrekleştirme algoritmaları kullanılarak %50 örnekleme yoğunluğunda oluşturulan SYM ler karşılaştırılmıştır. Kriging enterpolasyon yöntemi kullanılarak oluşturulan SYM lerin doğruluğu üzerinde, “uniform”, “grid”, “curvature” ve “random” veri seyrekleştirme algoritmalarının etkisi örnekleme noktalarından elde edilen karesel ortalama hata (KOH) değerlerine göre incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucu ± 0.149 m, ± 0.173 m, ± 0.268 m. ve ± 0.352 m. KOH değerleri elde edilmiş olup LiDAR verisinden SYM üretiminde, veri seyrekleştirme algoritmaları bakımından en iyi sonucu “uniform” metodunun verdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler

SYM, LiDAR, Veri Seyrekleştirme, Uniform, Grid, Curvature, Random, Kriging.

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 Soykan, 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 sistemini, Şekil 1’ de görüleceği üzere, entegre edilmiş lazer tarayıcı, küresel konumlama sistemi (GPS; Global Positioning System) ve atalet ölçüm sistemi (IMU; Inertial Measurement Unit) oluşturmaktadır. Uçak, helikopter vb. bir hava aracına 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).

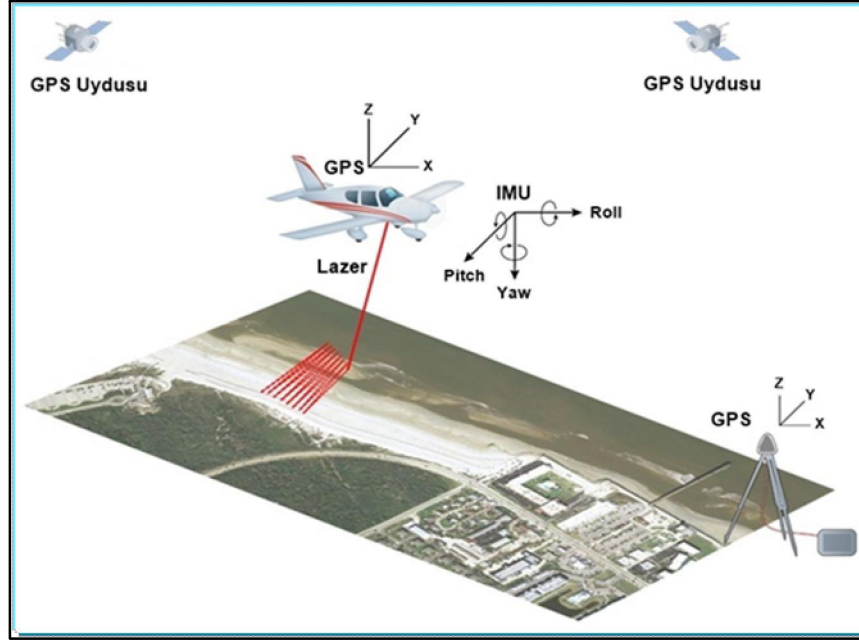
Hava LiDAR sistemleri, lazer ışınlarını elektromanyetik dalgalar halinde göndererek veri elde eden aktif uzaktan algılama sistemleridir. Yeryüzüne saniyede binlerce ışın göndererek GPS/INS teknolojisi yardımıyla fiziksel yeryüzüne ilişkin üç boyutlu (3B) veri doğrudan elde edilmektedir. LiDAR sistemi, 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,

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 272 228 14 23 Faks: +90 272 228 14 22

E-posta: mustafayilmaz@aku.edu.tr (Mustafa YILMAZ)

afet değerlendirme, güvenlik 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 üretilmektedir. (Liu, 2008).



Şekil 1: Hava LiDAR sistemi (URL 1)

3. Test Alanı, Kaynak Veri ve Değerlendirme Metodolojisi

Çalışmanın gerçekleştirileceği test alanı olarak ABD'nin Washington Eyaleti'nin 154 km. güneyinde bulunan, 2549 metre yüksekliğindeki St. Helens yanardağı ($46^{\circ} 11' 28''$ K; $122^{\circ} 11' 40''$ B) bölgesi seçilmiştir. Test alanı kuzey-güney doğrultuda 11.9 km. ve doğu-batı doğrultuda 8.9 km. genişliğe sahip ($\sim 116.6 \text{ km}^2$) bir alanı temsil etmektedir.

SYM üretimde kaynak olarak kullanılan hava LiDAR veri seti Washington Üniversitesi'nden (URL 2) temin edilmiş olup 23071760 adet noktayı ($\sim 5.1 \text{ m}^2/\text{nokta}$) 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 yükseklik doğruluğu 15 cm. seviyesinde olup söz konusu veri setinin doğruluk analizi karesel ortalama hatası (KOH) ± 5.3 cm. olan GPS veri seti ile gerçekleştirilmiştir (URL 2).

Çalışmanın birincil amacının SYM üretiminde kullanılan veri setinin seyrekleştirilmesinde (istenilen veri yoğunluğu seviyesine getirilmesinde) kullanılan farklı algoritmaların SYM doğruluğuna etkisinin incelenmesi olduğu için, nokta dağılımına yönelik veri seyrekleştirme algoritmalarından “uniform” (Lee vd., 2001), “grid” (Martin vd., 1996), “curvature” (Hamann ve Chen, 1994) ve “random” (URL 3) seçilmiştir. Uygulama kapsamında seçilen veri seyrekleştirme algoritmalarından uniform metodunda arazi karakteristiğine bağlı olarak model uzayında oluşturulan 3B grid hücrelerinin her birinin içinden medyan değerine en yakın nokta seçilip diğer noktalar silinerek veri seyrekleştirilmektedir. Grid metodunda 3B grid hücrelerinin merkezine en yakın nokta seçilip diğer noktalar silinmektedir. Curvature metodunda k-en yakın komşuluk parametresine göre seçilen noktalar kullanılarak yüzey oluşturulmaktadır. Random metodunda ise rastgele seçilen bir değere karşılık gelen nokta seçilip diğer noktalar silinmektedir.

Veri seyrekleştirme algoritmalarının uygulanacağı veri yoğunluğu seviyesi, literatürdeki geçmiş çalışmalara (Anderson vd., 2006; Liu ve Zhang, 2008; Immelman ve Scheepers, 2011) paralel olarak % 50 olarak seçilmiştir. % 50 veri yoğunluğu ile üretilen SYM lerde arazinin karakteristik özellikleri kaybedilmeden yeterli doğrulukta SYM üretimi gerçekleştirilebileceği öngörülmüştür.

Hava LiDAR verisi kullanılarak test alanının SYM si oluşturulurken örnekleme noktaları kullanılarak ara noktaların üretiminde Kriging (KRIG) interpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Boogart ve Schaebe (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 uygun değerlerini kestiren bir interpolasyon 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), interpolasyon yöntemlerinin hata hesabında global

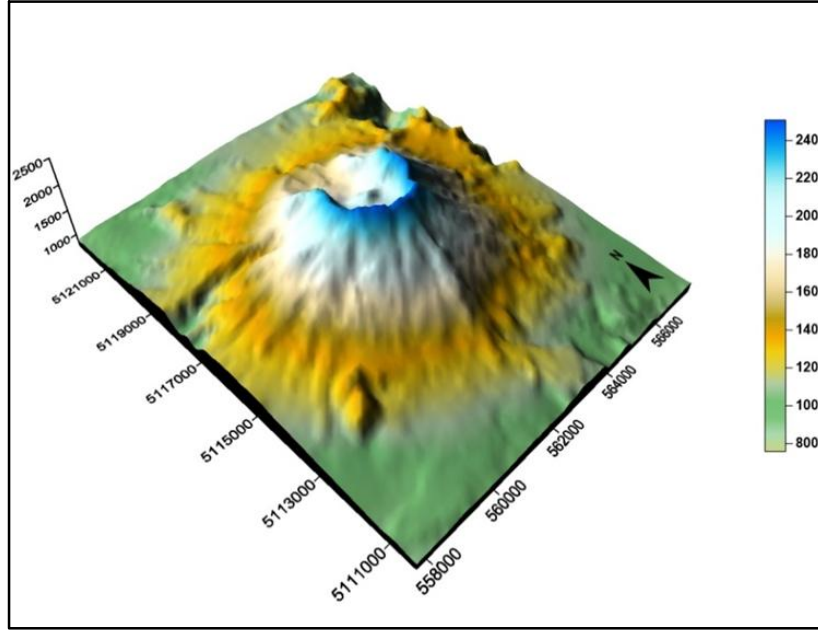
olarak kullanılan (Erdoğan, 2010) ve SYM uygulamalarında sonuçların değerlendirilmesinde etkin olan (Aguilar vd., 2005) KOH ölçütüne göre incelenmiştir. Hava LiDAR veri setinin tamamı kullanılarak oluşturulan SYM'deki örnekleme noktasının yüksekliği $Z_{referans}$ uniform, grid, curvature, random algoritmalarıyla seyrekleştirilen LiDAR verisi kullanılarak oluşturulan SYM'deki örnekleme noktasının yüksekliği Z_{test} ve örnekleme nokta sayısı n olmak üzere KOH;

$$KOH = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{referans} - Z_{test})^2} \quad (1)$$

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 KRIG yöntemine göre test alanının 3B modeli oluşturulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2: Test alanının 3B modeli

İkinci aşama olarak mevcut hava LiDAR veri setinin uniform, grid, curvature, random veri seyrekleştirme algoritmalarıyla % 50 veri yoğunluğuna sahip alt veri setleri (Tablo 1) oluşturulmuştur.

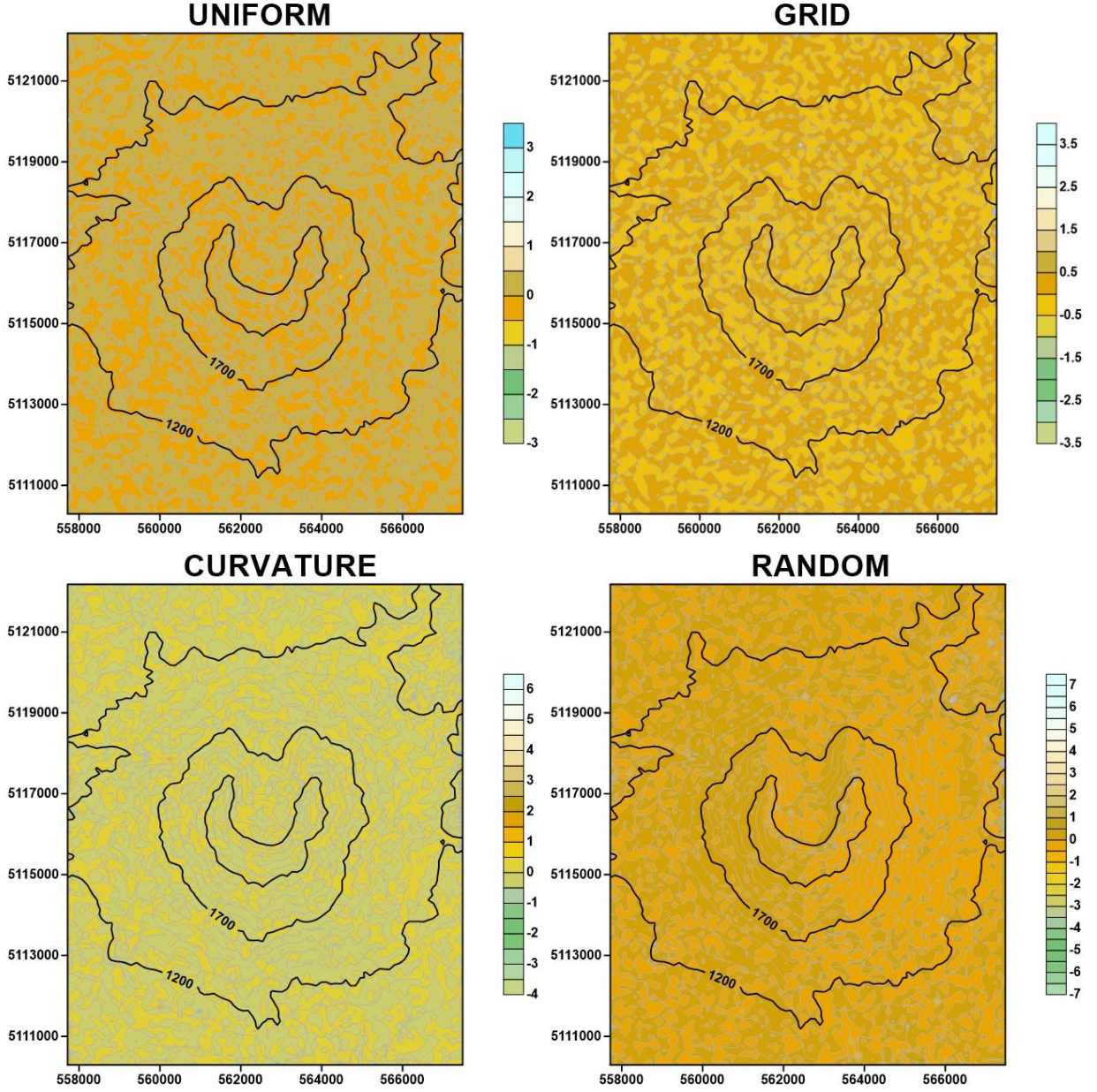
Tablo 1: Oluşturulan hava LiDAR veri setleri

%	Nokta Sayısı	Nokta Yoğunluğu (m ² /nokta)
100	23071760	5.1
50	11535942	10.2

Farklı veri seyrekleştirme algoritmalarına göre oluşturulan alt veri setleri kullanılarak yine Surfer 12 programı yardımıyla test alanının KRIG yöntemine göre 3B modeli oluşturulmuştur. Referans olarak kullanılan (% 100) 3B model ile bu modeller arasında % 100 - % 50 şeklinde yükseklik fark haritaları oluşturulmuş (Şekil 3) ve örnekleme noktalarına ait yükseklik farklarına ilişkin istatistiksel değerler (Tablo 2) hesaplanmıştır.

Tablo 2: Elde edilen (% 100 - % 50) yükseklik farklarına ilişkin istatistiksel değerler (Birimler, m.)

Algoritma	Min	Maks	Ort	KOH
Uniform	-2.837	3.567	0.002	0.149
Grid	-3.015	5.959	0.002	0.173
Curvature	-3.831	10.628	0.005	0.268
Random	-7.943	12.383	-0.003	0.352



Şekil 3: Yükseklik fark haritaları (Kontur aralığı 0.5 m.)

5. 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 veri % 50 oranında uniform, grid, curvature, random algoritmalarıyla seyrekleştirilmiş ve bu alt veri setleri kullanılarak KRIG enterpolasyon yöntemi ile üretilen SYM lerin doğruluk karşılaştırması gerçekleştirilmiştir. Tablo 2 deki sonuçlar incelendiğinde, Şekil 3 defa fark aralıklarından da görüleceği üzere; KOH ölçütüne göre doğruluğu en yüksek sonuç uniform algoritması kullanılan SYM de elde edilmiştir (± 0.149 m.) ve bu sonuç en düşük doğruluğa sahip, random algoritmasının kullanıldığı SYM ye (± 0.352 m.) göre yaklaşık 2.4 kat daha iyidir. Literatürdeki geçmiş çalışmalar doğrultusunda, arazinin karakteristik özellikleri kaybedilmeden yeterli doğrulukta SYM üretiminin gerçekleştirilebileceği öngörülen % 50 veri yoğunluğuna göre uniform veri seyrekleştirme algoritmasının kullanılması daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Örnekleme nokta sayısı (yoğunluğu) arttıkça SYM den elde edilen doğruluğun artacağı bilinen bir gerçektir. SYM üretiminin ilk aşaması olan verilerin toplanması bölümünde daha çok sayıda verinin temin edilebileceği yöntemlerin seçilmesi gerekmektedir. Hava LiDAR sisteminin, yersel ölçmeler, sayısal hava fotogrametrisi, radar ve uydu görüntülerine göre; daha az arazi çalışması, düşük değerlendirme maliyeti, geniş alan verisini çok kısa sürede elde etme, her türlü arazi koşulunda zemin bilgisine ulaşabilme, yüksek çözünürlük, doğruluk ve nokta sıklığı, konum ve yükseklik

verisini birlikte elde etme avantajları bulunmaktadır. Bu nedenle hava LiDAR sisteminin SYM ler için öncelikli veri toplama yöntemi olarak kullanılabileceği öngörülmektedir. Bununla birlikte hava LiDAR sistemin çıktısı olan ve yüz milyonlarca noktadan oluşan bir nokta bulutundan SYM üretilmesi aşamasında, veri depolama, işleme, donanımsal gerekliliklerin yükselmesi, zaman ve emek bakımından karşılaşılabilecek zorluklar göz ardı edilmemelidir. İhtiyaç duyulan SYM nin istenilen doğruluk seviyesinde ve karakteristik özellikler (geometrik yapı) kaybedilmeden, daha az veri ile üretilmesini sağlayabilecek olan veri seyrekleştirme algoritmalarının SYM sonuçları üzerindeki etkisi büyük önem arz etmektedir.

Gelecekteki çalışmalarda; hava LiDAR verisine uygulanacak uniform, grid, curvature, random algoritmalarının SYM doğruluğuna etkisinin farklı enterpolasyon yöntemleri ve farklı veri yoğunlukları kullanılarak farklı karakteristiğe sahip (düz, dağlık, ormanlık, vadi, yerleşim alanı vb.) arazi yüzeylerinde özellikle zaman-maliyet konusu da göz önüne alınarak yapılacak karşılaştırmaların faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Kaynaklar

- Aguilar F.J., Agüera F., Aguilar M.A., Carvaj F., (2005), Effects of terrain morphology, sampling density, and interpolation methods on grid DEM accuracy, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71 (7), 805-816.
- Anderson E.S., Thompson J.A., Crouse D.A., Austin R.E., (2006), Horizontal resolution and data density effects on remotely sensed LiDAR-based DEM, *Geoderma*, 132, 406-415.
- Boogaart K.G., 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.
- Hamann B., Chen J.L., (1994), Data point selection for piecewise linear curve approximation, *Computer Aided Geometric Design*, 11, 289-301.
- Immelman J., Scheepers L.G.C., (2011), The effects of data reduction on LiDAR-based digital elevation models, 4th International Congress on Image and Signal Processing, Shanghai, China.
- 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., 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., 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.
- Liu X., Zhang Z., (2008), LiDAR data reduction for efficient and high quality DEM generation, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII, B3b.
- Martin R.R., Stroud I.A., Marshall A.D., (1996), Data reduction for reverse engineering, RECCAD, COPERUNICUS project, No. 1068, Computer and Automation Institute of Hungarian Academy of Science.
- Meng X., Currit N., 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., 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 and Remote Sensing*, 54, 95-104.
- Tunalıoğlu N., Soykan M., (2011), Geçki planlama çalışmaları için hava LiDAR verisine dayalı sayısal arazi modelleme ve doğruluk analizi, TMMOB HKMO 13. Türkiye Harita Bilimsel Kurultayı, Ankara, Türkiye.
- Yanalak M., (2002), Sayısal arazi modellerinde yükseklik enterpolasyonu, *Harita Dergisi*, 128, 44-58.
- Yılmaz M., 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

URL 3. <http://support1.geomagic.com>