



LiDAR verilerinin CSF algoritmasıyla filtrelenmesi ve Sayısal Arazi Modeli üretimi LiDAR data filtering with CSF algorithm and Digital Terrain Model generation

Nizar Polat*

*Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölüm, Şanlıurfa, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

Uzaktan Algılama
Fotogrametri
LiDAR
Filtreleme
SAM

ÖZ

Yükseklik bilgisi birçok mühendislik uygulaması için vazgeçilmez verilerdendir. Özellikle arazi yüzeylerini tanımlamakta yoğun olarak kullanılan ve Sayısal Arazi Modeli şeklinde tanımlanan topografik ürünler birçok mühendislik projesi için altlık olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda LiDAR verileri ile geniş arazilere ait yüksek doğrulukta arazi modelleri üretimi yaygınlaşmıştır. Bu çalışmada LiDAR verisi CSF algoritması kullanılarak filtrelenmiş ve sayısal arazi modeli üretilmiştir. Üretilen arazi modeli referans veri ile hem nokta tabanlı hem de görüntü tabanlı karşılaştırılmıştır. Buna göre nokta tabanlı karşılaştırmada filtreleme işlemi % 85 üretici doğruluğuna sahiptir. Görüntü tabanlı karşılaştırma ise referans arazi modeli ve üretilen arazi modellerinden elde edilmiştir. Bu iki arazi modeli arasındaki korelasyon yaklaşık %98 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca yükseklik bilgisinin güvenilirliği için hesaplanan karesel ortalama hata 11 cm olarak bulunmuştur.

Keywords:

Remote sensing
Photogrammetry
LiDAR
Filtering
DTM

ABSTRACT

Height information is indispensable for many engineering applications. Topographic products which are used extensively in defining land surfaces and defined as Digital Terrain Model are used as a base for many engineering projects. In recent years, the production of high-accuracy land models for large areas with the LiDAR data has become widespread. In this study, LiDAR data is filtered using CSF algorithm and digital terrain model is produced. The generated terrain model was compared with reference data both point-based and image-based. Accordingly, in the point-based comparison, filtering has a manufacturer accuracy of 85%. The image-based comparison is obtained from the reference terrain model and the terrain models produced. The correlation between these two terrain models was calculated as approximately 98%. In addition, the square mean error calculated for the reliability of the height information was found to be 11 cm.

*Sorumlu Yazar

*(nizarpolat@harran.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-6061-7796

DOI: XXXXXXXXXXXXX

1. GİRİŞ

Sayısal Arazi Modelleri (SAM) birçok mühendislik projesi için altlık olarak kullanılan topografik bir üründür. Altlık olarak kullanıldığı için SAM doğruluğu genel proje çıktılarının doğruluğunu da etkilemektedir. SAM üretiminde farklı veri toplama yöntemleri ile elde edilmiş veriler kullanılabilir. SAM üretimi önceleri klasik yersel ölçmelere dayanmaktaydı. Daha sonra analitik fotogrametri ile birkaç manuel işlem ve enterpolasyonlar sonucu üretilmeye başlandı. Son yıllarda ise yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama verileri, Interferometrik Syntetic Aparture Radar (InSAR) ve LiDAR verileri SAM üretimi için kullanılmaya başlanmıştır (Briese 2010).

LiDAR verisi üç boyutlu uzaya dağılmış bir nokta bulutudur. Bu noktaların bir kısmı yer yüzeyini temsil ederken bir kısmı ağaçlar ve bitkiler ile binalar gibi diğer insan yapımı objeleri temsil eder. İşte bu veri setinde yer yüzeyine ait noktaların diğer (yeryüzü olmayan ağaç bina vb.) tüm noktalardan ayrılması işlemine filtreleme denir. LiDAR sistemleriyle elde edilmiş verilerin sınıflandırılarak yeryüzü-obje ayrımının yapılması en temel adımdır. Birçok farklı LiDAR işleme ve yorumlama algoritması mevcuttur fakat filtreleme işlemi çoğu zaman ilk yapılan işlemidir (Guan vd. 2011).

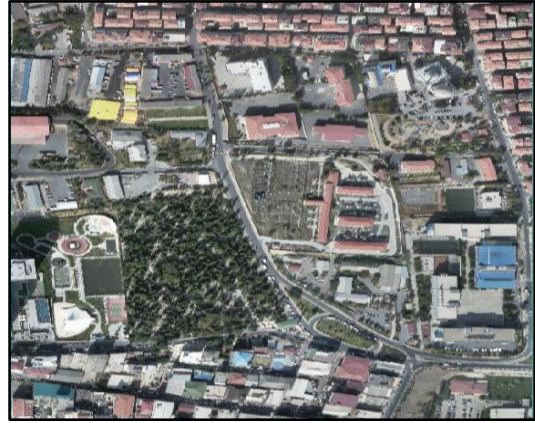
Filtreleme işleminin amacı yer noktalarını yüksek doğrulukla belirleyip SAM üretmektir. Literatürde farklı yaklaşımla birçok yöntem geliştirildiği görülmektedir. Literatürde yaygın olarak bilinen çalışmalara örnek olarak Akel vd. (2003), Axelsson (2000), Forlani & Nardinocchi (2007), Kraus & Pfeifer (1998), Sithole (2001), Vosselman (2000), Zhang vd. (2003) verilebilir. Farklı kabul ve varsayımlar ile obje ve yer noktaları arasındaki ilişkileri temel alan bu yaklaşımlar genelde iyi sonuçlar vermektedirler. Fakat hala engebeli alanlarda, sık ormanlarda, ani yükseklik değişiminin, köprü ve su gibi arazi süreksizliğinin olduğu alanlarda istenen düzeyde başarı sağlanamamıştır (Sithole & Vosselman 2004). Briese (2010), filtreleme için kullanılan algoritmaları, probleme yaklaşım tarzlarına göre dört sınıfta toplamıştır: Şekil (Morfolojik) temelli filtre, kademeli yoğunluk filtresi, yüzey temelli filtre ve bölütleme temelli filtre. Fakat çok bantlı verilerin filtrelemede kullanılması, LiDAR dönüşlerinin artması ve sinyal işleme algoritmalarıyla beraber filtreleme yaklaşımları çok değişmiştir.

Filtreleme işlemi karmaşık bir yapıya sahiptir. Özellikle çalışma bölgesinde coğrafi ve morfolojik çeşitlilik fazla ise bu filtreleme işlemi daha da zorlaşmaktadır. Bu sebeple LiDAR nokta bulutundan SAM üretimi için etkili ve verimli bir filtreleme algoritması seçmek gerekmektedir. Bu çalışmada istanbulda yerleşim alanı içeren LiDAR verisi Cloth Simulation Filtering (CSF) algoritması ile filtrelenerek SAM üretimi gerçekleştirilmiştir.

Üretilen model referans veri ile karşılaştırılarak doğruluk analizi yapılmıştır.

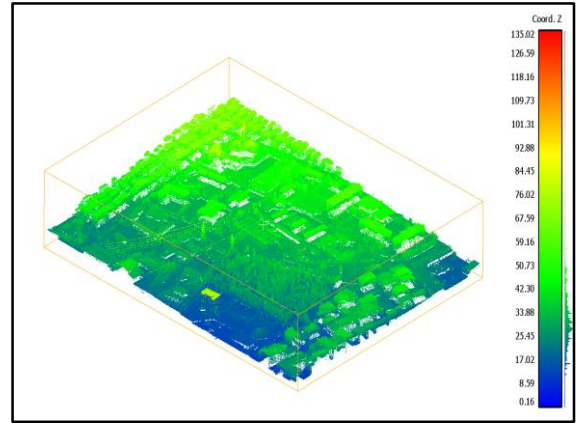
2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ SETİ

Veri seti İstanbul büyükşehir belediyesinden temin edilmiştir. Çalışma alanı İstanbul ili Bahçelievler ilçesinden 500x700 boyutlarında yerleşim yerine ait bir alandır. Bölgede farklı tipte binalar, ağaçlık alan ve cami bulunmaktadır. Bölgenin hava fotoğrafı Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Çalışma bölgesinin hava fotoğrafı

Bölgeye ait ham veri setinde 2 782 425 nokta bulunmaktadır ve veri setinin kontrollü sınıflandırılması da yapılmıştır. Yani çalışma için gerekli referans veri seti mevcuttur. Veri setinin üç boyutlu görünümü Şekil 2'de görülmektedir.



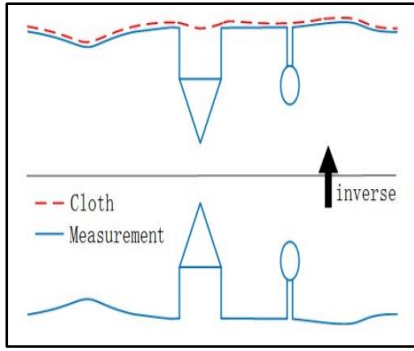
Şekil 2. Veri setinin üç boyutlu görünümü

3. Metodoloji

LiDAR nokta bulutundan SAM üretiminin ilk adımı, noktaların yüzey ve obje noktaları olarak filtrelenmesidir. Filtreleme işlemi özellik çıkarımı için çok önemlidir ve sınıflandırma işlemi için temel bir gereksinimdir (Briese 2010). Tespit edilen yer noktaları geliştirilmiş birçok algoritma ile enterpolasyon girdisi olarak kullanılabilir. Yanlış tanımlanmış noktalar enterpolasyondan kullanılırsa, sapmalara sebep olur ki bu durumda birçok hatanın oluşması da büyük olasılıklıdır (Guo

vd. 2010). Filtreleme zor ve zaman alan bir işlemdir çünkü LiDAR veri setleri genellikle çok sayıda nokta içermektedir. Çalışma kapsamında Zhang vd. (2016) tarafından önerilen Cloth Simulation Filtering (CSF) yaklaşımı kullanılmıştır.

CSF algoritması doğruluğu, yüksek performansı, kullanım kolaylığı ve kısa işleme süresi nedenleriyle tercih edilmiştir. Temel olarak arazinin üzerinde bir örtü ya da elbise serildiği düşünülür. Varsayılan bu örtünün gözenek boyutları (Cloth Resolution - CR) grid boyutu olarak düşünülmüştür. Benzer şekilde örtünün araziye temas mesafesi sınıflandırma eşik değeri (Classification Threshold - CT) olarak varsayılmıştır. Belirlenen bu parametrelere göre arazi örtüyle ters çevrilince elde edilen yer noktaları elde edilmekte ve üstte kalanlar ise obje noktaları olmaktadır. Bu işlem iteratif olarak tekrarlanır ve sonuçta yer ve obje noktaları ayrılmış olur. CSF algoritmasının temel yaklaşımı Şekil 3 de görülmektedir.



Şekil 3. CSF algoritmasının temel yaklaşımı (Zhang vd. 2016).

Filtreleme sonrası elde edilen yer noktalarının karşılaştırılması işlemi görsel olarak yapılmıştır. Ayrıca literatürde, numerik sonuç almak için referans veriden faydalanarak farklı yaklaşımlar ile doğruluk analizleri yapılmıştır (Ding vd. 2008, Lin & Nevatia 1998, Müller & Zaum 2005). Daha sonra Shufelt (1999) tarafından bir model ve referans veri arasında yapılabilecek bir kıyaslamadaki olası durumlar ve bunlardan hesaplanan bazı doğruluk ölçütleri önerilmiştir. Rutzinger vd. (2009) ise bu yaklaşımı yeniden düzenlenmiştir. Bu yaklaşım kabul görerek birçok çalışmada kullanılmıştır (Rutzinger vd. 2009, Shufelt 1999). Rutzinger vd. (2009) tarafından önerilen bu karşılaştırma yöntemi, ISPRS çalışma grupları da dâhil birçok bireysel ve bilimsel topluluk ortak çalışmalarında değerlendirme ölçütü olarak belirlenmiştir. Literatürdeki birçok çalışma bu yaklaşımı kullanarak sonuçlarını değerlendirmiştir. (Awrangjeb vd. 2014, Gerke & Xiao 2014, Mongus vd. 2013, Moussa & El-Sheimy 2012, Yang vd. 2013, Zhou vd. 2018) Buna göre bir model ve bir referans kıyaslanmasında 3 olası kategori elde etmek mümkündür. Bunlar:

- Gerçek Pozitif – GP - (True Positive - TP): Hem modelde hem de referansta bulunmuş noktaları ifade eder. Küme olarak ifadesi $(R \cap M)$ şeklindedir.

- Yanlış Pozitif – YP - (False Positive – FP): Modelde bulunan fakat referansta bulunmayan noktaları ifade eder. Küme olarak ifadesi $(M \setminus R)$ şeklindedir.

- Yanlış Negatif – YN - (False Negative – FN): Modelde bulunmayan fakat referansta bulunan noktaları ifade eder. Küme olarak ifadesi $(R \setminus M)$ şeklindedir.

Bu üç kategori, Rutzinger vd. (2009)'in önerdiği üretici doğruluğunu (Eşitlik 1), kullanıcı doğruluğunu (Eşitlik 2) ve kalite (Eşitlik 3) parametrelerini elde etmek için kullanılmaktadır.

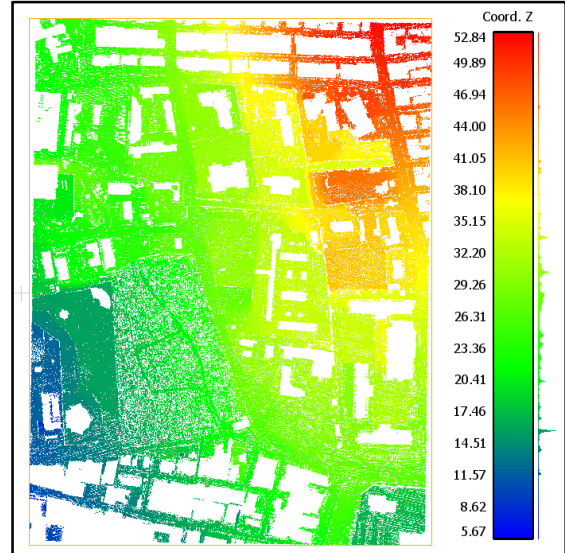
$$\text{Üretici Doğruluğu: } \frac{GP}{GP+YN} \quad (1)$$

$$\text{Kullanıcı Doğruluğu: } \frac{GP}{GP+YP} \quad (2)$$

$$\text{Kalite: } \frac{GP}{GP+YN+YP} \quad (3)$$

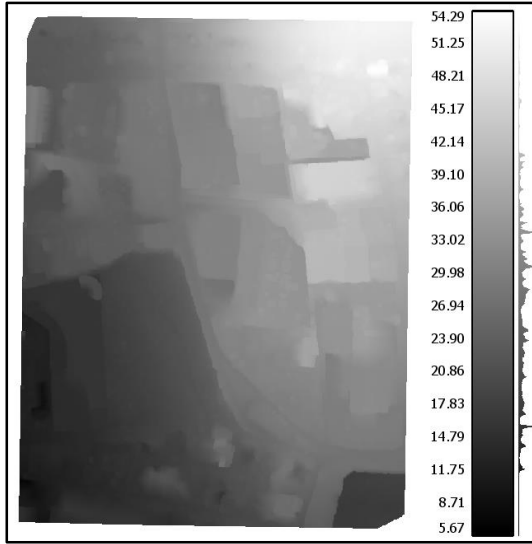
4. Uygulama

Çalışma kapsamın LiDAR verisi CSF algoritması ile filtrelenmiştir. Bu kapsamda CR parametresi 1 m CT parametresi ise 20 cm alınmıştır. Sonuçta SAM üretimi için kullanılacak yer noktaları elde edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. CSF algoritması ile elde edilen yer noktaları

Elde edilen bu noktalar daha sonra enterpolasyon ile SAM üretiminde kullanılmıştır. Üretilen SAM Şekil 5 te görülmektedir.



Şekil 5. CSF algoritması ile elde edilen yer noktalarından üretilen SAM

5. Analiz

Çalışma kapsamında eşitlik 1, 2 ve 3 hesaplaya bilmek için referans veri ve CSF sonucuna ait istatistik bilgileri gerekmektedir. Bu bilgiler tablo 1 de verilmiştir.

Tablo1. Veri setlerine ait istatistik bilgileri.

Ham Veri	Referans	CSF	GP	YP	YN
2782425	453498	555562	386658	168904	66840

Tablo 1’de ki GP, YP ve YN değerleri referans ve CSF nokta bulutlarının üst üste açılarak yapılan analiz sonucu elde edilmiştir. Bu verilerden yola çıkılarak hesaplanan doğruluk değerleri

Tablo2. Çalışmanın hesaplanan doğruluk değerleri.

Üretici Doğruluğu	Kullanıcı Doğruluğu	Kalite
%85	%69	%62

Bir referans ile üretilen modelin karşılaştırılmasında üretici doğruluğu genel anlamda tamlık ya da tespit oranı olarak da ifade edilmektedir (Foody 2002, Rutzinger vd. 2009, Song & Haithcoat 2005). Bu çalışmanın konsepti içinde referansta bulunan yer noktalarından ne kadarının doğru tespit edildiğini ifade eder. Kullanıcı doğruluğu da benzer şekilde genel çalışma doğruluğu olarak da ifade edilmektedir. Yani model olarak bulunan tüm noktaların ne oranda referansa uyduğu ya da ne kadar benzediğini ifade eder. Kalite parametresi ise üretici ve kullanıcı doğruluğunu kullanarak çalışmanın genel performansına ilişkin bir oran vermektedir. Kısaca model ve referans noktalarının tamamını kullanarak doğru bulunan nokta sayısına oranıdır. Bu durumda modelin referans ile yüksek oranda eşleşmesi yetmez. Yüksek kalite için bunu yanı sıra modelde referansa

uymayan nokta sayısının da düşük olması gerekmektedir.

Çalışma sonucunda üretilen SAM ile Referans SAM arasında görüntü tabanlı yüzey karşılaştırmasında korelasyon katsayısı 0.978 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca rastgele seçilen 15 nokta ile düşey doğruluk değeri hesaplanmıştır. Buna göre hesaplanan Karesel Ortalama Hata değeri 11.1 cm olmuştur. Bu değer beklenenden yüksek çıkması YP değerinin yani modelde bulunan fakat referansta bulunmayan nokta sayısının daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

6. Sonuç

SAM birçok mühendislik projesi için altlık olarak kullanılan topografik bir üründür. LiDAR verisinden SAM üretiminde en önemli konu filtreleme işlemidir. Filtreleme işlemi karmaşık bir yapıya sahiptir. Özellikle ilgili alanda coğrafi ve morfolojik çeşitlilik fazla ise bu filtreleme işlemi daha da zorlaşmaktadır. Bu çalışmada LiDAR verisi, Cloth Simulation Filtering (CSF) algoritması kullanılarak filtrelenmiş ve SAM üretimi gerçekleştirilmiştir. Filtreleme sonucu elde edilen yer noktaları referans veri ile karşılaştırılarak filtrelemenin doğruluğuna ilişkin istatistik doğrulukları hesaplanmıştır. Buna göre şehir bölgesine ait bir LiDAR verisi filtrelenmesinde CSF algoritması %85 üretici doğruluğuna ulaşmıştır. Fakat kalite değeri olarak %62 de kalmıştır. Bu durum yer olamayan düşük objeleri de yer noktası olarak kabul etmesinden kaynaklanmaktadır. Referans ve üretilen SAM verileri arasındaki görüntü tabanlı benzerlik %97,8 iken yükseklik hatası 11 cm civarında bulunmuştur. CSF algoritmasına ilişkin elde edilen sonuçlar parametreye bağlıdır. Yani farklı kullanıcılarda, farklı veri setlerinde, farklı alanlarda ve farklı CT-CR değerlerinde sonuçlar değişim gösterebilir.

BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Çalışma verilerini sağlayan İstanbul Büyükşehir Belediyesi harita dairesine teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

- Abo Akel, N., Zilberstein, O. & Doytsher, Y. (2003). Automatic DTM extraction from dense raw LiDAR data in urban areas. In FIG Working Week, Austria, 22 September.
- Axelsson, P. (2000). DEM Generation from Laser Scanner Data Using adaptive TIN Models. In ISPRS Symposium, Amsterdam, 16 23 July, 110-117.
- Awrangjeb, M., Lu, G. & Fraser, C. S. (2014). Automatic building extraction from LiDAR data covering complex urban scenes. In ISPRS

- Technical Commission III Symposium, Zurich, 5 – 7 September, 25-32.
- Briese, C. (2010). Extraction of digital terrain models. In Vosselman, G. (Ed.), *Airborne and terrestrial laser scanning*, University of Technology, Vienna, 147-150.
- Ding, M., Lyngbaek, K. & Zakhor, A. (2008). Automatic registration of aerial imagery with untextured 3D LiDAR models. In *26th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Anchorage, USA, 23 June, 1-8.
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80: 185-201.
- Forlani, G. & Nardinocchi, C. (2007). Adaptive filtering of aerial laser scanning data. In *ISPRS Symposium*, Finland, 12 September, 130-35.
- Gerke, M. & Xiao, J. (2014). Fusion of airborne laserscanning point clouds and images for supervised and unsupervised scene classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 87: 78-92.
- Guan, H., Li, J. & Chapman, M.A. (2011). Urban thematic mapping by integrating LiDAR point cloud with colour imagery, *GEOMATICA*, 65(4): 375-385.
- Guo, Q., Li, W., Yu, H., & Alvarez, O. (2010). Effects of topographic variability and LiDAR sampling density on several DEM interpolation methods. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 76(6), 701-712.
- Kraus, K. & Pfeifer, N. (1998). Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 53: 193-203.
- Lin, C. & Nevatia, R. (1998). Building detection and description from a single intensity image. *Computer Vision and Image Understanding*, 72: 101-121.
- Mongus, D., Lukač, N., Obrul, D. & Žalik, B. (2013). Detection of planar points for building extraction from LiDAR data. In *ISPRS Conference*, Canada, 28 May, 21-26.
- Moussa, A. & El-Sheimy, N. (2012). A new object based method for automated extraction of urban objects from airborne sensors data. *ISPRS Congress*, Melbourne, 25 August, 309-314
- Müller, S. & Zaum, D. W. (2005). Robust building detection in aerial images. In *Proc. ISPRS Workshop*, Vienna, 29 August, 143-149.
- Rutzinger, M., Rottensteiner, F., & Pfeifer, N. (2009). A Comparison of evaluation techniques for building extraction from airborne laser scanning. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2: 11-20.
- Shufelt, J. A. (1999). Performance evaluation and analysis of monocular building extraction from aerial imagery. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 21: 311-326.
- Sithole, G. (2001). Filtering of laser altimetry data using a slope adaptive filter. In *ISPRS Symposium*, Annapolis, 24 October, 203-210
- Sithole, G. & Vosselman, G. (2004). Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59: 85-101.
- Song, W. & Haithcoat, T. L (2005). Development of comprehensive accuracy assessment indexes for building footprint extraction. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43: 402-404.
- Vosselman, G. (2000). Slope based filtering of laser altimetry data. In *ISPRS Symposium*, Amsterdam, 22 July, 678-684.
- Yang, B., Xu, W. & Dong, Z. (2013). Automated extraction of building outlines from airborne laser scanning point clouds. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 10: 1399-1403.
- Zhang, K., Chen, S. C., Whitman, D., Shyu, M. L., Yan, J. & Zhang, C. (2003). A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LiDAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41: 872-882.
- Zhang, W., Qi, J., Wan, P., Wang, H., Xie, D., Wang, X., & Yan, G. (2016). An easy-to-use airborne LiDAR data filtering method based on cloth simulation. *Remote Sensing*, 8: 501-511.
- Zhou, Y., Zhao, H., Chen, M., Tu, J. & Yan, L. (2018). Automatic detection of lunar craters based on DEM data with the terrain analysis method. *Planetary and Space Science*. Corrected Proof, <https://doi.org/10.1016/j.pss.2018.03.003>.