

## GEDI Uydu Tabanlı Lazer Altimetre Verisinin Arazi Yükseklik Tahmininin Araştırılması

\*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 25.08.2023

Kabul/Accepted: 08.01.2024

Yayımlandı/Published: 27.02.2024

### Investigation of Terrain Elevation Estimation of GEDI Spaceborne Laser Altimeter

Ömer Gökberk NARİN<sup>\*</sup>, Mustafa YILMAZ

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

#### Öz

Global Ecosystem Dynamics Investigate (GEDI), orman örtüsü, su seviyesi ve arazi yüksekliği tahmini gibi birçok alanda yeryüzünün gözlemlenmesi için kullanılan uzay kaynaklı bir lazer altimetre sistemidir. GEDI verileri, gözlem sırasında kullanılan sensör nedeniyle atmosferik etkilerden etkilenmektedir. Çalışmamızda Türkiye'nin batısında yer alan Afyonkarahisar ili sınırları içerisindeki 55 kontrol noktası ile GEDI noktası karşılaştırmıştır. Ayrıca çalışmada GEDI verisinin hassasiyetinin daha detaylı incelenmesi için "solar\_elevation" ve eğime göre karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma için doğruluk metriği olarak Karesel Ortalama Hata (KOH) kullanılmıştır. Sonuç olarak GEDI verisinin gece zamanlarında ve eğimin düşük olduğu alanlarda doğruluğunun arttığı görülmüştür. Çalışmamızda 55 nokta için arazi yüksekliği belirlemede GEDI verisi KOH'a göre 2.79 m, gece ve düşük eğimli 30 noktada ise 2.34 m başarı göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Uydu Altimetresi; GEDI; Arazi yüksekliği; GNSS

#### Abstract

Global Ecosystem Dynamics Investigate (GEDI) is a space-based laser altimeter system used for Earth observation in many areas such as forest cover, water level and land elevation estimation. GEDI data is affected by atmospheric effects due to the sensor used during the observation. In our study, 55 control points within GEDI points were compared in the borders of Afyonkarahisar province located in the west of Turkey. In addition, a comparison was made according to "solar\_elevation" and slope in order to examine the sensitivity of GEDI data in more detail. Root Mean Squared Error (RMSE) was used as the accuracy metric for comparison. As a result, it was observed that the accuracy of GEDI data increased at night and in areas with low slope. In our study, GEDI data showed a success of 2.79 m in determining the height of the land for 55 points, and 2.34 m at 30 points with low slope at night, according to RMSE

**Keywords:** Satellite Altimetry; GEDI; Terrain Height; GNSS

#### 1. Giriş

Arazi yüksekliği hakkında doğru bilgi geomatik, ziraat, jeoloji, maden vd. bilim dallarında büyük fayda sağlamaktadır. Bu sebeple arazi yüksekliği verisi oldukça önemlidir. Ancak arazi yüksekliği bakımından cm doğruluğunda veri toplamak hem maliyet hem de zaman açısından oldukça maliyetlidir. Her ne kadar gelişmiş ülkelerde yüksek doğrulukta sık veri bulunsa da Dünya'nın birçok bölgesinde nispeten düşük doğruluklu veriler kullanılmaktadır. Gelişen teknolojiler ile birlikte arazi yüksekliği ölçmeye yarayan uydu sistemleri tasarlanmıştır ve tasarlanmaya devam etmektedir. Özellikle 2003-2009 yılları arasında aktif şekilde tam dalga formu LiDAR algılayıcısıyla veri toplayan Ice, Cloud and Land Elevation Satellite/Geoscience Laser Altimeter System (ICESat/GLAS) yardımıyla birçok çalışma yapılmıştır (Enble *et al.* 2014, Chen 2010). Ancak ICESat/GLAS verisinin ayak izinin ~70 m olması birçok

çalışma için yetersiz çözünürlüğe sebep olmaktadır (Pang *et al.* 2011).

ICESat/GLAS uydusuna nispeten daha yeni bir uydu olan Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) 2018 yılı aralık ayında Uluslararası Uzay İstasyonuna (International Space Station – ISS) entegre edilmiştir. GEDI tam dalga formu LiDAR algılayıcı ile donatılmış olup 25 m ayak izine sahiptir (Dubayah *et al.* 2020). GEDI, arazi yüksekliği (Liu *et al.* 2021, Narin *et al.* 2023), orman yüksekliği (Vatandaşlar *et al.* 2023), orman biokütle (Dubayah *et al.* 2022), su seviyesi (Fayad *et al.* 2020) gibi birçok alanda çalışmalarda kullanılmaktadır.

GEDI sensörü bulutluluk, güneş ışınları ve eğim gibi topografik ya da hava durumuna bağlı etkenlerden etkilenmektedir (Dubayah *et al.* 2020). Narin *et al.* (2023) yılında yaptıkları çalışmada GEDI arazi yüksekliği tahmini için çoklu kriter stratejisi uygulamıştır.

Çalışmalarında yersel doğruluk olarak LiDAR verisinden üretilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanmışlardır. Sonuç olarak Karesel Ortalama Hata'nın (KOH) bulutsuz ve güneş yüksekliğinin düşük olduğu zamanlarda GEDI verisinin 5 m'den daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Huang *et al.* (2023) yoğun ormanlık alanlar (Kanopi kapallığı > %70) altında arazi yüksekliği tahmini yapmışlardır. Yersel doğruluk olarak LiDAR verisi kullanmışlardır. GEDI ayak izindeki ortalama yüksekliğinde doğruluğun KOH'a göre 6.08 m olduğunu belirtmişlerdir. Ngo *et al.* (2022) yılında Güney Amerika'da bulunan Paracou Tropikal Ormanlarında yaptığı çalışmada GEDI ve P-band TomoSAR verisini, LiDAR verisiyle arazi yüksekliği ve canopy yüksekliği bakımından karşılaştırmış. 417 GEDI verisi için arazi yüksekliği belirlemede doğruluğu KOH'a göre 4.47 m bulmuşlardır. Quiros *et al.* (2021) yılında İspanya'nın 10 farklı bölgesinde yaptıkları çalışmada KOH metriğine göre karşılaştırma yapmışlardır. LiDAR verisiyle GEDI verisi karşılaştırıldığında çalışma sonucunda 6.13 m doğruluğa ulaşmışlardır. Literatüre bakıldığında farklı bölge ve farklı arazi koşullarında GEDI verisinin arazi yüksekliği tahmininde farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. Biz çalışmamızda yersel doğruluk olarak LiDAR verisi yerine yüksek doğruluklu GNSS verisi kullandık. Ayrıca çalışma alanı seçiminde yersel ölçümlerde genel olarak arazi yüksekliği belirlemede zorluk yaşanan yüksek arazilerde GEDI verisinin doğruluğuna bakıldı.

## 2. Materyal ve Metot

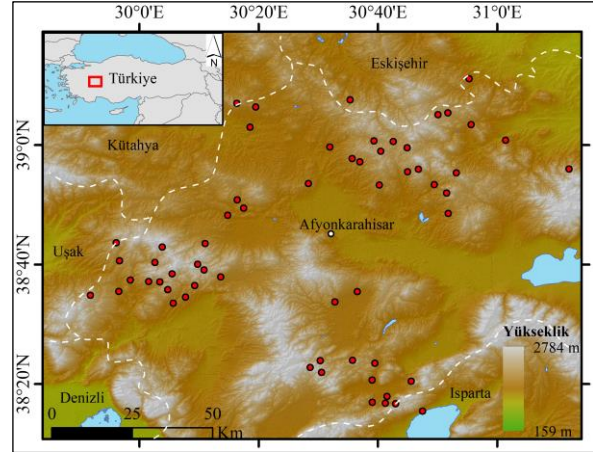
### 2.1 Çalışma alanı ve yer doğruluğu verisi

Çalışma alanı Türkiye'nin batısında Afyonkarahisar il sınırları seçilmiştir (Şekil 1). Yer doğruluğu noktaları çıplak arazi'de yer almaktadır. Kontrol edilen noktaların WGS84 elipsoidine göre en düşük yükseklik 1002.53 m, en yüksek yükseklik 1805.86 m, ortalama yükseklik ise 1355. 60 m. dir. Ayrıca en az eğim %0.98, en çok eğim %12.78 ortalama eğim ise %5 dir. Çalışma için, bölgede bulunan Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) noktaları ve Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmüş olan "Sayısal Kadastro" projesi kapsamında TUTGA noktalarına dayalı olarak statik GNSS gözlemleri ile üretilmiş C1, C2 ve C3 derece sıklaştırma noktaları kullanılmıştır. Çalışma kapsamında doğruluğu < 5 cm. olan toplam 55 adet nokta kullanılmıştır. Bu noktalar GEDI ayak izi içerisinde yer alacak şekilde seçilmiştir (Şekil 2).

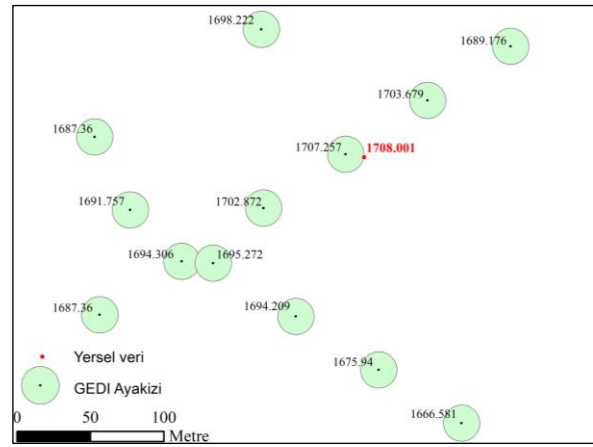
### 2.2 GEDI veri indirme ve filtreleme adımları

GEDI verileri uzaktan algılama verilerini ücretsiz şekilde indirilip, işlenmesine yardımcı olan Google Earth Engine

(GEE) bulut platformu yardımıyla indirilmiştir (İnt. Kyn. 1). Veriler indirilirken GEE katolugundan "GEDI L2A Raster Canopy Top Height (Version 2)" GEDI ürünü kullanılmıştır. GEDI verileri indirilirken herhangi bir zaman filtrelemesi kullanılmamış olup veri topladığı ilk günden itibaren tüm noktalar indirilmiştir. GEDI verisinden yükseklik bilgisi olarak "Elev\_lowestmode" kullanılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı gösterir harita. Kırmızı noktalar yer doğruluğu verilerini temsil etmektedir.



Şekil 2. GEDI ayak izi içerisinde bulunan örnek yer doğruluğu noktasını gösterir harita.

Elev\_lowestmode WGS84 elipsoidine göre GEDI tarafından üretilen arazi yüksekliğini temsil etmektedir. Veriler indirilirken "quality\_flag=1" olan noktalar seçilmiştir. Quality\_flag her bir GEDI verisi için yardımcı bilgi olarak verilmektedir. Eğer quality\_flag=1 ise kullanılabilir olduğuna quality\_flag=0 ise kullanılamaz veri olduğunu göstermektedir (Barbosa *et al.* 2022). Ayrıca GEDI verisinin sonuçları araştırılırken ölçümün gerçekleştiği zamanın sabah ya da gece olduğunu gösteren "solar\_elevation" bilgisine göre doğruluk araştırılmıştır. Solar\_elevation sıfırdan küçükse gece sıfırdan büyüğe gündüzü temsil etmektedir (Adam *et al.*

2020). Çalışma sonuçları değerlendirilirken giriş kısmında da örnek gösterilen birçok çalışmada olduğu gibi KOH doğruluk analizi kullanılmıştır (1).

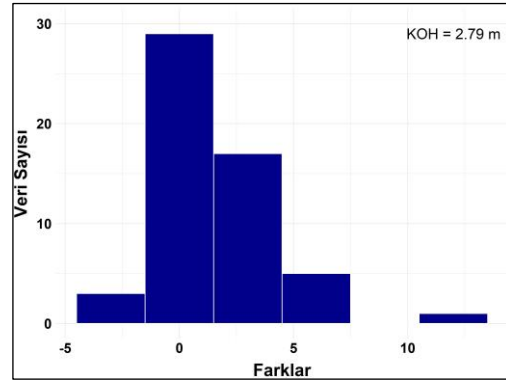
$$KOH = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i^{yrsl} - y_i^{GEDI})^2} \quad (1)$$

n toplam nokta sayısını,  $y_i^{yrsl}$  gerçek olarak kabul edilen yükseklik değerleri,  $y_i^{GEDI}$  GEDI verisine ait yükseklik değerlerini simgelemektedir.

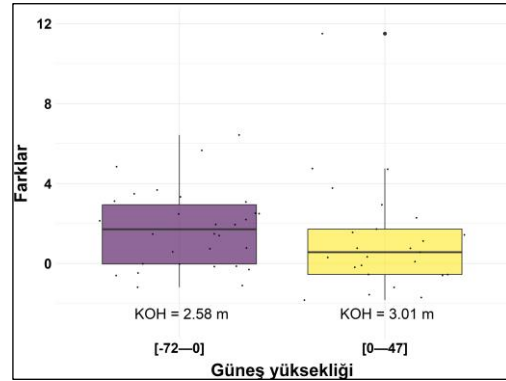
### 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmamızda öncelikle tüm noktaların doğruluğuna bakılmıştır. Yersel doğruluk verisi ile GEDI verisi arasındaki yükseklik farklarına bakıldığında en yüksek fark 11.50 m, en düşük fark -0.01 m'dir. 21 adet GEDI noktasında 1 m'nin altında tahmin etmiştir (Şekil 3). Bununla birlikte tüm noktalar için KOH 2.79 m'dir. Narin *et al.* (2023) çalışmalarında quality\_flag=1 parametresi seçildikten sonra O07933 yörünge isimli veride 1088 nokta için KOH'u 7.01 m olarak bulmuşlardır. Huang *et al.* (2023) kanopi kapallığı 70 ve 90 arasında 5 farklı kategori de GEDI doğruluğu KOH'a göre 4.28 m ile 12.92 m arasında değiştiğini bulmuşlardır. Çalışmamızda ki tüm noktalar için sonuç literatürdeki sonuçlardan daha iyi sonuç vermiştir. Bunun sebebi bizim çalışmamızda ki noktaların çıplak arazide olması sebeplerden birisi olabilir çünkü ormanlık alanlarda ya da şehir alanlarında zemin tespit etmek daha zordur (Huang *et al.* 2023). Çalışmamızda GEDI verisini detaylı şekilde incelemek için veriyi gündüz ve gece olarak iki kategoriye ayırdık (Şekil 4). GEDI verisinin 25 tanesi gündüz 30 tanesi gece ölçülmüştür. Çalışmamızda gece verisinin gündüz verisine göre biraz daha yüksek doğrulukta olduğu görülmüştür. Gündüz vakitlerinde güneş ışınlarından dolayı GEDI verisinde gürültüler artabilmektedir (Adam *et al.* 2020).

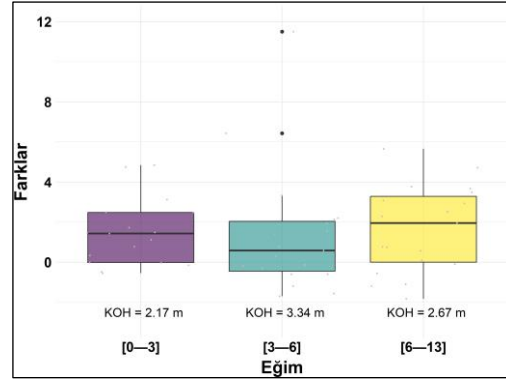
Ayrıca GEDI verisinin doğruluğunun eğim ile ilişkisine bakılmıştır. Çalışmada 3 farklı eğim grubu belirlenmiştir (Şekil 5). 0 ile 3 derece arasındaki eğim grubu KOH'a 2.17 m ile en iyi sonucu vermiştir. En kötü sonucu 3-6 derece arasındaki eğim grubu KOH'a göre 3.34 m ile vermiştir. Burada 3-6 derece arasında en kötü sonucu verme sebebi GEDI verisinin gündüz zamanlı alımlarına denk gelmesidir. Çünkü çalışmamızda en yüksek hata farkının bu kategoride kaldığı görülmüştür (Şekil 5). Çalışmamızda gece verisi ve 6 dereceden düşük eğimli veriler seçilmiştir (Şekil 6). Seçilen noktaların KOH'a göre doğruluğu 2.34 m'dir.



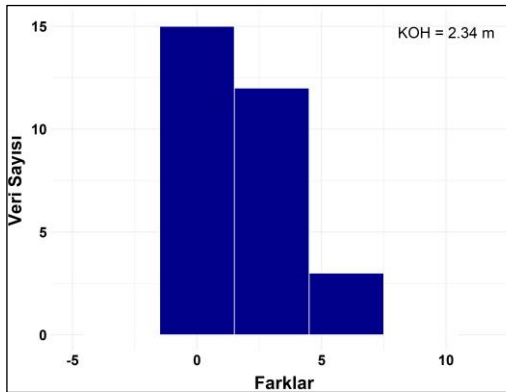
Şekil 3. GEDI verisi'nin hata dağılım grafiği



Şekil 4. GEDI verisinin güneş yüksekliğine göre çizilmiş boxplot grafiği.



Şekil 5. GEDI verisinin güneş yüksekliğine göre çizilmiş boxplot grafiği.



Şekil 6. Filtrelenmiş GEDI verisine ait hata dağılım grafiği.

#### 4. Sonuç

GEDI uydu altimetre sistemi arazi yüksekliği tahmini için önemli bir veri kaynağıdır. Her ne kadar GEDI verisi atmosferik ve topolojik unsurlardan etkilense de birçok çalışmada başarısı gösterilmiştir. Biz de çalışmamızda GEDI verisinin arazi yüksekliği belirlemedeki doğruluğunu hassas yer doğruluğu verisi ile karşılaştırdık. Çalışmanın sonucunda GEDI verisinin KOH'a göre 2.34 m doğruluğa ulaştığı görülmüştür. GEDI verisinde filtreleme işlemi yapıldıktan sonra kullanılması gerekliliği sonucuna varılmıştır ve GEDI verisinin çıplak arazide eğimi düşük alanlarda ve gece ölçümlerinde başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

#### Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

#### Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Araştırma, Görselleştirme, Yazma-rijinal taslak, GEDI verilerinin indirilmesi, Analizler

Yazar 2: Yer doğruluğu verisi temini, Analizler, Sonuçların yorumlanması, Genel yazım kontrolü

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

#### Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

#### 5. Kaynaklar

Adam, M., Urbazaev, M., Dubois, C., and Schmillius, C. 2020. Accuracy assessment of GEDI terrain elevation and canopy height estimates in European temperate forests: Influence of environmental and acquisition parameters. *Remote Sensing*, **12(23)**, 3948. <https://doi.org/10.3390/rs12233948>

Enßle, F., Heinzel, J., and Koch, B. 2014. Accuracy of vegetation height and terrain elevation derived from ICESat/GLAS in forested areas. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, **31**, 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.02.009>

Barbosa, F. L. R., Guimarães, R. F., de Carvalho Júnior, O. A., Gomes, R. A. T., de Carvalho, O. L. F., and de Lima, T. P. M. 2022. Estimating the Optimal Threshold for Accuracy Assessment of the Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) Data in a Gentle Relief Urban Area. *Remote Sensing*, **14(15)**, 3540. <https://doi.org/10.3390/rs14153540>

Chen, Q. 2010. Assessment of terrain elevation derived from satellite laser altimetry over mountainous forest areas using airborne lidar data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **65(1)**, 111-122.

<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.09.004>

Dubayah, R., Blair, J. B., Goetz, S., Fatoyinbo, L., Hansen, M., Healey, S., ... and Silva, C. 2020. The Global Ecosystem Dynamics Investigation: High-resolution laser ranging of the Earth's forests and topography. *Science of remote sensing*, **1**, 100002.

<https://doi.org/10.1016/j.srs.2020.100002>

Dubayah, R., Armston, J., Healey, S. P., Bruening, J. M., Patterson, P. L., Kellner, J. R., ... and Luthcke, S. 2022. GEDI launches a new era of biomass inference from space. *Environmental Research Letters*, **17(9)**, 095001.

<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac8694>

Fayad, I., Baghdadi, N., Bailly, J. S., Frappart, F., and Zribi, M. 2020. Analysis of GEDI elevation data accuracy for inland waterbodies altimetry. *Remote Sensing*, **12(17)**, 2714.

<https://doi.org/10.3390/rs12172714>

Huang, J., Xia, T., Shuai, Y., and Zhu, H. 2023. Assessing the performance of GEDI LiDAR data for estimating terrain in densely forested areas. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, **20**, 1-5.

<https://doi.org/10.1109/LGRS.2023.3306875>

Liu, A., Cheng, X., and Chen, Z. 2021. Performance evaluation of GEDI and ICESat-2 laser altimeter data for terrain and canopy height retrievals. *Remote Sensing of Environment*, **264**, 112571.

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112571>

Narin, O. G., Lindenbergh, R., and Abdikan, S. 2023. Multi-Criteria Strategy for Estimating GEDI Terrain Height. In 2023 10th International Conference on Recent Advances in Air and Space Technologies (RAST2023), 7-9 June 2023, National Defence University, İstanbul.

<https://doi.org/10.1109/RAST57548.2023.10197988>

Ngo, Y. N., Huang, Y., Minh, D. H. T., Ferro-Famil, L., Fayad, I., and Baghdadi, N. 2022. Tropical forest vertical structure characterization: From GEDI to P-band SAR tomography. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, **19**, 1-5.

<https://doi.org/10.1109/LGRS.2022.3208744>

Pang, Y., Lefsky, M., Sun, G., and Ranson, J. 2011. Impact of footprint diameter and off-nadir pointing on the precision of canopy height estimates from spaceborne lidar. *Remote Sensing of Environment*, **115(11)**, 2798-2809.

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.08.025>

Quiros, E., Polo, M. E., and Frago-Campón, L. 2021. GEDI elevation accuracy assessment: a case study of southwest Spain. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **14**, 5285-5299.

<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3080711>

Vatandaşlar, C., Narin, O. G., and Abdikan, S. 2023. Retrieval of forest height information using spaceborne LiDAR data: a comparison of GEDI and ICESat-2 missions for Crimean pine (*Pinus nigra*) stands. *Trees*, **37(3)**, 717-731.  
<https://doi.org/10.1007/s00468-022-02378-x>

***İnternet Kaynakları***

1- <https://earthengine.google.com/>, (04.09.2023)