

# ICESAT-2 LIDAR ALTİMETRE VERİLERİ VE BİNA AYAK İZLERİ İLE 6 ŞUBAT 2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİNDE YIKILAN BİNA YÜKSEKLİKLERİNİN OTOMATİK TESPİTİ: ANTAKYA ÖRNEĞİ

Yunus KAYA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arş. Gör. Dr., Harran Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 63290, Haliliye, Şanlıurfa, yunuskaya@harran.edu.tr

## ÖZET

Bina yüksekliklerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi birçok nedenden dolayı önemlidir. Kent planlamasından enerji tüketiminin yönetilmesine, şehir nüfus planlamasından yıkılan binaların tespitine kadar birçok çalışmada bina yüksekliğinin bilinmesi avantaj sağlamaktadır. 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen ve 11 ili etkileyen Kahramanmaraş depremleri ülkemizdeki ve dünyadaki en şiddetli depremlerden biridir ve geniş bir coğrafyada yıkıma sebep olmuştur. Depremde 11 ilde toplamda 500 binden fazla bina yıkılmıştır veya ağır hasar almıştır. Depremde yıkılan binaların boyutları ise değişiklik göstermektedir. Deprem geride bıraktığı hasarı etkileyecek faktörlerden birisi de bina yükseklikleridir. Bina yüksekliğine bağlı olarak bina içinde ikamet eden insan sayısı artmakta ve bu da ölü ve yaralı sayılarını artırmaktadır. Ayrıca bina yüksekliği ne kadar fazlaysa enkaz arama ve kurtarma çalışmaları da bir o kadar zor olmaktadır. Bina yüksekliklerinin daha önceden bilinmesi durumunda bu bilgiler arama kurtarma ve enkazın etkilerini tespit etme amacıyla kullanılabilir. Ancak bina yüksekliklerinin önceden bilinmemesi veya deprem, yangın vb. durumlarda bu bilgilere ulaşılmaması durumunda bu bilgilerin daha sonra elde edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Hatay'ın Antakya ilçesinde deprem kaynaklı yıkılan binaları tespit etmek için Google Earth Pro arşiv görüntüleri ve Buz, Bulut ve Kara Yüksekliği Uydusu-2 (Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite-2-ICESat-2) altimetre verileri kullanılmıştır. Depremde yıkılan binaların sınırları ücretsiz bir şekilde paylaşılan yüksek çözünürlüklü Google Earth Pro görüntülerinden belirlenmiştir. 2018 yılında faaliyete geçen ICESat-2 verilerinden ise yıkılan binalara ve bina çevresindeki yollara ilişkin yükseklik bilgisi belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda Hatay'ın Antakya ilçesindeki 1758 adet binanın yüksekliği 0,47 m Kök Ortalama Kare Hatası (Root Mean Squared Error - RMSE) ve 0,38 m Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error - MAE) ile belirlenmiştir. Bu çalışma lidar altimetre verilerinin geçmişe yönelik yıkılan bina yüksekliklerini belirlemede başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Sözcükler:** altimetre, bina yüksekliği, deprem, ICESat-2

## ABSTRACT

### AUTOMATIC DETECTION OF COLLAPSED BUILDING HEIGHTS IN THE FEBRUARY 6, 2023, KAHRAMANMARAŞ EARTHQUAKES USING ICESAT-2 LIDAR ALTIMETER DATA AND BUILDING FOOTPRINTS: THE CASE OF ANTAKYA

Accurate estimation of building heights is important for several reasons. From urban planning to managing energy consumption, from urban population planning to detecting collapsed buildings, knowing the building height is advantageous in various studies. The February 6, 2023 earthquake in Kahramanmaraş, which affected 11 provinces, is one of the strongest earthquakes in our country and in the world and caused destruction in a wide region. In total, more than five hundred thousand buildings in 11 provinces were destroyed or severely damaged in the earthquake. The heights of the buildings destroyed in the earthquake are various. One of the factors that will affect the damage of the earthquake is the height of the building. Depending on the height of the building, the number of people residing in the building increases and this increases the number of dead and injured. In addition, the higher the building height, the more difficult the debris search and rescue operations are. If building heights are known in advance, this information can be used for search and rescue and to determine the effects of debris. However, if the building heights are not known in advance or if this information is not available in case of earthquake, fire, etc., this information must be obtained later.

In this study, Google Earth Pro archive imagery and Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite-2 (ICESat-2) altimeter data were used to identify buildings destroyed by earthquakes in Antakya, Hatay. The boundaries of the buildings collapsed in the earthquake were determined from freely available high-resolution Google Earth Pro images. From ICESat-2 data, which became operational in 2018, height information about the collapsed buildings and the roads around the buildings was determined.

As a result of the study, the height of 1758 buildings in Antakya district of Hatay was determined with a Root Mean Squared Error (RMSE) of 0.47 m and a Mean Absolute Error (MAE) of 0.38 m. This study shows that lidar altimeter data can be successfully used to determine the heights of collapsed buildings in the past.

**Keywords:** altimeter, building height, earthquake, ICESat-2

## 1. GİRİŞ

Depremler, yıkıcı etkileri ile doğal afetler arasında en fazla can ve mal kaybına neden olan olaylar arasında yer almaktadır. Özellikle 6 Şubat 2023 tarihinde Türkiye'nin Kahramanmaraş ilinde meydana gelen depremler, büyük yıkıma neden olmuş, on binlerce bina deprem anında veya hemen sonrasında çökmüştür. Çok sayıda bina ise ağır hasar almıştır. Deprem sonrası hızlı hasar tespiti, kurtarma ve yeniden inşaa süreçlerinde kritik bir rol oynamaktadır. Geleneksel hasar tespit yöntemleri, saha incelemeleri ve fiziksel ölçümler gerektirdiği için büyük ölçekli yıkım bölgelerinde bu yöntemler oldukça zaman alıcı ve verimsizdir (Agbaje vd., 2024). Son yıllarda uzaktan algılama teknolojilerinin afet yönetiminde kullanımı, felaket sonrası hızlı ve doğru bilgi sağlamada büyük kolaylık sağlamıştır (Al-Omari vd., 2024). Uzaktan algılama yöntemleriyle, binaların hasar durumu kısa sürede geniş bölgelerde tespit edilerek, müdahale ekiplerinin en fazla etkilenen bölgelere yönlendirilmesi mümkün hale gelmiştir (Hoque vd., 2017; Rezvani vd., 2023).

Bina yüksekliği, deprem sonrası hasar değerlendirme çalışmalarında temel bir parametredir. Bina yüksekliği, yapıların depreme karşı dayanıklılığını değerlendirmek ve kentsel dayanıklılığı ölçmek için kritik bir rol oynamaktadır (Barranquero vd., 2023). Bina yüksekliklerinin belirlenmesi için geleneksel olarak kadastral verileri, 3D CityGML (Üç Boyutlu Şehir Coğrafyası İşaretleme Dili) modelleri ve OpenStreetMap (OSM) gibi açık veri platformları kullanılmaktadır (Colucci vd., 2020). Bununla birlikte, bu veriler genellikle güncellenmediği ve özellikle afet durumlarında hasarlı veya yıkılmış binaların yüksekliklerini belirlemede yetersiz kaldığı için modern veri toplama yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Light Detection and Ranging (LiDAR) teknolojisi, bina yüksekliği ve morfolojisinin tespiti için en yaygın kullanılan modern tekniklerden biridir. LiDAR, lazer ışınlarını kullanarak hassas yüksek çözünürlüklü veri elde etmede öne çıkmaktadır (Stilla ve Xu, 2023). Bunun yanı sıra, GPS ölçümleri ve elektronik uzaklık ölçerler gibi klasik yöntemler de bina yüksekliği belirlemede kullanılmaktadır. Ancak bu sistemlerin uygulama zorluğu ve yüksek maliyet ve iş yükü gibi dezavantajları bulunmaktadır (Cao ve Huang, 2021).

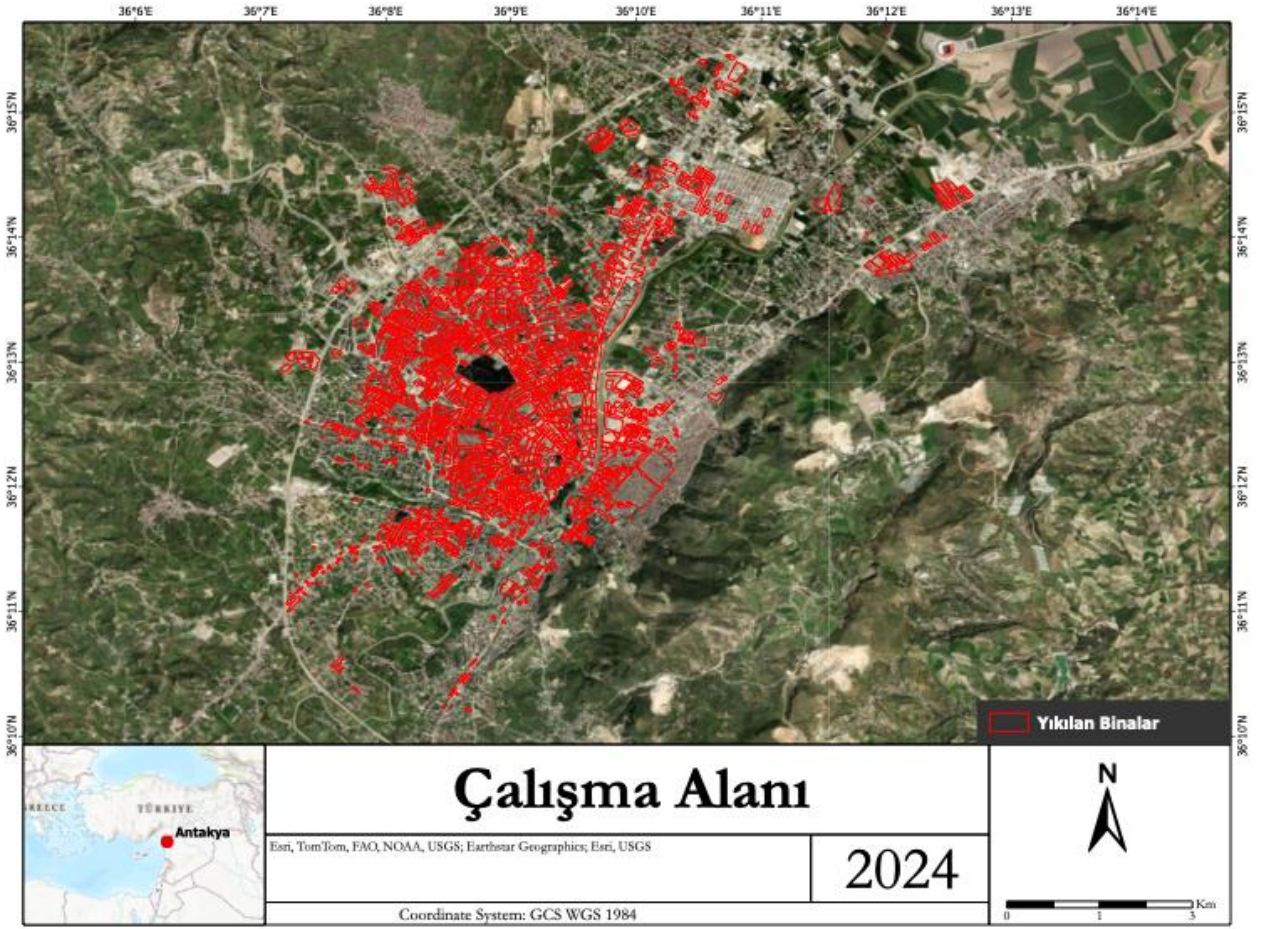
Günümüzde, uzaktan algılama ve özellikle uydu tabanlı altimetre sistemleri bina yüksekliği tespitinde önemli bilgiler sunmaktadır. NASA'nın geliştirdiği ICESat-2, bu alandaki en gelişmiş teknolojilerden biridir ve lazer foton sayım teknolojisi ile yer yüzeyinde yüksek doğrulukta ölçümler yapmaktadır (Markus vd., 2017). ICESat-2'nin Gelişmiş Topografik Lazer Altimetre Sistemi (ATLAS), lazer ışınlarının yeryüzünden yansıma süresini ölçerek yer yüzeyindeki nesnelerin ve yapıların yüksekliğini belirler (Neumann vd., 2021). ICESat-2'nin en büyük avantajlarından biri, geniş coğrafi alanlarda hızlı ve yüksek doğrulukta veri sağlayarak, geleneksel yöntemlere göre daha etkili sonuçlar sunmasıdır (Zhao vd., 2021; Wu vd., 2023). Ayrıca, bu sistemin lazer foton sayımı teknolojisi, özellikle karmaşık kentsel yapılar ve yüksek binaların tespit edilmesini sağlar (Huang vd., 2024). Bu tür teknolojiler, afet sonrası geniş alanlarda bina yüksekliği ve yapısal tahribat tespitinde önemli katkılar sağlamaktadır (Goud ve Bhardwaj, 2021; Le Quilleuc vd., 2021).

Bu çalışma, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında yıkılan binaların yüksekliklerinin ICESat-2 LiDAR verileri ile otomatik olarak tespit edilmesine odaklanmaktadır. Bu tür büyük ölçekli depremler sonrası bina yüksekliklerinin hızlı ve doğru bir şekilde belirlenmesi, hasar tespiti, yeniden inşaa süreçleri ve gelecekteki afetlere karşı alınacak önlemler için hayati bir öneme sahiptir (Yamazaki ve Matsuoka, 2007). Daha önce yapılan çalışmalar, ICESat-2'nin bina yüksekliği tespitinde etkin olduğunu göstermiştir (Neumann et al., 2021). Ancak, bu çalışma ICESat-2 verilerinin, bina ayak izleriyle entegre ederek deprem sonrası yıkılan binaların yüksekliklerinin otomatik çıkarılmasına yönelik bir metodoloji sunmaktadır. Bu yöntem, geniş alanlarda hızlı ve güvenilir veri toplama imkanı sağlayarak, geleneksel hasar tespit yöntemlerine kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır. Özellikle Antakya gibi büyük yıkım yaşanmış bölgelerde bu yöntem, bina yüksekliği tespiti ve afet yönetimi süreçlerinde önemli bir referans olması beklenmektedir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada, çalışma alanı olarak Hatay ilinin Antakya ilçesi tercih edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı

Antakya, Türkiye'nin güneyinde yer alan ve tarih boyunca önemli bir yerleşim merkezi olmuş bir şehir olarak, yerel coğrafi özellikleri ve deprem riski açısından büyük önem taşımaktadır. Şehir, aktif fay hatlarına yakınlığı nedeniyle sık sık depremlerle karşı karşıya kalmıştır. Özellikle, 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş merkezli depremler sonucunda Antakya'da ciddi yıkımlar meydana gelmiştir. Bu depremler, şehirdeki yapı stoğu ve zemin özelliklerinin yetersizliğini gözler önüne sermiştir (Bulut vd., 2012; Khan, 2024). Antakya'nın jeolojik yapısının ve şehirleşme dinamiklerinin deprem riskine olan etkileri, bu çalışmanın odağında yer almaktadır.

Antakya, Amik Ovası'nın kenarında ve Nur Dağları'nın güney yamaçlarında konumlanmış olup, bölgenin aktif fay hatları üzerinde bulunması nedeniyle yüksek bir deprem riski taşımaktadır (Över vd., 2023). Türkiye'nin en aktif fay hatlarından biri olan Doğu Anadolu Fay Hattı, Antakya'ya oldukça yakındır ve bu fay hattı boyunca meydana gelen hareketler, bölgedeki büyük depremlerden sorumludur (Özkan vd., 2023). Şehir, hem depremsellik açısından yüksek risk taşıyan bir bölgede yer almakta hem de tarihsel süreçte birçok yıkıcı depreme maruz kalmıştır. M.S. 115, M.S. 526, 1822, ve 1872 depremleri gibi olaylar, Antakya'nın deprem tarihinin uzun olduğunu göstermektedir (Azarak, 2023; Eppelbaum vd., 2024). Bu tarihsel geçmiş, kentsel planlama ve yapılaşmada dikkate alınması gereken önemli bir veri kaynağıdır.

Antakya'daki yapı stoğunun önemli bir kısmı, modern deprem yönetmeliklerine uygun olarak inşa edilmemiştir ve bu durum, deprem riskini artırmaktadır. Ayrıca, şehrin zemin yapısı da bu riski daha da büyütülmektedir. Antakya, alüvyon bir zemin üzerinde kurulmuş olup, bu tür zeminler, deprem dalgalarını daha fazla büyütürken yıkıcı etkilere neden olabilmektedir (Hussain vd., 2023). Zemin yapısının bu özellikleri, şehirde meydana gelen yıkımların birincil nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Alüvyonlu zemin, yüksek yeraltı su seviyeleri ve gevşek zemin tabakaları ile birleştiğinde, yapıların deprem yüklerine karşı direncini ciddi şekilde azaltmaktadır.

Bunun yanı sıra, şehirleşme dinamikleri de deprem riskini artırmaktadır. Antakya'da plansız şehirleşme, yüksek yapı yoğunluğu ve yetersiz altyapı gibi sorunlar, depreme dayanıklı bir kentsel doku oluşturulmasını zorlaştırmıştır. Özellikle düzensiz yapılaşma ve sıkışık yerleşim alanları, binaların birbirine olan mesafesini azalttığı için deprem sırasında yıkıcı etkileri büyütülmektedir (Göver, 2023). Buna ek olarak, şehrin tarihi ve kültürel dokusu korunmaya

çalışılırken, modern yapılaşma gerekliliklerinin göz ardı edilmesi, depreme karşı zafiyet yaratmaktadır. Antakya'nın yer özellikleri, deprem riski ve şehirleşme sorunları bir arada değerlendirildiğinde, bölgenin depremlere karşı son derece savunmasız olduğu anlaşılmaktadır.

## 2.2. Materyal

### 2.2.1. Google Earth Pro Uydu Görüntüleri

Bu çalışmada, depremde yıkılmış binaların tespiti için Google Earth Pro yazılımı kullanılmıştır. Google Earth Pro, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerini kullanıcıların erişimine sunarak, geniş ölçekli coğrafi analizlerin yapılabilmesine olanak tanımaktadır (Velastegui-Montoya vd., 2023). Google Earth Pro, ticari amaçlı ve ücretsiz paylaşılan uydu görüntülerini birlikte kullanarak yüksek çözünürlüklü bir görüntü arşivi sunmaktadır. Ayrıca Google Earth Pro'nun sunduğu görüntüler, zamansal katmanlar şeklinde ulaşılabilir olduğu için zamansal değişimleri izlemek de mümkün olmaktadır. Bu sayede herhangi bir bölgede zaman içerisinde olan değişimler analiz edilebilmektedir. Google Earth Pro görüntüleri, kent planlama, değişim analizi ve afet yönetimi gibi alanlarda önemli bir veri kaynağıdır (Iheaturu vd., 2024; Pande vd., 2024). Deprem bölgesinde meydana gelen yıkımı analiz etmek için deprem öncesi ve deprem sonrası görüntüler incelenmiştir ve yıkılan binaların sınırları manuel olarak belirlenmiştir.

### 2.2.2. ICESat-2 Uydu Altimetresi Verileri

ICESat-2 (Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite-2), NASA tarafından 2018 yılında başlatılan ve lazer altimetresi kullanarak dünya yüzeyinin yüksekliğini yüksek doğrulukla ölçen bir uydu sistemidir (Markus et al., 2017). ICESat-2, özellikle küresel buzulları, deniz buzu kalınlığını, orman örtüsünü ve kara alanlarındaki yüzey yüksekliğini ölçmek üzere tasarlanmıştır. Ancak, şehirsiz ortamlarda bina yüksekliklerinin belirlenmesi ve yapı analizlerinde de giderek daha fazla kullanılmaktadır (Feng vd., 2023).

ICESat-2, Advanced Topographic Laser Altimeter System (ATLAS) adlı bir lazer altimetre kullanır. Bu sistem, lazer darbeleri göndererek yer yüzeyine çarptıktan sonra geri yansıyan ışığın varış süresini ölçerek yüksekliği hesaplar (Neumann et al., 2021). Bu veriler, 0.5 cm'ye kadar doğrulukla toplanmakta olup, her bir lazer pulsundan yaklaşık 10,000 foton kaydedilebilir. ICESat-2'nin temel veri yapısı, noktanın konumu ve yüksekliğini kaydetmektedir. Her fotonun yansıdığı yüzeyin özellikleri ve noktanın elipsoidal yüksekliği kaydedilir. Ayrıca fotonun yeryüzüne düştüğü yerin enlem ve boylam bilgileri de kaydedilerek noktanın koordinat parametreleri tamamlanır.

Şehir alanlarında bulunan yansıtıcı yüzeylerin etkisini en aza indirmek için lazer kalitesi filtrelemesi kullanılmaktadır. Bu sayede yalnızca yüksek kaliteli fotonlar değerlendirmeye alınarak bina yükseklikleri daha hassas bir şekilde belirlenebilmektedir.

## 2.3. Yöntem

Bu çalışmada, depremden etkilenen binaların ayak izlerini belirlemek amacıyla Google Earth Pro arşiv görüntüleri kullanılmıştır. Depremden önceki ve sonraki görüntüler birlikte değerlendirilerek yıkılan binaların sınırları tespit edilmiştir.

Yıkılan binaların yüksekliklerini tespit etmek için ICESat-2 ATL03 veri seti kullanılmıştır. ATL03 verileri .h5 (HDF) formatında indirilmiştir. ATL03 veri seti her foton için iki farklı güven parametresi sağlamaktadır. Foton sinyal güveni (signal\_conf\_ph) 5 farklı yüzeyden (kara, okyanus, deniz buzu, kara buzu ve iç su kütlesi) yansıyan fotonları 7 farklı güven düzeyinde (-2, -1, 0, 1, 2, 3, 4) sunmaktadır. -2 ve -1 etiketleri yüzeye ilişkisi olmayan fotonları, 0 ve 1 etiketleri ise gürültüyü temsil etmektedir. 2, 3 ve 4 sırasıyla düşük, orta ve yüksek güven sinyalini temsil etmektedir. Foton kalitesi (quality\_ph) ise sinyalin kalitesini düşükten yükseğe sıralayan 4 farklı etiket (0, 1, 2 ve 3) sunmaktadır. Bu çalışmada arazi yüzeyinden yansıyan quality\_ph = 0 ve signal\_conf\_ph = 4 etiketli fotonlar tercih edilmiştir. Bu şekilde bina yükseklikleri için en yüksek güvenilirliğe sahip fotonlar kullanılmıştır.

Bina yüksekliklerini belirlemek için bina ayak izleri ve ICESat-2 fotonları eşleştirilmiştir. Bina sınırları içerisinde kalan fotonlar bina fotonu, diğerleri ise zemin fotonu olarak işaretlenmiştir (Şekil 2). Bina fotonları içindeki aykırı değerleri elimine etmek için çeyrekler açıklığı (IQR) yöntemi kullanılmıştır. Birinci ve üçüncü çeyrekler arasındaki farkın 1,5 katının dışındaki tüm fotonlar temizlenmiştir. IQR yönteminin uygulanmasında Eşitlik 1, 2 ve 3 kullanılmıştır.

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (1)$$

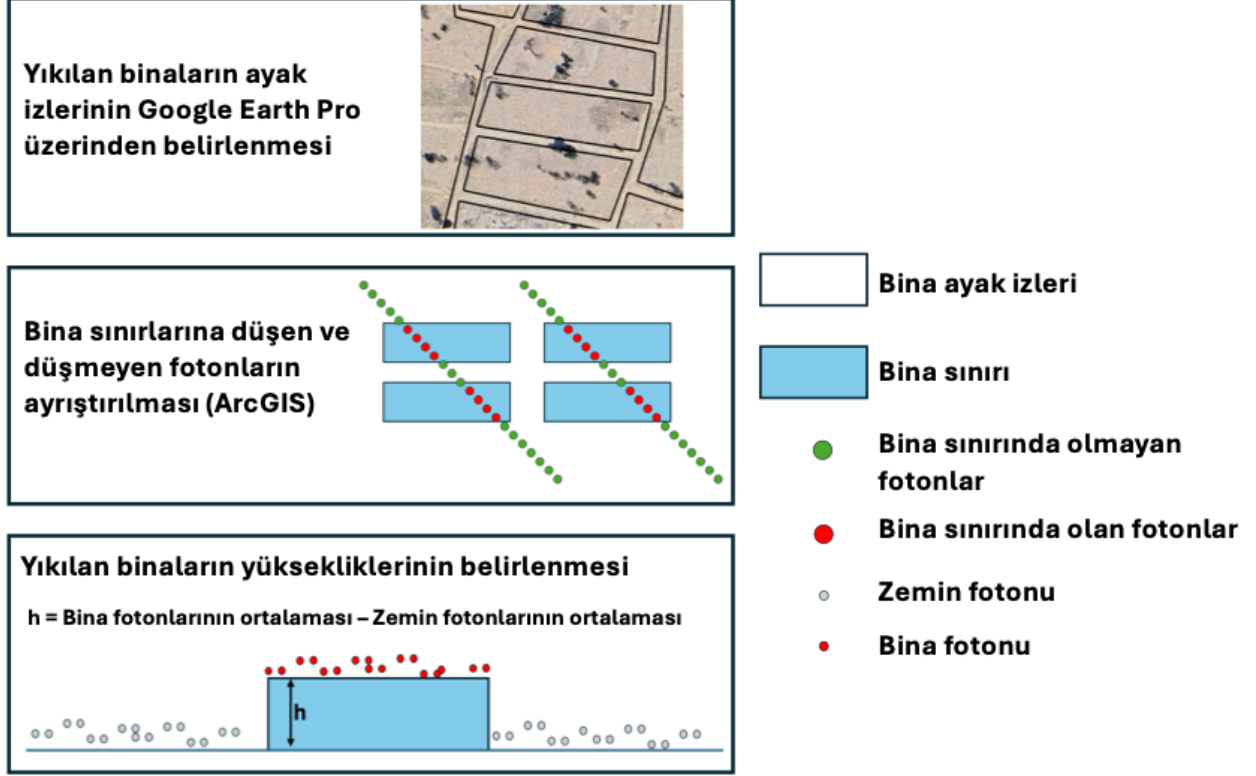
$$Outliers < Q_1 - 1,5 * IQR \quad (2)$$

$$Outliers > Q_3 + 1,5 * IQR$$

(3)

$Q_1$  ve  $Q_3$ , birinci ve üçüncü çeyreklikleri temsil etmektedir.

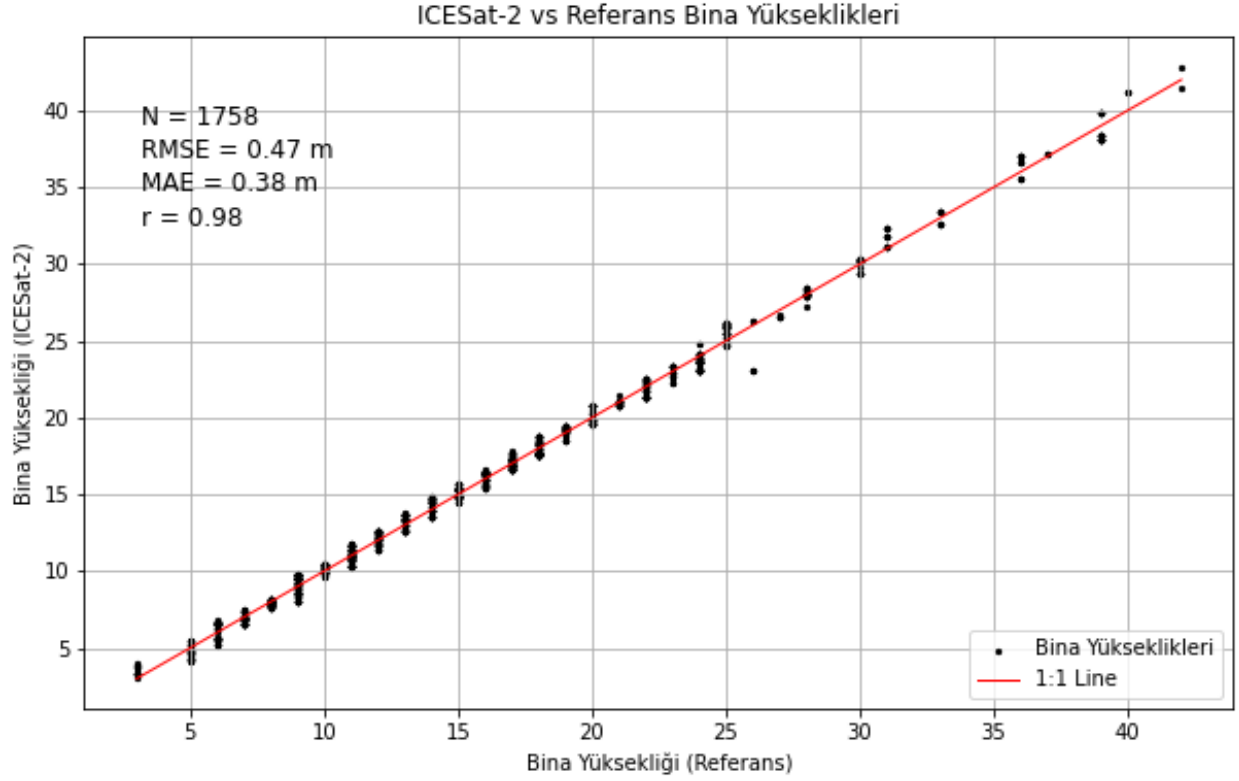
Aykırı değerler elimine edildikten sonra bina fotonlarının ortalamasından zemin fotonlarının ortalaması çıkarılarak bina yükseklikleri elde edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. İş akışı

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada ICESat-2 uydu altimetre verileri kullanılarak Antakya kentinde depremde yıkılan binaların yükseklikleri tahmin edilmiştir. Sonuçlar Google Earth görüntülerinden manuel olarak hesaplanan referans bina yükseklikleriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 3). Referans bina yükseklikleri, binanın kat adedi, altında dükkân veya işyeri olup olmaması ve bina çatısının olup olmaması kriterlerini göz önüne alarak ortalama değerler üzerinden matematiksel olarak belirlenmiştir. Sonuçlar Antakya kentinde yıkılan binaların yüksekliklerinin 0,47 m RMSE ve 0,38 m MAE ile tahmin edildiğini göstermektedir.



Şekil 3. Bina yüksekliği tahmininin doğrulukları

Şekil 3 incelendiğinde bina yüksekliklerine bağlı olarak bina hata miktarlarının değiştiği görülmektedir. Bina yüksekliğinin artmasıyla birlikte hatalar da daha düzensiz dağılmaya eğilimlidir. Bunun sebebi bina çatılarına düşen fotonlar ile binanın düşey yüzeyine çarpan fotonlardan iyi bir şekilde ayırlamaması olabilir. Ayrıca yüksek binaların arasına denk gelen fotonların geri dönme miktarı nispeten daha azdır. Bu da veri yoğunluğunu değiştirerek sonuçları olumsuz yönde etkileyebilmektedir. En büyük hata kaynağı ise çalışma alanının şehir merkezi olduğu için büyük miktarda sinyal yansıtıcı yüzeye sahip olmasıdır. Yansıtıcı yüzeyler uyduya geri dönen fotonların kalitesini etkilemekte veya hiç dönmemesine sebep olmaktadır.

Bu çalışma deprem bölgelerinde uydu altimetre verilerinin kullanılabilirliğini araştırmaktadır. Şehir alanlarının yansıtıcı yüzeyleri binaların yüksekliklerini belirlemede önemli bir kısıtlamadır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan referans verileri manuel olarak ve ortalama bina yüksekliği parametreleri kullanılarak hesaplanmıştır. Yine de önerilen yöntem depremin ardından bir şehirde meydana gelen hasarı hızlı bir şekilde tespit etmek için etkili bir yöntemdir. Gelecek çalışmalarda depremin etkilediği tüm illeri içeren ve daha hassas elde edilen bir referans verisiyle kıyaslama yapılması planlanmaktadır. Ayrıca veri yoğunluğunu artırmak için ICESat-2 verileriyle birlikte Küresel Ekosistem Dinamikleri Araştırması (Global Ecosystem Dynamics Investigation-GEDI) verilerinin de incelenmesi planlanmaktadır.

## KAYNAKLAR

Agbaje, T. H., Abomaye-Nimenibo, N., Ezeh, C. J., Bello, A. ve Olorunnishola, A., 2024. Building Damage Assessment in Aftermath of Disaster Events by Leveraging Geoai (Geospatial Artificial Intelligence). *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 2024, 23(01): 667–687.

Al-Omari, A. A., Shatnawi, N. N., Shbeeb, N. I., Istrati, D., Lagaros, N. D. ve Abdalla, K. M., 2024. Utilizing Remote Sensing and GIS Techniques for Flood Hazard Mapping and Risk Assessment. *Civil Engineering Journal*, 10(5): 1423-1436.

Azarak, L. U., 2023. Tarihin İzdüşümünde Antakya (Antiocheia) Kentinin Depremselliği. *Vakanüvis-Uluslararası Tarih Araştırmaları Dergisi*, 8(Sp. Issue): 3210-3228.

Barranquero, M., Olmedo, A., Gómez, J., Tayebi, A., Hellín, C. J. ve Saez de Adana, F., 2023. Automatic 3D building reconstruction from OpenStreetMap and LiDAR using convolutional neural networks. *Sensors*, 23(5): 2444.

- Bulut, F., Bohnhoff, M., Eken, T., Janssen, C., Kılıç, T. ve Dresen, G.,** 2012. The East Anatolian Fault Zone: Seismotectonic setting and spatiotemporal characteristics of seismicity based on precise earthquake locations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B7).
- Cao, Y. ve Huang, X.,** 2021. A deep learning method for building height estimation using high-resolution multi-view imagery over urban areas: A case study of 42 Chinese cities. *Remote Sensing of Environment*, 264: 112590.
- Colucci, E., De Ruvo, V., Lingua, A., Matrone, F. ve Rizzo, G.,** 2020. HBIM-GIS integration: From IFC to cityGML standard for damaged cultural heritage in a multiscale 3D GIS. *Applied Sciences*, 10(4): 1356.
- Eppelbaum, L., Katz, Y. ve Ben-Avraham, Z.,** 2024. The reasons for enormous accumulation of the geodynamic tension in Eastern Turkey: a multidisciplinary study. *Geology Geophysics and Earth Science*, 2(2): 1-28.
- Feng, T., Duncanson, L., Montesano, P., Hancock, S., Minor, D., Guenther, E. ve Neuenschwander, A.,** 2023. A systematic evaluation of multi-resolution ICESat-2 ATL08 terrain and canopy heights in boreal forests. *Remote sensing of environment*, 291: 113570.
- Goud, G. P. S. ve Bhardwaj, A.,** 2021. Estimation of building heights and DEM accuracy assessment using ICESat-2 data products. *Engineering Proceedings*, 10(1): 37.
- Göver, İ. H.,** 2023. Türkiye ve Japonya'nın deprem gerçekliği: Karşılaştırmalı bir analiz. *Mevzu-Sosyal Bilimler Dergisi*, (10): 279-323.
- Hoque, M. A. A., Phinn, S. ve Roelfsema, C.,** 2017. A systematic review of tropical cyclone disaster management research using remote sensing and spatial analysis. *Ocean & Coastal Management*, 146: 109-120.
- Huang, X., Cheng, F., Bao, Y., Wang, C., Wang, J., Wu, J., He, J. ve Lao, J.,** 2024. Urban building height extraction accommodating various terrain scenes using ICESat-2/ATLAS data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 130: 103870.
- Hussain, E., Kalaycıoğlu, S., Milliner, C. W. ve Çakır, Z.,** 2023. Preconditioning the 2023 Kahramanmaraş (Türkiye) earthquake disaster. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(5): 287-289.
- Iheaturu, C., Okolie, C., Ayodele, E., Egogo-Stanley, A., Musa, S. ve Speranza, C. I.,** 2024. Combining Google Earth historical imagery and UAV photogrammetry for urban development analysis. *MethodsX*, 102785.
- Khan, A. A.,** 2024. Earthquake geology of the East Anatolian Fault and its participation in a devastating earthquake. *Arabian Journal of Geosciences*, 17(1): 48.
- Le Quilleuc, A., Collin, A., Jasinski, M. F. ve Devillers, R.,** 2021. Very high-resolution satellite-derived bathymetry and habitat mapping using pleiades-1 and ICESat-2. *Remote Sensing*, 14(1): 133.
- Markus, T., Neumann, T., Martino, A., Abdalati, W., Brunt, K., Csatho, B., Farrell, S., Fricker, H., Gardner, A., Harding, D., Jasinski, M., Kwok, R., Magruder, L., Lubin, D., Luthcke, S., Morison, J., Nelson, R., Neuenschwander, A., Palm, S., Popescu, S., Shum, C., Schutz, B. E., Smith, B., Yang, Y., ve Zwally, J.,** 2017. The Ice, Cloud, and land Elevation Satellite-2 (ICESat-2): science requirements, concept, and implementation. *Remote sensing of environment*, 190: 260-273.
- Neumann, T. A., Brenner, A., Hancock, D., Robbins, J., Saba, J., Harbeck, K., Lee, G. J., Luthcke, S. B., ve Rebold, T.,** 2021. ATLAS/ICESat-2 L2A global geolocated photon data, version 3. *Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center.*
- Över, S., Demirci, A. ve Özden, S.,** 2023. Tectonic implications of the February 2023 Earthquakes (Mw7. 7, 7.6 and 6.3) in south-eastern Türkiye. *Tectonophysics*, 866:230058.
- Özkan, A., Yavaşoğlu, H. H. ve Masson, F.,** 2023. Present-day strain accumulations and fault kinematics at the Hatay Triple Junction using new geodetic constraints. *Tectonophysics*, 854: 229819.

**Pande, C. B., Srivastava, A., Moharir, K. N., Radwan, N., Mohd Sidek, L., Alshehri, F., ve Zhran, M., 2024.** Characterizing land use/land cover change dynamics by an enhanced random forest machine learning model: a Google Earth Engine implementation. *Environmental Sciences Europe*, 36(1): 84.

**Rezvani, S. M., Falcão, M. J., Komljenovic, D. ve de Almeida, N. M., 2023.** A systematic literature review on urban resilience enabled with asset and disaster risk management approaches and GIS-based decision support tools. *Applied Sciences*, 13(4): 2223.

**Stilla, U. ve Xu, Y., 2023.** Change detection of urban objects using 3D point clouds: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 197: 228-255.

**Velastegui-Montoya, A., Montalván-Burbano, N., Carrión-Mero, P., Rivera-Torres, H., Sadeck, L. ve Adami, M., 2023.** Google Earth Engine: a global analysis and future trends. *Remote Sensing*, 15(14): 3675.

**Wu, B., Huang, H. ve Zhao, Y., 2023.** Utilizing building offset and shadow to retrieve urban building heights with ICESat-2 photons. *Remote Sensing*, 15(15): 3786.

**Yamazaki, F. ve Matsuoka, M., 2007.** Remote sensing technologies in post-disaster damage assessment. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 1(03): 193-210.

**Zhao, Y., Wu, B., Shu, S., Yang, L., Wu, J. ve Yu, B., 2021.** Evaluation of ICESat-2 ATL03/08 surface heights in urban environments using airborne LiDAR point cloud data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 19: 1-5.