

OPTİK İHA İLE 3B MODEL ÜRETİMİNDE PROBLEMATİK NOKTALAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Umut Güneş SEFERCİK¹, Mertcan NAZAR², İlyas AYDIN³

¹Prof. Dr., Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze, Kocaeli, Türkiye, sefercik@gtu.edu.tr

²Arş. Gör., Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze, Kocaeli, Türkiye, mnazar@gtu.edu.tr

³Arş. Gör., Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze, Kocaeli, Türkiye, ilyasaydin@gtu.edu.tr

ÖZET

İnsansız hava aracı (İHA) sistemleri düşük uçuş irtifasının getirisi olan birçok avantaj sayesinde son yıllarda bilimsel çalışmalarda sıklıkla kullanılır hale gelmiştir. İHA sistemlerinin popüler hale gelmesinde, uygulanabilir genişlikte çalışma alanlarında, yüksek çözünürlüklü verinin geleneksel hava kaynaklı uzaktan algılama yöntemlerine nazaran daha düşük maliyetle ve periyodik olarak elde edilebilmesi önemli bir faktördür. Optik İHA, yüksek çözünürlüklü dijital kameralar ile farklı irtifalarda bindirmeli çekim geometrilerinde çalışabilme imkânı sayesinde çok çeşitli yükseklik ve formlara sahip objelere ait hassas ve orjinal renkte üç boyutlu (3B) modellerin üretimine olanak vermesi nedeniyle en çok tercih edilen İHA teknolojisi konumundadır. Ancak pasif uzaktan algılama prensibi ile işletilmesi, güneş ışığına bağımlılığı ve gündüz saatleri dışında operasyonel olmama durumunu beraberinde getirmektedir. Yanı sıra, geniş dalga boylu radar ya da lazer sistemlerde mevcut bitki penetrasyon kabiliyetinin olmayışı özellikle orman dokusu altı bölgelerde 3B tasvirde ciddi problemler yaratmaktadır. Ek olarak, hava fotoğraflarının eşlenmesi ve yöneltmesinde, görüntü alım geometrisi ve çalışma sahasındaki düşük korelasyonlu arazi örtüsünün meydana getirdiği sınırlamalar üretilen yoğun nokta bulutları ve 3B modeller üzerinde hata ve eksik tasviri beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada, 20 MP Sony Exmor RGB kamerasının avantajları nedeniyle kullanıcılar tarafından en sık tercih edilen optik ticari İHA'lerden biri haline gelmiş DJI Phantom 4 Pro V2.0 verilerinden 3B model üretiminde dikkat edilmesi gereken problematik noktalar ve çözüm önerileri sunulmuştur. Çalışmada, SfM (hareketten yapı oluşturma) tabanlı görüntü eşleştirme yazılımlarında 3B topoğrafik tasvir ve obje tasvirinde kullanılan parametrelerin neden olduğu farklı etkiler ortaya konmuştur.

Anahtar Sözcükler: 3B model, insansız hava aracı (İHA), nokta bulutu, SfM

ABSTRACT

PROBLEMATIC POINTS AND SOLUTION PROPOSALS IN 3D MODEL PRODUCTION WITH OPTICAL UAV

Unmanned aerial vehicle (UAV) systems have been frequently used in scientific studies in recent years, thanks to the many advantages provided by low flight altitude. An important factor in the popularity of UAV systems is that high-resolution data can be obtained periodically, at a lower cost compared to traditional airborne remote sensing methods, in work areas of applicable size. Optical UAV is the most preferred UAV technology because it allows the production of precise and original color three-dimensional (3D) models of objects with a wide variety of heights and forms, thanks to its ability to work with high-resolution digital cameras at different altitudes and in overlapping shooting geometries. However, its operation with the principle of passive remote sensing brings with it the dependence on sunlight and the inability to operate outside of daylight hours. In addition, the lack of vegetation penetration capability in contrast to wide wavelength radar or laser systems creates serious problems in 3D depiction, especially in regions under forest texture. Moreover, limitations in the mapping and orientation of aerial photographs, formed by the image acquisition geometry and low correlation land cover in the study area, cause errors and incomplete depiction on the dense point clouds and 3D models produced. In this study, problematic points and solution proposals are presented in 3D model production from DJI Phantom 4 Pro V2.0 data, which has become one of the most preferred optical commercial UAVs by users due to the advantages of the 20 MP Sony Exmor RGB camera. In the study, different effects caused by the parameters used in 3D topographic description and object description in SfM (structuring from motion) based image matching software were presented.

Keywords: 3D model, unmanned aerial vehicle (UAV), point cloud, SfM

1. GİRİŞ

Son yıllarda, geleneksel hava ve uzay kaynaklı uzaktan algılama sistemlerine alternatif olarak ortaya çıkan insansız hava aracı (İHA) teknolojilerine olan ilgi gittikçe artmaktadır. Yüksek çözünürlüğe sahip verilerin düşük maliyetli ve farklı zamanlarda periyodik olarak elde edilebilmesi optik İHA sistemlerinin tercih edilme nedenlerinden biri olarak görülmektedir. Bunun yanı sıra, amaca yönelik olarak istenilen irtifalarda uçuş gerçekleştirilebilmesi, farklı algılama sensörlerinin yerleştirilebilmesi ve çeşitli çekim geometrilerinde çalışma olanağı olması optik İHA sistemlerinin sunduğu avantajlar arasındadır. Temel fotogrametrik iş adımları kapsamında İHA verisi kullanılarak dijital yüzey modelleri (DYM), dijital arazi modelleri (DAM), eşyükselti eğrileri, doku giydirilmiş üç boyutlu (3B) modeller ve vektör veri gibi 3B veriler üretilmektedir (Remondino vd., 2011). Optik İHA sistemlerinin bazı kullanım alanları kültürel mirasın belgelenmesi (Jo ve Hong, 2019), doğal afet izleme çalışmaları (Perks vd., 2016) ve akıllı tarım uygulamaları (Almalki vd., 2021) olarak sıralanabilir. Yine, hedef topoğrafya ve objelere ait 3B modellerin

oluşturulması veya fiziksel nesnelerin sanal ortamda dijital ikizlerinin oluşturulması, optik İHA sistemlerinin kullanıldığı alanlar içerisinde yer almaktadır.

Optik İHA sistemleriyle farklı kamera açılarındaki poligonal, tek ve çift grid, dairesel vb. görüntüleme geometrilerinde uçuş yapılabilmesi özellikle farklı yükseklik ve formlardaki objelere ait yüksek kaliteli 3B katı modellerin üretilmesine olanak sağlamaktadır. Aynı zamanda elde edilen hava fotoğrafları sayesinde yüksek çözünürlüklü bir doku verisi elde edilip, üretilen 3B modellere giydirilerek gerçeğe en yakın 3B katı modeller elde edilebilmektedir. Fakat, pasif uzaktan algılama prensibi ile işletilmesi, optik İHA teknolojilerinden üretilen sonuç ürünlerde birtakım sınırlamalara neden olmaktadır. Özellikle yoğun orman dokusuna sahip bölgelerde penetrasyon kabiliyeti olmaması sebebiyle orman altı bölge hakkında bilgi elde edilememektedir. Bu nedenle, bu bölgelere ait veriler ile üretilen 3B modellerde çeşitli problemler gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra, optik İHA verileri ile fotogrametrik işlemede, topoğrafya ve obje yapıları ve 3B model üretiminde kullanılan parametreler sonuç ürünler üzerinde farklı etkilere sebep olmaktadır. Kaliteli 3B katı model üretiminde etkili olan bir diğer unsur ise hava fotoğraflarının çekim geometrisi ve yöneltme aşamasında kullanılan doğruluk kriterleridir. Bu çalışmada, 20 MP Sony Exmor RGB kamerası ile DJI Phantom 4 Pro V2.0 İHA ile elde edilen hava fotoğraflarının SfM (hareketten yapı oluşturma) tabanlı Agisoft Metashape Professional yazılımında fotogrametrik olarak işlenmesi ve 3B model üretiminde kullanıcıların sıklıkla karşılaştığı problematik noktalar ortaya konmuş ve ilgili çözüm önerileri sunulmuştur.

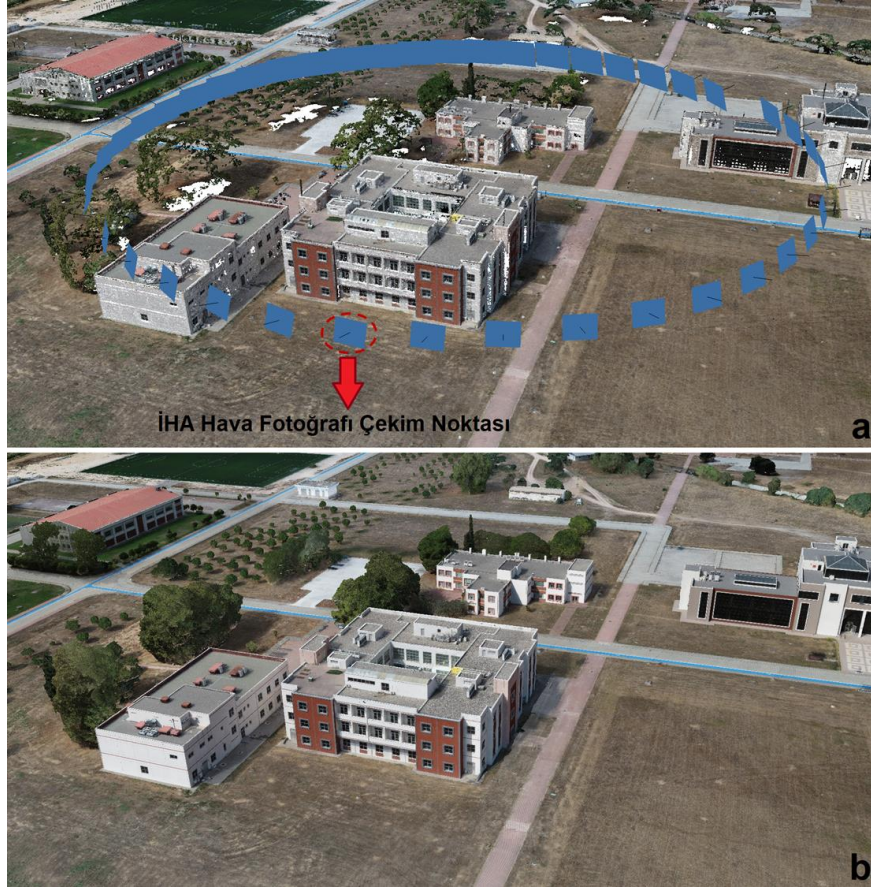
2. İNSANSIZ HAVA ARACI TEKNOLOJİSİ

İHA, uçak veya helikopter gibi geleneksel hava araçlarının aksine içerisinde pilot bulunmadan, bir yer kontrol istasyonu veya uzaktan kumanda aracılığıyla uçuş operasyonu gerçekleştirilebilen hava araçlarıdır. İHA sistemleri ile gerçekleştirilen uçuşlarda el ile kontrol dışında otonom idare etme imkânı da bulunmaktadır. İHA uçuş planlama yazılımı yardımı ile uçuş öncesi hazırlanan uçuş planları doğrultusunda otonom olarak uçuşlar yapılabilmektedir. Ayrıca bu yazılımlar yardımıyla hazırlanan otonom uçuş planı kapsamında uçuş irtifası, enine ve boyuna bindirme oranları, fotoğraf çekim aralığı, fotoğraf çekim geometrisi vb. parametreler çalışma amacına ve çalışma alanı sınırlarına göre değiştirilebilmektedir. Örnek olarak, kültürel mirasın belgelenmesi kapsamında optik İHA verileri kullanılarak ilgili yapının 3B modelinin oluşturulması amacıyla hazırlanan otonom uçuş planı doğrultusunda belirli uçuş irtifalarından eğik kamera bakışı ile dairesel uçuş gerçekleştirilerek, yapının cepheleri hakkında detaylı bilgi elde edilmektedir (Barrile vd., 2019). Optik İHA uçuşlarında tercih edilen uçuş modu dışında kamera bakış açısı da 3B modelleme performansını önemli ölçüde etkileyen bir parametre olarak görülmektedir. Diğer yandan, nadir kamera bakışının yanında eğik kamera bakışı ile elde edilen hava fotoğraflarının, topoğrafik olarak kompleks alanlarda 3B modelleme performansını arttırdığı gözlemlenmektedir (Nesbit ve Hugenholtz, 2019). Bunların yanı sıra, kullanılan kameranın mekansal çözünürlüğü ve tercih edilen uçuş irtifası üretilen nokta bulutunun çözünürlüğünü ve bunun yanında 3B modelleme performansını etkileyen diğer parametrelerdir. Ayrıca seçilen enine ve boyuna bindirme oranları da nokta bulutu çözünürlüğü üzerinde önemli bir etken olarak değerlendirilmektedir. Ağaç altında kalan bölgeler hakkında elde edilen bilginin kısıtlı olduğu yoğun ormanlık alanlarda farklı uçuş parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda hem yer örnekleme aralığındaki iyileşmenin hem de enine ve boyuna bindirme oranlarındaki artışın nokta bulutu sıklığını arttırdığı tespit edilmiştir (Frey vd., 2018).

Teknolojik gelişmeler ışığında, İHA sistemlerinin teknolojik düzeyinin ve operasyonel kabiliyetinin arttığı gözlemlenmektedir. Günümüzde, multispektral veya hiperspektral kamera, light detection and ranging (LiDAR) sensörü taşıyan İHA sistemleri bulunurken bunun yanında hassas 3B konum belirleme kabiliyetine sahip gerçek zamanlı kinematik (RTK) küresel uydu seyrüsefer sistemleri (GNSS) alıcısına sahip İHA sistemleri de endüstri de yerini almaktadır. LiDAR sensörüne sahip İHA sistemleri optik İHA sistemleri ile karşılaştırıldığında yoğun bitki örtüsüne sahip alanlarda LiDAR İHA kanopisi altında kalan bölge hakkında bilgi elde edilmesine olanak sağlamaktadır (Wallace vd., 2012). Böylelikle LiDAR İHA verisi kullanılarak üretilen nokta bulutu özellikle sık orman dokusuna sahip alanlarda optik İHA verisi ile üretilen nokta bulutuna göre daha yoğun olarak elde edilmekte ve dolayısıyla 3B modelleme performansı daha yüksek olmaktadır. İHA sistemleri, kısa sürede periyodik olarak veri elde edilmesi ve yükseltinin ani olarak değiştiği topoğrafyalarda bile manevra kabiliyetine imkân vermesi sebepleri ile çeşitli çalışmalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Doğal afet izleme çalışmaları kapsamında heyelan alanlarının tespit edilip belgelenmesi amacıyla İHA sistemleri kullanılmakta ve kısa bir zaman aralığında belirli periyotlarda yükseklik değişiminin düzensiz olduğu engebeli topoğrafyalarda etkin şekilde veri elde edilebilmektedir (Lindner vd., 2016). Optik İHA verileri kullanılarak, fenolojik gelişim evreleri içerisinde ekin boyundaki değişimin tespit edilmesi (Ziliani vd., 2018), ormanlık alanlarda sınıflandırma ve meşcere boyunun hesaplanması (Sankey vd., 2017), deprem sonrası binalarda ve altyapıda meydana gelen hasarın derin öğrenme metodları ile tespit edilmesi (Jing vd., 2022), geometrik bilginin belgelenmesi amacıyla arkeolojik alanlarda optik İHA verisi ile 3B model üretimi (Fiz vd., 2022), optik İHA verileri ile baraj vb. mühendislik yapılarına ait 3B modellerin oluşturulup incelenmesiyle yapı sağlığının izlenmesi (Zhao vd., 2021), seçilen bir üniversite kampüsü alanı içerisindeki binaların ve arazinin dijital ikizinin oluşturulması ve üretilen 3B modellerin sanal gerçeklik ortamına entegre edilmesi (Sefercik vd., 2021) vb. çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

3. OPTİK İHA VERİLERİNİN FOTOGRAMETRİK İŞLEM ADIMLARINDA PROBLEMATİK YÖNLERİ

3B doku giydirilmiş katı modellerin üretilmesi amacıyla çeşitli topoğrafik özelliklere sahip çalışma alanlarında gerçekleştirilen İHA uçuşları neticesinde elde edilen hava fotoğrafları SfM tabanlı Agisoft Metashape Professional yazılımında işlenmiştir. SfM tekniği temel olarak, belirli bir bindirme oranına sahip ardışık hava fotoğraflarının kullanılmasıyla 3B geometrinin oluşturulmasını sağlamaktadır (Westoby vd., 2012). **Şekil 1**'de SfM tekniğinden yararlanılarak bir 3B model üretilmesi amacıyla gerçekleştirilen, İHA hava fotoğrafı çekim örneği gösterilmiştir.



Şekil 1. İHA verisi ile SfM tekniğinden yararlanılarak üretilen yoğun nokta bulutu (a) ve 3B doku giydirilmiş katı model (b)

3B doku giydirilmiş katı model üretimi aşamaları, hava fotoğraflarının karşılıklı ve mutlak yönlendmesi, yoğun nokta bulutu üretimi ve filtrelenmesi, 3B katı model üretilmesi ve yüksek çözünürlüklü doku verisinin üretilerek 3B katı model üzerine giydirilmesi olarak uygulanmıştır. İHA verisi kullanarak SfM tabanlı yazılımlarda 3B model üretimini kapsayan genel üretim adımları **Şekil 2**'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Örnek SfM tabanlı görüntü eşleme yazılımı Agisoft Metashape Professional kullanılarak 3B doku giydirilmiş katı model üretim adımları

Hava fotoğraflarından yüksek doğruluklu 3B yoğun nokta bulutları ve katı modeller üretmenin ilk aşaması başarılı bir geometrik yönlendmedir. SfM tabanlı görüntü eşleme yazılımlarında geometrik yönlendme sonucu geometriyi genel bir

şekilde ifade eden ve yoğun nokta bulutu ile karşılaştırıldığında daha az nokta sayısına sahip seyrek nokta bulutu verisi elde edilmektedir. Hava fotoğraflarının karşılıklı olarak yöneltilmesi amacıyla Agisoft Metashape yazılımında çeşitli kalite düzeyleri bulunmaktadır. Prensip, düzey arttıkça daha yüksek kalitede yöneltme yapılmakta, geometrik olarak daha doğru bir seyrek nokta bulutu ve dolayısıyla daha hassas bir 3B model elde edilmektedir. Fakat, kalite düzeyi arttıkça görüntü eşleştirmede beklenen korelasyon miktarı da artacaktır. Yani eşleştirme, yüksek korelasyon şartını sağlayabilen çok daha az nokta ile sonuçlanacaktır. Bu durum, üretilen yoğun nokta bulutunda ve 3B katı modelde özellikle bitki ve su yoğun bölgelerde boşluklar gözlemlenmesine sebep olmaktadır.

Geometrik yöneltme sonucunda seyrek nokta bulutu üretimi tamamlandıktan sonra yüksek çözünürlüklü ve detaylı bir 3B katı model elde edebilmek amacıyla yoğun nokta bulutu üretiminin gerçekleştirilmesi önem arz etmektedir. Agisoft Metashape yazılımında fotoğrafların işlenmesiyle yoğun nokta bulutu üretimi için derinlik bilgisini içeren derinlik haritaları oluşturulmaktadır. Fakat, derinlik haritaları oluşturulurken fotoğraflardaki aydınlanma farkları veya odağın net olmaması gibi gürültü içeren verilerin oluşturulmasına sebebiyet veren durumlar sonucunda, aykırı veya uç değerler gözlemlenebilmektedir. Bu uç değerlerin giderilmesi amacıyla yazılım içerisinde dört adet filtreleme düzeyine sahip, derinlik filtreleme seçeneği kullanılmaktadır. Bu dört düzey incelendiğinde, sert (aggressive) filtre önemli küçük detayların olmadığı alanlarda tavsiye edilmekteyken hafif (mild) düzeydeki filtre ile ayırt edilebilecek seviyede olan önemli küçük detaylar korunmaktadır (Agisoft, 2022). Bunun dışında orta (moderate) seçeneği mild ile aggressive arasında sonuç verirken derinlik filtreleme kapatılarak da işlemler gerçekleştirilebilmektedir. Düşük çözünürlükte gösterilen bina çatılarının olmadığı hava fotoğrafı veri setlerinde aggressive düzeyde filtreleme uygulanması önerilmektedir. Sonuç olarak, yoğun nokta bulutu üretiminde farklı düzeyde derinlik filtreleme uygulanması doğrultusunda farklı sonuçlar elde edilmekte ve objelerin şekil, biçimlerine göre önemli bazı küçük detayların gösteriminde kayıplar yaşanabilmektedir. Bunun yanı sıra, bu durum 3B modelleme performansını önemli ölçüde etkileyen bir başka parametre olarak ortaya çıkmaktadır.

Kalitesi ve gerçekçi tasvir yeteneği yüksek bir 3B katı model üretimi sırasında önemli olan bir diğer husus objelerin vektör yapıdaki yoğun nokta bulutundan, raster yapıdaki katı modele dönüşümü sırasında enterpolasyon etkisi ile uzayarak çıplak topoğrafya ile birleşmesidir. Bu durum, ağaç, köprü vb. objelerin dış sınır hatlarındaki altı boş noktaların, enterpolasyon sırasında çıplak topoğrafya noktaları ile aynı pikseller içinde değerlendirilmesinin bir sonucudur. 3B modellerde ortaya çıkan bir diğer problem ise düz çatı kenarları gibi süreklilik arz etmeyen ve modelde birkaç piksel ile tasvir edilen düşey hatlarda gözlemlenen boşluklardır. İnce yapıdaki düşey objelerin ayırt edilebilirliğinin düşük olması görüntü eşleştirmede yeterli performans sağlanamamasına ve ilgili bölgelerde nokta bulutu seyrekleşmesine sebep olmaktadır. 3B katı modele dönüşümde, enterpolasyon pencerelerine giren nokta bulutlarının sınırlı kalması modelde boşluklara sebebiyet vermektedir. Optik İHA sistemleri pasif uzaktan algılama prensibi ile işletilmekte olup bitki penetrasyon kabiliyetleri bulunmamaktadır. Bu nedenle, yoğun orman altı alanları tasvir edebilecek bilgi elde edilememekte ve model bozulmalara uğramaktadır. Tekil ağaç örtülü alanlarda ise kısıtlı şekilde veri temini gerçekleştirilmektedir.

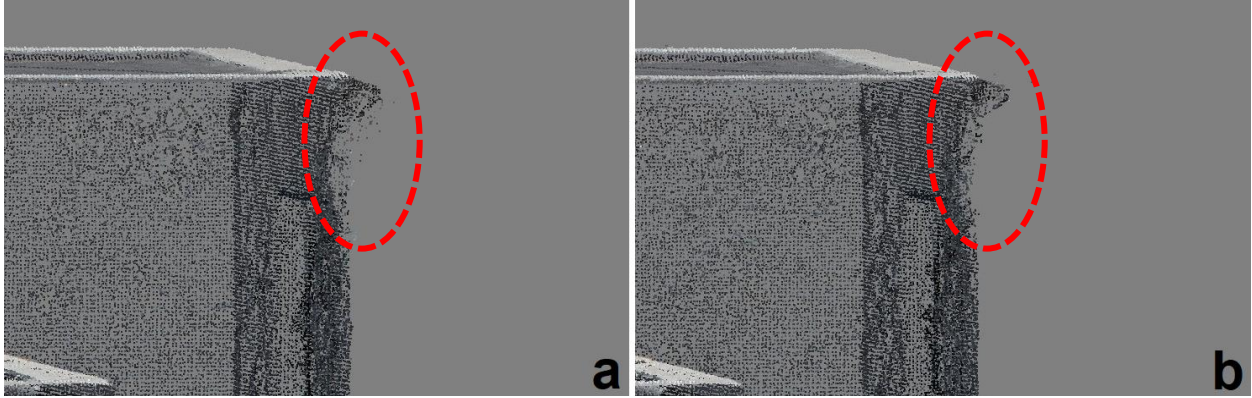
4. BULGULAR

Yöneltme kalitesi seçimi ile ilgili olarak **Şekil 3**, yüksek ve orta düzeyde karşılıklı yöneltme kalitesi kullanılarak üretilen 3B katı modelleri göstermektedir. Fotoğrafların karşılıklı yöneltmesinde en yüksek kaliteyi seçmek yerine optimal düzeyde seçim yapılması sonuç 3B katı modelde oluşabilecek boşlukların sayısını azaltacak ve yeterli kalitede gerçekçi bir model üretimini destekleyecektir (**Şekil 3b**). Ancak, yoğun nokta bulutunda meydana gelen gürültülerin başlıca sebebi de yine korelasyonu yüksek olmayan pikseller olduğundan optimal kalite seçimi ile üretim sonrasında yoğun nokta bulutu üzerinde mutlaka detaylı bir filtreleme yapılmalıdır. Ayrıca, yoğun nokta bulutu üretimi öncesinde gerçekleştirilecek mutlak yöneltmede ± 1 piksel doğruluk değerine ulaşılmadan üretilmeye geçilmemelidir.



Şekil 3. Yüksek düzeyde (a) ve orta düzeyde (b) karşılıklı yöneltme kalitesi kullanılarak üretilen 3B katı model

Şekil 4'te bina çatısı üzerinde bulunan bir saçağa ait hem derinlik filtreleme kapalıyken hem de aggressive düzey seçiliyken üretilen yoğun nokta bulutları görülmektedir. **Şekil 4a** incelendiğinde, **Şekil 4b** ile karşılaştırıldığında saçak etrafında daha fazla gürültülü nokta olduğu tespit edilmiştir. **Şekil 4b**'de ise **Şekil 4a** ile kıyaslandığında özellikle saçak bölgesinde daha pürüzsüz bir nokta bulutu verisi olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum uygun düzeyde derinlik filtreleme uygulanmasının önemini ortaya koymaktadır. Objeye yapısının değişkenliği ve kullanılan veri seti göz önünde bulundurularak, doğru bir derinlik filtreleme işleminin uygulanması doğru geometrik gösterime sahip ve gerçeğe daha yakın 3B modellerin üretilmesine katkı sağlayacaktır.



Şekil 4. Derinlik filtreleme kapalıyken (a) ve aggressive filtreleme seçeneğiyle (b) üretilen yoğun nokta bulutları

Şekil 5a, 3B katı modelleme yöntemi seçiminin önemini ve enterpolasyonun bitki formu tasvirindeki bozucu etkisini ortaya koymaktadır. Bu problem, 2.5B modelleme yerine tam 3B destekleyen arbitrary modelleme seçimi ile aşılabılır. Arbitrary modellemenin enterpolasyonun bozucu etkisini ortadan kaldırarak gerçekçi tasviri nasıl sağladığı **Şekil 5b**'de görülmektedir. Arbitrary modellemenin en büyük dezavantajı ise modelleme süresini uzatmasıdır. Bu nedenle, özellikle mühendislik yapılarının ya da tarihi yapıların röleve çıkarımları, ormancılıkta envanter çıkarımı, dijital tarımda rekolte tespiti, sanal gerçeklik uygulamaları vb. gibi tekil obje analizi temelinde 3B model üzerinden hassas metrik ölçümler gerektiren hallerde tercih edilmelidir.



Şekil 5. Üretilen 3B katı modeller: 2.5B modelleme (a), arbitrary 3B modelleme (b)

Objeye formlarının 3B katı model kalitesi üzerindeki etkisine ilişkin bir örnek **Şekil 6**'da yer alan bina çatısında görülmektedir. Oldukça sık rastlanabilen bu süreksizlik durumunun çözümü için İHA ile bina cephelerinde oblik (eğik) kamera açılarında ($\leq 70^\circ$) dairesel ek uçuşlar yapılabilir. Bir diğer çözüm ise, problem olacağı düşünülen binalara mutlak yönlümlerde kullanmak üzere İHA uçuşu öncesi damalı vb. işaretler (checker-board) yerleştirilerek yersel fotogrametri ile dijital fotoğraf alımı ve bu fotoğrafların İHA hava fotoğrafları ile karşılıklı yönlümlerde birlikte kullanılmasıdır. Bu problemi tamamen gidermemekle birlikte daha düşük seviyelere indirmenin yolları ise karşılıklı yönlümler aşamasında farklı bir kalite düzeyi seçmek veya yazılım içerisinde bulunan boşluk doldurma (hole filling) seçeneğini kullanmaktır. Pasif algılamanın orman altı tasvir problemi ile ilgili olarak **Şekil 7**, yoğun orman alanına giren bir bisiklet yolunun, 3B modelde tasvirinin uğradığı kesintiyi açık şekilde ortaya koymaktadır. Bu tip alanlarda, çok-dönüşlü (multi-return) lazer tarama kabiliyetli İHA kullanımı söz konusu olabilir ancak bu sistemlerde nokta bulutu orijinal renk bilgisi yine lazer tarayıcıya entegre dijital kameralardan sağlandığından orman altında orijinal renkteki verilere ulaşım mümkün değildir. Ormanlık alanda yersel fotogrametri ile fotoğraf alımı da yönlümlerde yaşanacak korelasyon sıkıntıları nedeniyle önerilmemektedir. Tüm bu hususlar ışığında, 3B modellerin orijinal renkte

en doğru üretimleri, optik İHA ve renkli yersel lazer tarama (TLS) verilerinin doğru geometride füzyonu ile mümkündür.



Şekil 6. Sürekli olmayan düşey bir objenin 3B katı modeldeki tasviri



Şekil 7. Yoğun orman alanı altında model bozulması

5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında İHA verileri kullanılarak 3B model üretiminde karşılaşılan problematik noktalar irdelenmiş ve ilgili çözüm önerileri sunulmuştur. SfM tabanlı olarak çalışan görüntü eşleme yazılımları ile hava fotoğraflarının geometrik düzeltilmesi, yoğun nokta bulutu üretimi ve 3B doku giydirilmiş katı model oluşturulması esnasında kullanılan parametrelerin, 3B modelleme performansını önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir. Öte yandan, sürekli olmayan yapıda olan düşey objelerin, optik İHA verisi kullanılarak 3B olarak modellenmesinde obje biçimi modelleme performansını düşürebilmektedir. Optik İHA sistemlerinin, özellikle yoğun bitki örtüsüne sahip ormanlık bölgelerde penetrasyon kabiliyetlerinin olmaması sebebiyle ağaç altı alanlar hakkında yeterli bilgi elde edilemediği ve dolayısıyla 3B modelleme performansının olumsuz şekilde etkilendiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, optik İHA verisi ile 3B model üretimi sırasında uygun parametrelerin seçilmesi ve optik İHA sistemlerinin özellikle yoğun orman alanı gibi problematik yerlerde TLS gibi başka sistemler ile desteklenmesi, daha doğru geometriye sahip ve hassas 3B modellerin elde edilmesine katkı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Agisoft**, 2022. Agisoft Metashape User Manual Professional Edition, Version 1.8. https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_8_en.pdf, [Erişim tarihi: 31.10.2022].
- Almalki, F. A., Soufiene, B. O., Alsamhi, S. H. ve Sakli, H.**, 2021. A Low-Cost Platform for Environmental Smart Farming Monitoring System Based on IoT and UAVs. *Sustainability*, 13(11): 5908.
- Barrile, V., Fotia, A., Candela, G. ve Bernardo, E.**, 2019. Integration of 3D Model from UAV Survey in BIM Environment. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42: 195-199.
- Fiz, J. I., Martín, P. M., Cuesta, R., Subías, E., Codina, D. ve Cartes, A.**, 2022. Examples and Results of Aerial Photogrammetry in Archeology with UAV: Geometric Documentation, High Resolution Multispectral Analysis, Models and 3D Printing. *Drones*, 6(3): 59.
- Frey, J., Kovach, K., Stemmler, S. ve Koch, B.**, 2018. UAV Photogrammetry of Forests as a Vulnerable Process. A Sensitivity Analysis for a Structure From Motion RGB-Image Pipeline. *Remote Sensing*, 10(6): 912.
- Jing, Y., Ren, Y., Liu, Y., Wang, D. ve Yu, L.**, 2022. Automatic Extraction of Damaged Houses by Earthquake Based on Improved YOLOv5: A Case Study in Yangbi. *Remote Sensing*, 14(2): 382.
- Jo, Y. H. ve Hong, S.**, 2019. Three-Dimensional Digital Documentation of Cultural Heritage Site Based on the Convergence of Terrestrial Laser Scanning and Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(2): 53.
- Lindner, G., Schraml, K., Mansberger, R. ve Hübl, J.**, 2016. UAV Monitoring and Documentation of a Large Landslide. *Applied Geomatics*, 8(1): 1-11.

- Nesbit, P. R. ve Hugenholtz, C. H.**, 2019. Enhancing UAV–SFM 3D Model Accuracy in High-Relief Landscapes by Incorporating Oblique Images. *Remote Sensing*, 11(3): 239.
- Perks, M. T., Russell, A. J. ve Large, A. R.**, 2016. Advances in Flash Flood Monitoring Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(10): 4005-4015.
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M. ve Sarazzi, D.**, 2011. UAV Photogrammetry for Mapping and 3D Modeling–Current Status and Future Perspectives. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(1): C22.
- Sankey, T., Donager, J., McVay, J. ve Sankey, J. B.**, 2017. UAV Lidar and Hyperspectral Fusion for Forest Monitoring in the Southwestern USA. *Remote Sensing of Environment*, 195: 30-43.
- Sefercik, U. G., Kavzoglu, T., Nazar, M., Atalay, C. ve Madak, M.**, 2021. Integration of High Resolution UAV Data Into the Virtual Environment. *International Symposium on Applied Geoinformatics*, Riga, Latvia, 1-5.
- Wallace, L., Lucieer, A., Watson, C. ve Turner, D.**, 2012. Development of a UAV-LiDAR system with Application to Forest Inventory. *Remote sensing*, 4(6): 1519-1543.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J. ve Reynolds, J. M.**, 2012. ‘Structure-from-Motion’Photogrammetry: A Low-Cost, Effective Tool for Geoscience Applications. *Geomorphology*, 179: 300-314.
- Zhao, S., Kang, F., Li, J. ve Ma, C.**, 2021. Structural Health Monitoring and Inspection of Dams Based on UAV Photogrammetry with Image 3D Reconstruction. *Automation in Construction*, 130: 103832.
- Ziliani, M. G., Parkes, S. D., Hoteit, I. ve McCabe, M. F.**, 2018. Intra-Season Crop Height Variability at Commercial Farm Scales Using a Fixed-Wing UAV. *Remote Sensing*, 10(12): 2007.