

[991]

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE ELDE EDİLEN VERİLERDEN AĞAÇ YÜKSEKLİKLERİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Anıl Can BİRDAL¹, Uğur AVDAN², Tarık TÜRK³

¹*Arş. Gör., Cumhuriyet Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü 58140, Sivas, anilcanbirdal@gmail.com

²Yrd. Doç. Dr., Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, 26470, uavdan@gmail.com

³Doç. Dr., Cumhuriyet Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, tarikturk@gmail.com

ÖZET

Geçtiğimiz on yıl içinde İnsansız Hava Araçları (İHA), çeşitli çalışma alanlarının yanı sıra ormancılık sektöründe, çeşitli alıcılar ile ağaç yüksekliklerinin hesaplanması ve taçlarının kestirimi amacıyla kullanılmaktadır. Günümüzde, tüketici sınıfı bir kameralı İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemlerine monte edilip kullanılması diğer klasik fotogrametrik yöntemler ve insansız hava araçlarına monte edilmiş lazer tarayıcı sistemlerine göre gittikçe daha çok yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmada İHA ile elde edilen hava fotoğraflarının yeniden düzenlenmesi, işlenmesi ve lokal maksimum yöntemi ile filtrelenmesi sonucunda çam tipi ağaçların bulunduğu bir kent ormanındaki ağaçların tekil yüksekliklerinin belirlenmesi amaçlanmış ve Eskişehir ili içerisinde bulunan kent ormanında gerçekleştirilmiştir. Tüketici sınıfı bir kamera ve 96 cm genişliğe sahip bir İHA platformu (e-Bee) ile yapılan bir uçuşta 6.41 cm Yer Örnekleme Mesafesi'ne (YÖM-GSD) sahip hava fotoğrafları çekilmiş, daha sonra bu fotoğraflardan orto-görüntü, Sayısal Yüzey Modeli (SYM-DSM), Sayısal Arazi Modeli (SAM-DTM)) ve nokta bulutu verileri elde edilmiştir. Sayısal Yüzey Modeli'nden (SYM-DSM) Sayısal Arazi Modeli'nin (SAM-DTM) çıkarılması ile elde edilen kanopi yükseklik modeli (KYM-CHM), çalışmada kullanılan algoritma ve piksel tabanlı pencere büyüklüğüne dayalı olarak Lokal Maksimum yöntemi ile filtrelenmiştir. Çalışmadan ortaya çıkan bu sonuçlar, çam türünde ağaçlara sahip olan orman alanlarında ağaç yüksekliklerinin belirlenebilmesi için kullanılan yöntemin diğer pahalı yöntemlere göre kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Sözcükler: İnsansız Hava Araçları, Ağaç Yüksekliği Kestirimi, Fotogrametri, Sayısal Görüntü İşleme, Lokal Maksimum Filtreleme

ABSTRACT

ESTIMATION OF TREE HEIGHTS WITH AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

Unmanned aerial vehicles (UAV) have been widely used in a variety of fields in the last decade. In forestry, with different sensors, they have been used to estimate tree heights and crowns. This approach with a consumer-grade camera onboard system is becoming popular because it is cheaper and faster than traditional photogrammetric methods and UAV-Light Detecting and Ranging (UAV-LiDAR) systems. In this study, UAV-based imagery reconstruction, processing, and local maximum filter methods are used to obtain individual tree heights from an urban forest area which consists mostly of coniferous trees as scots and black pines and considered as very opened canopy. A low-cost onboard camera and a UAV with a 96-cm wingspan made it possible to acquire high resolution aerial images (6.41 cm average ground sampling distance), ortho-images, Digital Elevation Models (DEM), and point clouds in one flight. Canopy Height Models (CHM), obtained by extracting the Digital Surface Model (DSM) from the Digital Terrain Model (DTM), were filtered locally based on the pixel-based window size using the provided algorithm. This study highlights the accuracy of the method and compares favorably to more expensive methods.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicles, Tree Height Detection, Photogrammetry, Image Processing, Local Maximum Filter

1.GİRİŞ

İHA sistemleri hakkındaki detaylı incelemelerinde Colomina ve Molina'nın (Colomina ve Molina, 2014, s.79) dediği gibi; bırakın uçsunlar ve yeni bir pazar oluştursunlar. Öngörüldüğü gibi, uçtular ve yeni bir pazar oluşturdular. İHA sistemleri öylesine hızlı gelişmekte ki klasik Fotogrametri ve Uzaktan Algılama yöntemlerinin hızla yerini almaktadır. Bu sistemler sadece katı fotogrametrik ve uzaktan algılama uygulamalarında değil, tarımsal ve çevresel uygulamalar (Zarco-Tejada, vd., 2012), istihbarat, takip ve keşif görevleri (Molina, vd., 2012), havadan gözlemeleme (Merz, vd., 2011), kültürel miras (Rinaudo, vd., 2012), konvansiyonel haritalama, fotogrametrik kadaströ uygulamaları (Manyoky, vd., 2011) gibi alanlarda da kullanılmaktadır. MarketsandMarkets tarafından hazırlanan teknik bir rapora göre (MarketsandMarkets, 2015) İHA pazarına 2015 yılında 10,1 milyar Amerikan Doları değer biçilmekte iken ve bu değer 2020 yılında 14,9 milyar Amerikan doları olacağı öngörülmektedir. Tüm dünya üzerinde yönetmelik ve mevzuatlar, bu tür yeni hava teknolojisinin fotogrametrik ve uzaktan algılama uygulamalarında hukuken kullanılabilmesi için hazırlanmaktadır.

Bilgisayar görüntüleme ve geomatik teknolojileri birleştiğinde, uzaktan algılama ve düşük irtifada büyük ölçekli konvansiyonel haritalama için yeni bir algı oluşturmaktadır (Colomina, vd., 2008, Cho, vd., 2013, Mayr, vd., 2013). Bir İHA sistemi genellikle, uygun taşıma kapasiteli bir insansız hava aracı, ön görev planlaması için bir yer kontrol istasyonu, istasyon ile araç arasında gerçek zamanlı navigasyon ve iletişim bağlantısından oluşmaktadır.

Otonom, hava, el ile ve mekanik gibi fırlatma yöntemleri İHA'nın boyut ve türüne göre değişmektedir (Şekil 1, Şekil 2). İHA'nın boyutu uygulamanın ve bütünleşik olarak yürütülen algılamaların türünü kısıtlayabilir. Tüketici kameraları sektöründe gelişimler, İHA platformları için çok daha küçük, ekonomik ve etkili algılayıcılarla sonuçlanan teknolojik avantajlar olarak görülmüştür. Dijital fotoğraf makineleri, Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri ve otomatik pilot sistemlerindeki ilerlemeler İHA'nın uzaktan algılama için kapsamlı bir biçimde kullanımına yol açmıştır. İHA uçarken toplanan hava verileri doğrudan uçakta ve ya kamera hafızasında toplanabilir ya da yer kontrol istasyonuna gönderilerek gerçek zamanlı kontrolü de sağlanabilir.



Şekil 1. İHA platformu rampadan fırlatılırken (URL 1)



Şekil 2. El ile İHA platformu fırlatma

İHA'nda bulunan bütünselik sensörler, geleneksel fotogrametrik yöntemlere kıyasla yüksek çözünürlüklü (1-5 cm) gerçek renkli orto-görüntü, hiperspektral, multispektral, termal görüntüler gibi çok çeşitli uzaktan algılama ürünlerini beraberinde getirebilir.

Geleneksel yöntemlere göre kanopi ve tekil ağaç yüksekliklerinin uzaktan algılama teknikleri ile elde edilmesi hem yüksek doğruluklu hem de düşük maliyetli sonuçlara ulaşılmasını sağlamıştır. Havadan lazer tarama tekniği son zamanlarda en çok kullanılan yöntemlerden biri olmuştur (Gleason & Im, 2012, Breindenback, vd., 2010). Ayrıca İHA-LiDAR (Wallace, vd., 2014a, Wallace, vd., 2014b), uzaydan LiDAR (Selkowitz, vd., 2012) ve uydu görüntüleri (Takahashi, vd., 2012, Gougeon & Lecke, 2006) ile de çalışmalar mevcuttur. Son dönemlerde popülerleşen İHA platformları ile yapılan çalışmalar da literatüre giriş yapmıştır (Zarco-Tejada, vd., 2014).

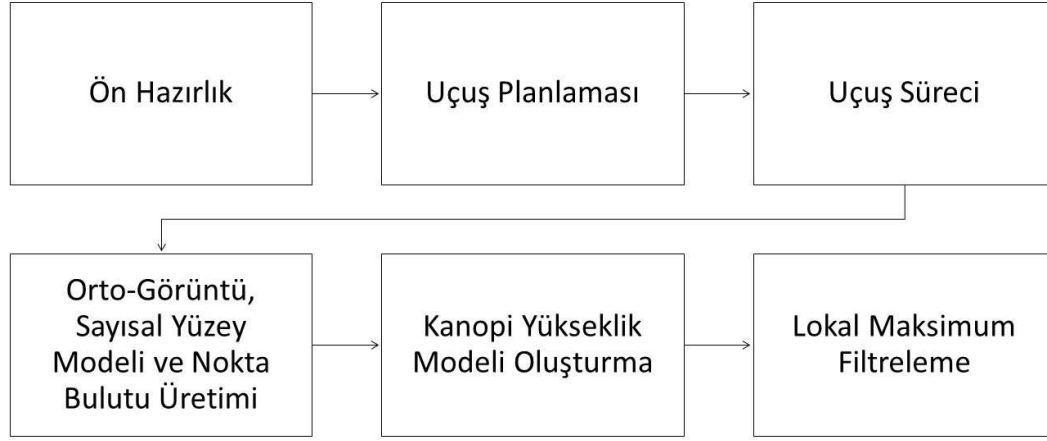
Bu çalışmada ağaç yükseklikleri ve taçlarını çıkarmak için düşük maliyetli bir İHA sistemi kullanılmıştır. Çalışma alanının SYM ve SAM'ni oluşturmak amacıyla kullanılacak olan görüntülerin üretilmesi için hafif (< 0.70 kg) bir İHA üzerinde tüketici sınıfı bir RGB kamera kullanılmıştır. SYM'den SAM'ni çıkartarak oluşturulan ve KYM olarak bilinen gerçek yükseklik modeli (zemin yüzeyine göre yükseklikleri içeren) üzerinde ağaçların tekil taç noktaları ve yüksekliklerini belirlemek amacıyla lokal maksimum filtreleme uygulanmıştır. Bu filtreleme sonrasında herhangi bir coğrafi bilgi sistemi yazılımındaki görselliğe aktarılabilir olan nokta verisi şeklinde çalışma alanına ait ağaçların taç konumları ve yükseklik bilgilerinin bulunduğu sonuç verisi elde edilmiştir.

2.MATERYAL VE YÖNTEMLER

Tekil ağaç yüksekliklerinin tespiti için pek çok yöntem bulunmaktadır. Vauhkonen ve diğerlerinin (Vauhkonen, vd., 2012) çalışmasında, bazı LiDAR verisi tabanlı yöntemler arasında karşılaştırmaya dayalı bir test bulunmaktadır. Elde ettikleri sonuçlar orman yapısının tüm algoritmaların performansını derin biçimde etkilediğini göstermiştir. Çalışma alanlarında, ağaç tespitinin başarısı özellikle ağaçların yoğunluk ve kümelenmesine bağlı olarak değişmektedir. Bu algoritmalar yükseklik tahmininden daha çok ağaç tespiti konusunda birbirinde belirgin biçimde farklılık göstermektedir. Bu çalışmada, ormanlık bir alanda müstakil ağaç yüksekliklerinin tespiti için İHA ile elde edilmiş hava resimlerinden elde edilen nokta bulutları işlenecektir. Kaartinen ve Hyypä'nın (Kaartinen & Hyypä, 2008) raporu bu tür çalışmalarda kullanan çeşitli algoritmalar hakkında detay vermektedir.

Bu çalışmada kullanılan yöntem "KYM yükseklik verilerine dayalı uyarlanabilir filtreleme" yöntemi olarak adlandırılabilir. Hava görüntülerinden çıkarılan nokta bulutu verisi bu çalışmanın altlığı olacaktır. Nokta bulutunun elde edilmesinden sonra raster yeniden yapılandırma süreci gelmektedir. Bu süreçte lazer ışınlarının ilk yansımaları olarak varsayılan en büyük nokta yükseklikleri, yersel verilere yüksek derecede bağlı olan ve bu verilere bağlı olarak hesaplanan önceden belirlenmiş piksel boyutlarına yayılmıştır. Kusursuz bir KYM bu yöntem için kullanılabilir en iyi raster veri olarak gösterilmektedir. Bu yüzden herhangi bir veri bulunmayan boş pikseller, komşu piksellerin ortalama yüksekliği kullanılarak doldurulmuştur. Kullanıcı tarafından tanımlanan piksel boyutlarından gelen en yüksek yansımalar ağaç tacı olarak tanımlanacaktır. Bu etiketlenen noktalar belirlenen pencere içinde en yüksek noktalar olarak seçildiğinde, üzerinde çalışılan ağaçların yüksekliklerine göre tanımlanmış dairesel bir pencere içinde kalan diğer noktaların kontrol edilmesi sonucundan eğer daha yüksek bir nokta bulunamaz ise ağaç tacı olarak tanımlanabileceklerdir. Yersel verilere bağlı olarak kullanıcı tanımlı piksel boyutuna göre bir ağacın kaç tane piksele sığabileceğine, örneğin 0,5m x 0,5m piksel boyutunda 3x3'lük bir pencerede 1,5 metre karelik alana bir ağacın sığabileceği gibi, karar verilir. Bu pencere filtreleme yöntemine adapte edilir.

Tekil ağaç yüksekliklerinin ve konumlarının elde edilmesine dair bu çalışmada kullanılan yarı-otomatik iş akışı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. İş akışı

Test alanının tekil ağaç yüksekliklerini elde etmek toplamda üç günden kısa bir zaman almıştır. Bu harcanan zaman, çalışma alanının kapladığı alan, işlem yapan bilgisayarın performansı ve personelin deneyimine bağlı olabilir.

Çalışma kapsamında, senseFly tarafından geliştirilmiş olan düşük ağırlıklı bir İHA platformu olan eBee kullanılmıştır. eBee, toplam ağırlığı 0.70 kg'dan az, sabit kanatlı, 96 cm kanat açıklığına sahip bir İHA'dır (Şekil 4). Seyrüsefer hızı, azami 50 dakikalık uçuş süresi ile 12 km²'ye kadar (1200 ha) haritalama yapmaya uygun bir şekilde 40 ile 90 km/s arasında değişmektedir. Çalışmada kullanılan kamera, f/2.7ve 1/2000 s görüntü yakalayan 4608 x 3456 piksel detektörlü Canon IXUS 127 HS'dir.



Şekil 4. eBee İHA platformu

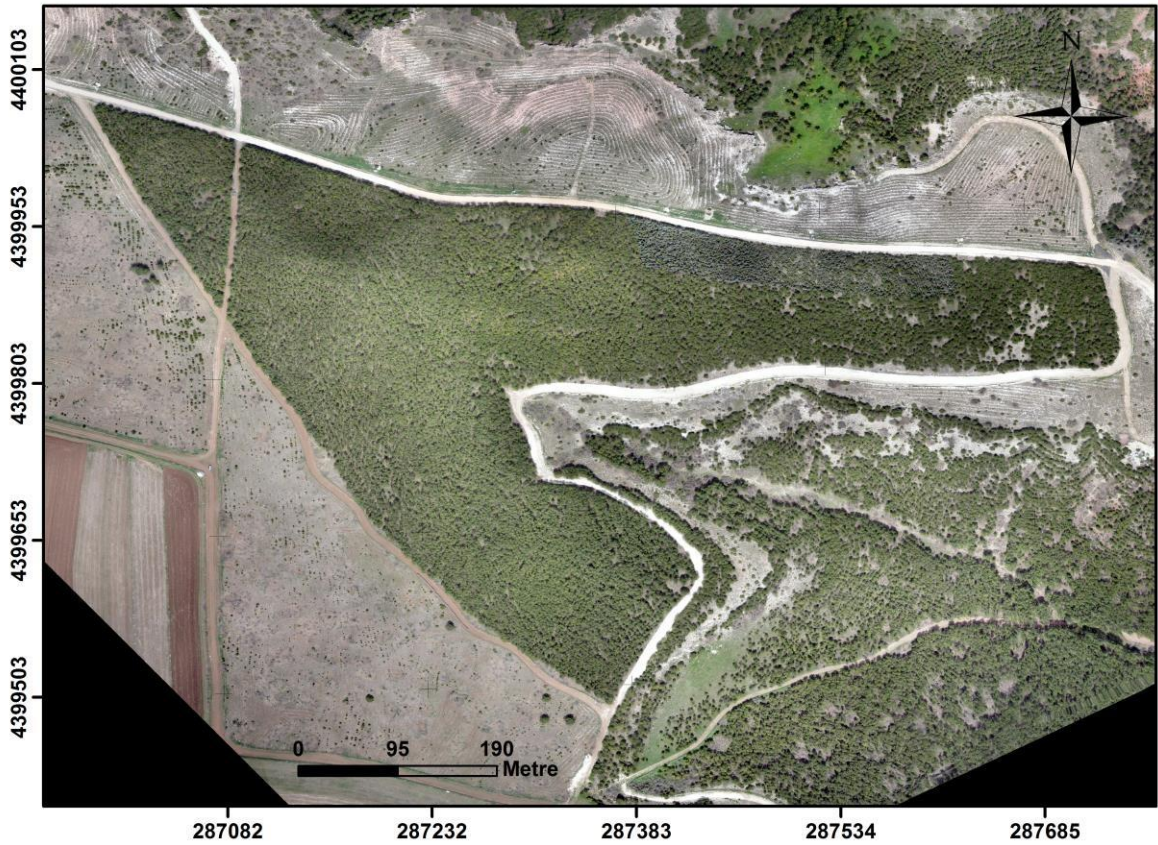
Çalışma alanı olarak Eskişehir ilinde bulunan Kent Ormanı olarak adlandırılmış insan yapımı ormanlık alan seçilmiştir (Şekil 5). Orman çoğunlukla 1960 yılında dikilmiş karaçam ve sarıçam ağaç türlerinden oluşmaktadır ve yaklaşık 15 ha alan kaplamaktadır. Test alanı ormanın güneyinde bulunup, 1 ha alan kaplamaktadır. 28 dakikalık uçuş esnasında, 6.41 cm YÖM ile 150 m yer üstü yüksekliğinden 133 adet hava fotoğrafı çekilmiştir. Sırasıyla %80 ileri, %70 yan bindirme parametreleri kullanılmıştır. Altı adet üç boyutlu Yer Kontrol Noktası (YKN) kullanılmıştır. İHA verimli bir şekilde çalışmış ve yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları sağlamıştır. Bu resimler üzerinden, orto-görüntüler (Şekil 6), SYM'leri ve nokta bulutları üretilmiştir.



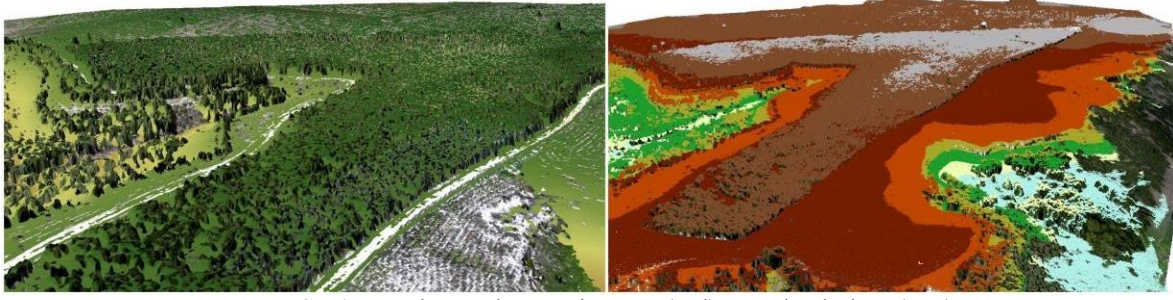
Şekil 5. Çalışma alanı

2.1.Orto-Görüntü, Sayısal Yüzey Modeli ve Nokta Bulutunun Üretilmesi

Pix4D tabanlı Swiss Federal Institute of Technology tarafından geliştirilmiş olan Postflight Terra 3D yazılımı ile sonuç verilerinin elde edilmesi gerçekleştirilmiştir (Şekil 6, Şekil 7).



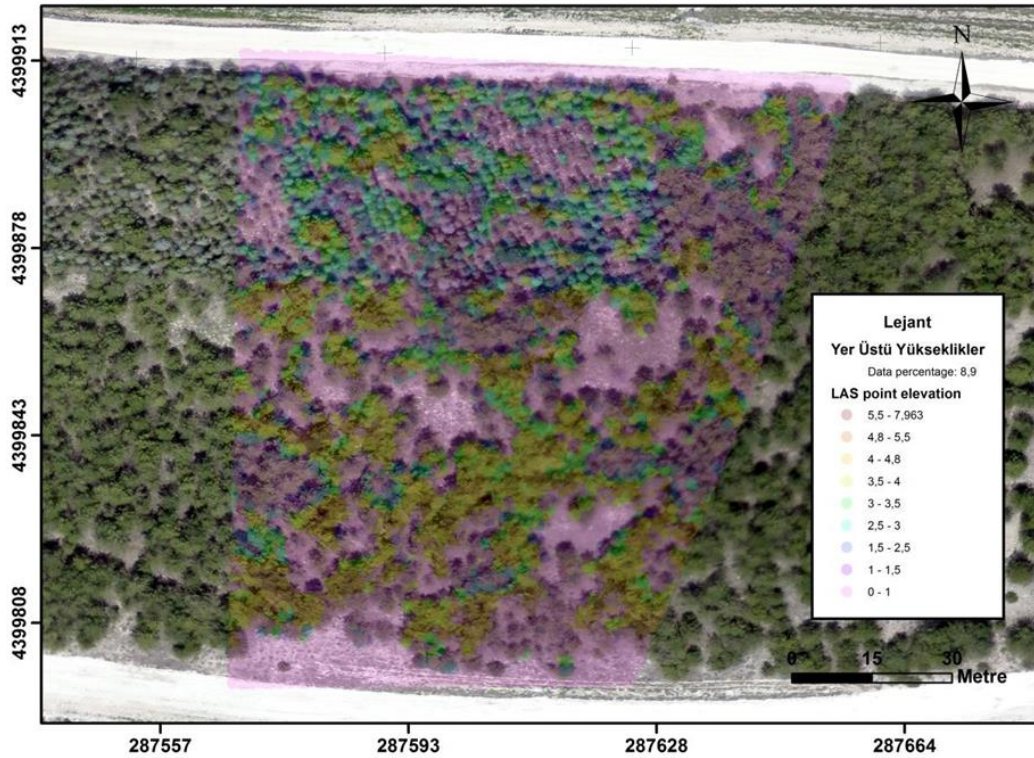
Şekil 6. Çalışma alanına ait orto-görüntü



Şekil 7. Çalışma alanına ait SYM (Sol) ve nokta bulutu (Sağ)

2.2.Yer Üstü Yüksekliğinin Elde Edilmesi

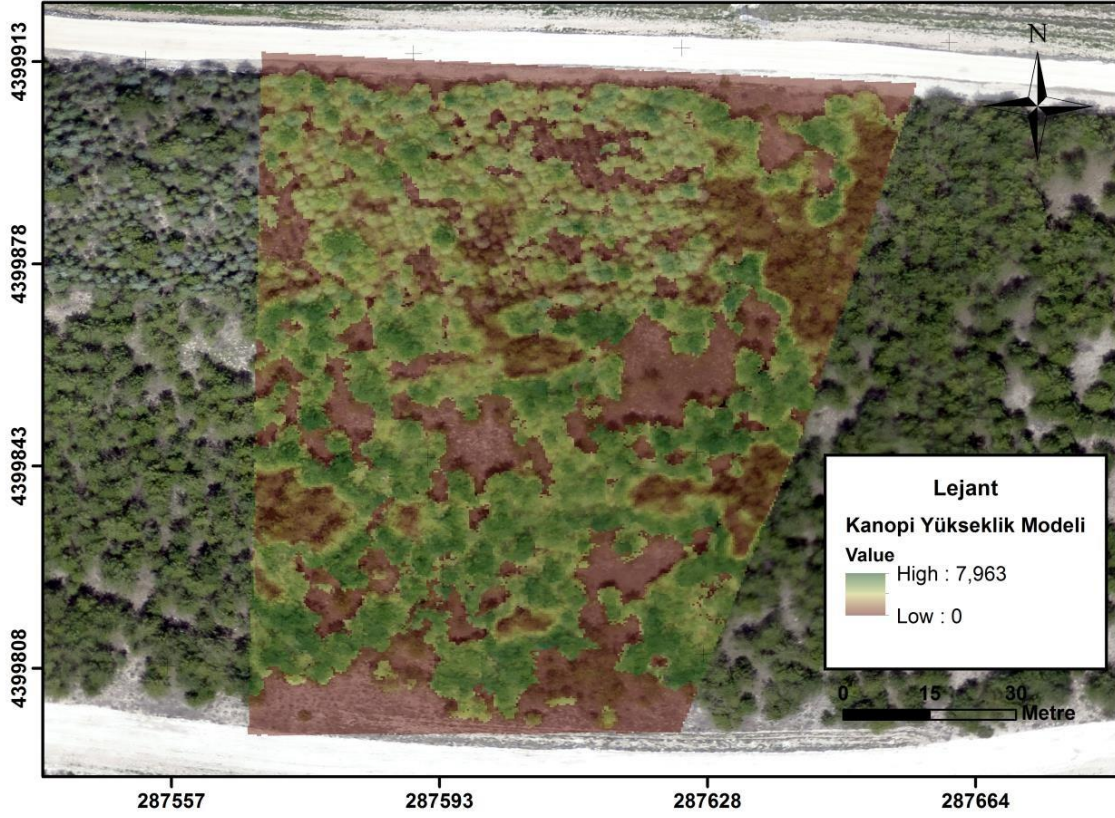
Ağaçların yer üstü yüksekliğini elde etmek amacı ile öncelikle nokta bulutu verisi yer ve yer olmayan noktalar olarak iki ayrı sınıfa göre sınıflandırılmıştır. Yer noktalarından yola çıkılarak arazinin çıplak topoğrafyasını simgeleyen SAM'i üretilmiştir. Bu işlem sırasında ağaçların yeşillikleri altından alınacak olan noktaların doğruluğu ve fazlalığı büyük önem teşkil etmektedir. Ağaçların yeşilliklerinin çok yoğun olduğu alanlarda SAM elde edilmesi sırasında hatalar oluşabilmektedir. Bu işlem adımı Rapidloss GmbH tarafından geliştirilmiş olan LAStools (Rapidloss, 2014) yazılımı kullanılmıştır. Yer üstü yüksekliklere sahip raster verisi Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Yer üstü yükseklikler

2.3.Kanopi Yükseklik Modelinin Oluşturulması

Daha önceki aşamada elde edilen yer üstü yüksekliklerinin gridlenerek bir raster veriye dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için daha önceden yapılan ön hazırlık çalışmalarına bağlı olarak ağaçların büyüklüğüne dayalı adım boyutu seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada 0.3 metrelik bir adım boyu seçilerek test alanı kaplayacak şekilde 300x400 boyutunda bir raster oluşturulmuştur. Piksellere adım boyu içinde kalan noktalardan en büyük yükseklik değerine sahip olan noktanın yükseklik değerleri eklenmiştir. Elde edilen KYM Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Kanopi yükseklik modeli

3.BULGULAR

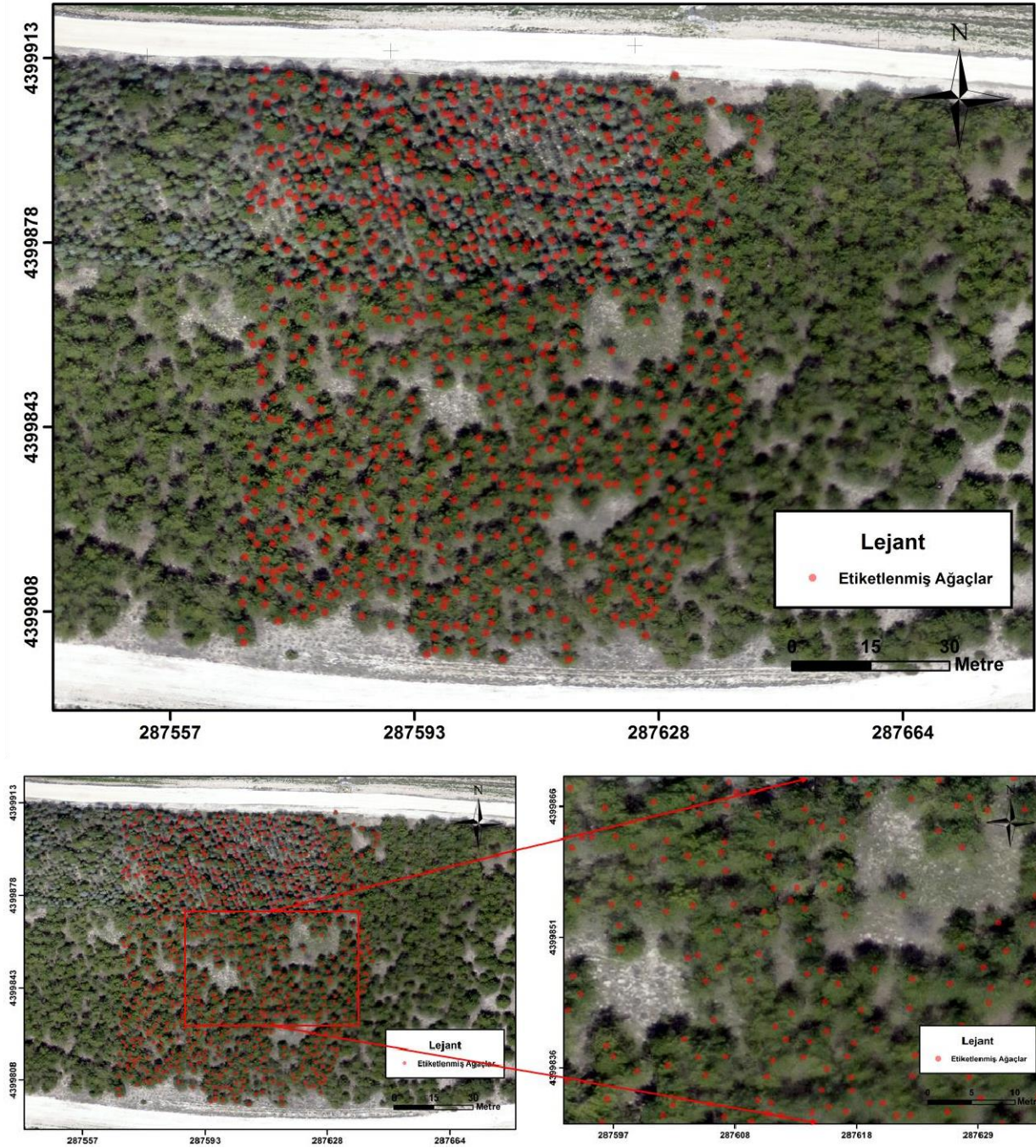
Lokal maksimum filtreleme, daha önceden belirlenmiş pencere boyutunda bir filtreyi KYM üzerinde kullanarak pencere içinde bulunan en büyük değerini etiketlenmesini gerçekleştirmektedir. Etiketlenen her noktanın lokal maksimum olup olmayacağını kontrolü için etiketlenen yüksekliğe, yani ağaç yüksekliğine bağlı bir formül ile elde edilen çap değerine göre çizilmiş çemberin içinde kalan bütün piksellerin yükseklik değerlerinin kontrolü gerçekleştirilir (Eşitlik 1, 2, 3).

$$\text{Yaprak Döken: Taç Genişliği (m)} = 3.09632 + 0.00895 \times ht^2 \quad (1)$$

$$\text{Çam: Taç Genişliği (m)} = 3.75105 - 0.17919 \times ht + 0.01241 \times ht^2 \quad (2)$$

$$\text{Karışık: Taç Genişliği (m)} = 2.51503 + 0.00901 \times ht^2 \quad (3)$$

Kullanılan bu eşitlikler Kini ve Popescu'nun (Kini & Popescu, 2004) çalışmasından alınmıştır. Bu uygulamada test alanında bulunan karışık tipteki ağaçlardan yola çıkılarak Eşitlik 3 uygun bulunmuş ve kullanılmıştır. Eşitliklerde kullanılan ht ağaç yüksekliğini temsil etmektedir. Bu tür uygulamalarda araştırmacıların yersel ölçümlere bağlı şekilde kendilerine ait çalışma parametrelerini üretmeleri büyük önem teşkil etmektedir. Bu işlem adımı boyunca FUSION/LDV (FUSION/LDV, 2014) yazılımı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Tekil ağaçların nokta verisi olarak etiketlenmesi

4.SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı, orman envanterleri için bilgi sağlamak amacıyla ağaç tepesi ve yüksekliğini belirlemede İHA'nın yaratacağı etkinin değerlendirilmesidir. Mevcut çalışma sonucunda bitki yetiştirme, tarım bilimi uygulamaları, bitki tayinleme vb. gibi ormancılık uygulamaları için bu yöntemin kullanışlı olabileceği savunulmuştur. Özellikle bireysel ağaç yükseklikleri, büyüme ve yaş sınıflandırması, yakacak odun miktarı ve muhtemel biyokütle hesaplamaları üzerinde yardımcı olabileceği de düşünülmektedir. Bu çalışmanın temel avantajları, LiDAR, İHA-LiDAR, uzaydan LiDAR, uydu sistemleri ve geleneksel fotogrametrik yöntemlerden daha ucuz ve hızlı olmasıdır. Çalışmanın doğruluğu göz önüne alındığında, bu yaklaşım hava fotoğraflarından en iyi sonuçları almak amacıyla, düşük yükseklikteki uçuşlarda kullanışlı olacaktır. Sensörün kalitesi, daha yüksek irtifada uçuşlara imkan sağlamak suretiyle düşük yükseklikte uçuş sorununu çözebilir. Bu sayede ihtiyaç duyulması halinde araştırmacılar daha fazla alanı kapsayarak çalışmalarını gerçekleştirebilir. Yine de, küçük İHA platformları tarafından gerçekleştirilen düşük yükseklikte uçuşların sayısını artırma, bu yöntemi diğer yöntemlere kıyasla daha faydalı yapabilir.

Yerel ağaç morfolojileri bu yöntemin performansını farklı yönlerde etkileyebilir. Kullanıcıların, kendi yersel verilerine dayalı olarak kendi parametrelerini elde etmeleri önemle tavsiye edilir. Test alanında, ağaç tepelerinin tespiti daha yoğun sayılabilecek ormanlara kıyasla daha kolay olmuştur. Bu yaklaşım, genellikle doğal ormanlarda karşılaşılan biçimde, üst üste gelen ağaçlar nedeniyle ağaç tepelerinin tespit edilemediği alanlarda sorunlara yol açabilir. Orman yapılarının altında kalan arazi modelini elde etme işleminde, ağaçlar arasındaki açıklıklar büyük kolaylık sağlamaktadır. Sadece ağaçlar arasındaki açıklıklar değil, ağaç yeşillikleri arasındaki bulunan boşluklar kök tabanına yakın arazi noktaları elde etmeye yardımcı olabilmektedir.

İHA yüksek kalitede havadan spektral ve 3 boyutlu bilgi elde etmede esnek ve daha ucuz sensör platformları olarak fotogrametrik ve uzaktan algılama uygulamalarına fayda sağlamaktadır. Bu çalışma, insan yapımı ve açık kanopile sahip ormanlarda ağaç konumu ve ağaç yüksekliği tespitinin, görüntü eşleme yolu ile üretilen nokta bulutlarının işlenmesi ile mümkün olduğunu sunmuş, böylece yönetsel kararlara getireceği kolaylığı kanıtlamıştır.

KAYNAKLAR

- Breidenbach, J., Næsset, E., Lien, V., Gobakken, T., Solberg, S.,** 2010, Prediction of species specific forest inventory attributes using a nonparametric semi-individual tree crown approach based on fused airborne laser scanning and multispectral data. *Remote Sens Environ.* 114:911–924.
- Colomina, I., Blázquez, M., Molina, P., Parés, ME., Wis, M.,** 2008, Towards A New Paradigm for High-Resolution Low-Cost Photogrammetry and Remote Sensing. XXII ISPRS Congr Tech Comm I [Internet]. XXXVII Par: 1201. Available from: http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/205.pdf
- Colomina, I., Molina, P.,** 2014, Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS J Photogramm Remote Sens* [Internet]. 92:79–97. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
- FUSION/LDV,** 2014, Software for LiDAR Data Analysis and Visualization. FUSION Version 3.42. United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Station. <http://forsys.cfr.washington.edu/fusion/latest.html>
- Gleason, CJ., Im, J.,** 2012, Forest biomass estimation from airborne LiDAR data using machine learning approaches. *Remote Sens Environ.* 125:80–91.
- Gougeon, FA., Leckie, DG.,** 2006, The individual tree crown approach applied to Ikonos images of a coniferous plantation area. *Photogramm Eng Remote Sensing.* 72:1287–1297.
- Kaartinen, H., Hyypä, J.,** 2008, EuroSDR/ISPRS Commission II project: “Tree Extraction”—final report. Official publication no. 53. EuroSDR, Frankfurt am Main, Germany, 60 p.
- Kini, AU., Popescu, SC.,** 2004, TreeVaW: a versatile tool for analyzing forest canopy LIDAR data: A preview with an eye towards future. In CD-ROM Proceedings, ASPRS 2004 Fall Conference, Kansas City, Missouri.
- Manyoky, M., Theiler, P., Steudler, D., Eisenbeiss, H.,** 2011, Unmanned aerial vehicle in cadastral applications. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XXXVIII-1/C22, 57-62.
- MarketsandMarkets,** 2015, Unmanned Aerial Vehicles Market by Class (Small, Tactical, Strategic, Special Purpose), Subsystem (Data Link, GCS, and Software), Application (Military, Commercial and Homeland Security), Procurement by Purpose (Procurements, RDT&E, O&M), Payload & Geography - Global Forecast to 2020. MarketsandMarkets. Dallas, TX, USA.
- Mayr W.,** 2013, Unmanned aerial systems-for the rest of us. In: 54th Photogrammetric Week. Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart, pp. 125-134.
- Merz, T., Chapman, S.,** 2011, Autonomous unmanned helicopter system for remote sensing missions in unknown environments. *ISPRS, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci.* XXXVIII-1/C22, 277-282.
- Molina, P., Pares, M., Colomina, I., Vitoria, T., Silva, P., Skaloud, J., Kornus, W., Prades, R., Aguilera, C.,** 2012, Drones to the Rescue! Unmanned aerial search missions based on thermal imaging and reliable navigation. *InsideGNSS* 7, 36-47
- Rapidlosso, 2014,** Creator of LASTools for LiDAR. Version 2.1. <http://rapidlosso.com>
- Rinaudo, F., Chiabrando, F., Lingua, A., Spanò, AT.,** 2012, Archaeological Site Monitoring: UAV Photogrammetry Can Be An Answer. In: *International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences*, Vol. XXXIX N. B5, Pp. 583-588. ISSN 1682,1750
- Selkowitz, DJ., Green, G., Peterson, B., Wylie, B.,** 2012, A multi-sensor lidar, multi-spectral and multi-angular approach for mapping canopy height in boreal forest regions. *Remote Sens Environ.* 121:458–471.
- Takahashi, M., Shimada, M., Tadono, T., Watanabe, M.,** 2012, Calculation of Tree Heights Using PRISM-DSM. Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency. 12–15.
- Vauhkonen, J., Ene, L., Gupta, S., Heinzl, J., Holmgren, J., Pitkanen, J., Solberg, S., Wang, Y., Weinacker, H., Hauglin, KM., et al.,** 2012, Comparative testing of single-tree detection algorithms under different types of forest. *Forestry* [Internet]. 85:2740. <http://forestry.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1093/forestry/cpr051>

- Wallace, L., Lucieer, A., Watson, C., Turner, D.,** 2012, Development of a UAV-LiDAR System with Application to Forest Inventory. *Remote Sens.* 4:1519–1543.
- Wallace, L., Lucieer, A., Watson, CS.,** 2014a, Evaluating tree detection and segmentation routines on very high resolution UAV LiDAR data. *IEEE Trans Geosci Remote Sens.* 52:7619–7628.
- Wallace, L., Musk, R., Lucieer, A.,** 2014b, An assessment of the repeatability of automatic forest inventory metrics derived from UAV-borne laser scanning data. *IEEE Trans Geosci Remote Sens.* 52:7160–7169.
- Zarco-Tejada, PJ., González-Dugo, V., Berni, JAJ.,** 2012, Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera. *Remote Sens Environ* [Internet]. 117:322–337. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425711003555>
- Zarco-Tejada, PJ., Diaz-Varela, R., Angileri, V., Loudjani, P.,** 2014, Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. *Eur J Agron.* 55:89–99.
- URL 1:** http://arcturus-uav.com/sites/default/files/styles/gallery-full/public/product_slideshow/Catapult%20Launcher_Website.jpeg

[1021]

İNSANSIZ HAVA ARACI (İHA) İLE FARKLI YÜKSEKLİKLERDEN ÜRETİLEN SAYISAL YÜZEY MODELLERİNİN (SYM) DOĞRULUK ANALİZİ

Orkan ÖZCAN¹, Semih Sami AKAY²

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, 34469, Maslak, İstanbul, ozcanork@itu.edu.tr

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, Esenler, İstanbul, semih.sami.akay@std.yildiz.edu.tr

ÖZET

Günümüzde İnsansız Hava Araçları (İHA), iş gücü kapasitesi ve kısa zamanda yüksek konumsal ve zamansal çözünürlüklü görüntülerin elde edilmesinde klasik fotogrametri metoduna göre düşük maliyeti ile çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaya başlanmıştır. Üç boyutlu yeryüzü modellerinin oluşturulması, yüksek çözünürlüklü ortofoto üretimi, ulaşım ağı planlamaları, arazi izlemeleri, orman, maden ve tarım alanlarının belirlenmesi ve izlenmesi gibi çeşitli alanlarda İHA kullanılmaktadır. Haritacılık uygulamalarında ortofoto haritalardaki geometrik doğruluk oldukça büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, İHA ile farklı yüksekliklerde yapılan uçuş planlarında bütünleşik dijital kameradan elde edilen görüntülerin ve üretilen Sayısal Yüzey Modellerinin (SYM) konumsal doğruluklarının ortaya konulması amaçlanmıştır. Yer kontrol noktalarının koordinatları Ayrımsal Küresel Konumlama Sistemi (DGPS) ile belirlenerek konumsal doğrulama için kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca üretilen yoğun nokta bulutlarının doğrulukları arazi ölçmeleri ile karşılaştırılmıştır. Düşeyde İHA ve DGPS ile yapılan ölçümlerde ortalama olarak santimetre seviyesindeki fark dikkat çekmektedir. Yüzeydeki ani değişimlerin olduğu bölgelerde ise daha büyük değerler olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: İnsansız Hava Aracı (İHA), doğruluk analizi, DGPS, Sayısal Yüzey Model (SYM), Nokta Bulutu

ABSTRACT

ACCURACY ASSESSMENT OF THE DIGITAL SURFACE MODELS (DSMs) GENERATED FROM DIFFERENT ALTITUDES USING UNMANNED AERIAL VEHICLE

Nowadays, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) were initiated to be used in various application areas to acquire high spatial and temporal resolution imageries due to working capacity and in a short span of time with regard to conventional photogrammetry methods. UAVs have been used for various fields such as for the creation of 3-D earth models, production of high resolution orthophotos, network planning, field monitoring and determination of forest, mining and agricultural lands as well. Geometric accuracy of orthophotos is of capital importance for land surveying applications. In this study, it was aimed to reveal the spatial accuracy of the images acquired from integrated digital camera and produced Digital Surface Model (DSM) which were taken from UAV flight plans with different altitudes. Ground control points collected with Differential Global Positioning System (DGPS) are identified and used for georeferencing. This study also compares the accuracy of the generated point clouds depending on field survey points. The vertical comparison of UAV with respect to DGPS measurements pointed out an average distance at cm-level. Larger values are found in areas where instantaneous changes in surface are present

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), accuracy assessment, DGPS, Digital Surface Model (DSM), Point Cloud

1.GİRİŞ

İnsansız hava araçları (İHA), sahip oldukları bataryaların uçuş sürelerine bağlı olarak otomatik ya da yarı otomatik uçabilme özellikleri ve üzerlerinde monte edilmiş kameralar yardımıyla yeryüzünün görüntülenmesinde yersel ölçüm tekniklerine göre çeşitli avantajları ortaya çıkartmaktadır. İHA'lara yerleştirilen kameralar tarafından üretilen görüntüler, özellikle insanların erişmesinin zor veya tehlikeli olabileceği arazilerde ölçüm yapabilmesini sağlayabilmektedirler. İHA'ların yeryüzünün haritalanması işlemlerinde kullanılması diğer uzaktan algılama platformlarına göre düşük maliyetle kısa sürede çok yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüklü görüntüler elde edilmesini sağlamaktadır. İHA'lar, en güncel haritalama, modelleme ve izleme imkânı sağlayan uzaktan algılama platformları olmakla birlikte hem uydu görüntülerine zamansal ve mekânsal çözünürlükte alternatif sunması hem de yersel ölçmeler ile doğrudan ilişki kurulabilmesi ile uydu ve arazi ölçeği arasındaki boşluğu dolduracak bir köprü görevi üstlenmektedir.

İHA'lar istenilen zamanda hava şartları göz önünde bulundurularak çalışılacak bölgeye ait yüksek çözünürlüklü görüntü alınması sağlayarak klasik ölçme metotlarına ve uydu sistemlerine göre maliyet ve zamandan kazanç sağlayabilmektedir. Ayrıca günümüzde İHA'lara gelişmiş konumlandırma sistemleri de monte edilebilmektedir. Dolayısıyla RTK'lı İHA'lar ya da alınan görüntülerle beraber yapılacak yersel ölçümler ile konumsal doğrulukları yüksek ortofoto haritaların üretimi sağlanmaktadır.

2.ÇALIŞMA ALANI VE VERİ TANIMI

Bu çalışmada; İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü içerisinde, İTÜ Stadyumu ile İleri Teknoloji Merkezi binası arasındaki yaklaşık olarak 12.300 m²'lik alan ile Gölet öğrenci yurtlarını içeren yaklaşık olarak 11.800 m²'lik alan çalışma alanları olarak seçilmiştir. Ayrıca çalışma alanı, yapay yüzeyler ve doğal yüzeyler göz önüne alınarak obje çeşitliliği içerecek şekilde belirlenmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü ve çalışma alanları Şekil 1'de gösterilmiştir.



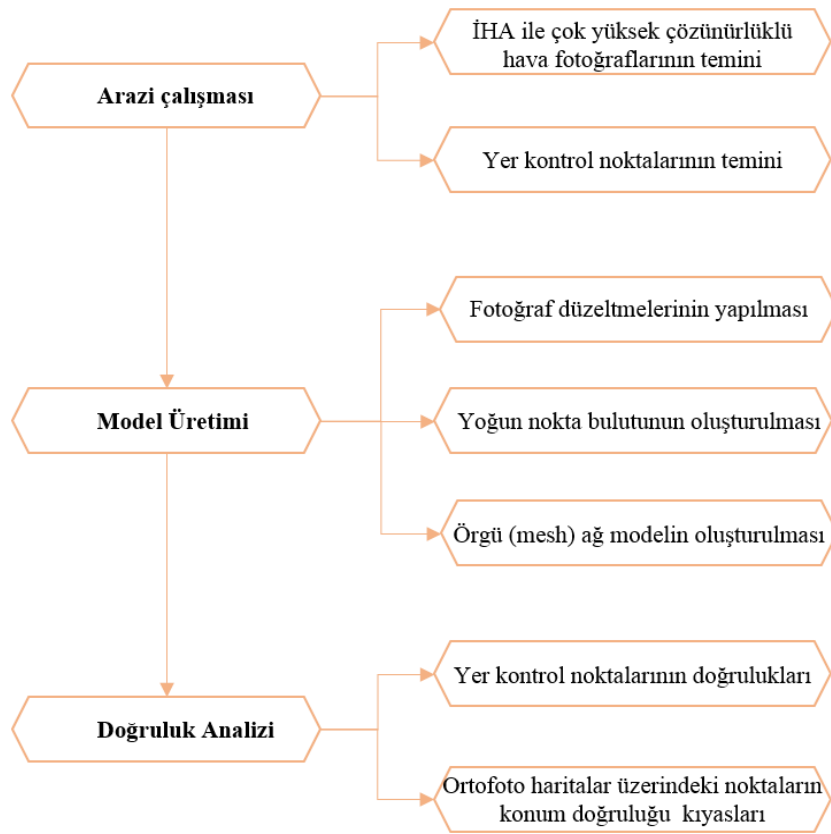
Şekil 1. Çalışma alanlarının Google Earth görüntüsü üzerinde oluşturulan ortomozaik görüntüler.

Çalışma kapsamında, ortofoto haritaların üretimi için kullanılacak görüntülerin temin edilmesi amacıyla 12MP çözünürlüklü ve odak uzaklığı 20 mm özellikli entegre kamera sistemine sahip insansız hava aracı kullanılmıştır. İHA yaklaşık olarak 1.5 kg ağırlığında olup üzerinde bulunan GPS ve GLONASS konumlandırma sistemleri yardımıyla fotogrametrik ölçümler için hazırlanan uçuş planları doğrultusunda üzerine yerleştirilmiş dijital kamera ile uçuş sırasında %90 örtüşme oranını sağlayacak şekilde fotoğraf çekimleri yaparak görüntü temini yapabilmektedir.

Çalışmada, iki farklı bölgede farklı yüksekliklerde planlı uçuşlar yapılarak %90 örtüşme oranı ile çekilen görüntülerden üretilen ortofoto haritaların mekânsal çözünürlükleri, konum doğrulukları ve üretilen nokta bulutlarından elde edilen yükseklikler ile arazi çalışmasında ölçülen gerçek değerler kıyaslanmıştır. İleri Teknoloji Merkezi alanında yapılan uçuşların ilki 12 Mayıs 2016 tarihinde yerden 30 metre yükseklikte belirlenen uçuş planı üzerinde 97 adet fotoğraf çekimi yapılarak gerçekleştirilmiştir. İkinci uçuş, 31 Mayıs 2016 tarihinde yerden 50 metre yükseklikte belirlenen uçuş planı üzerinde 70 adet fotoğraf çekimi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Gölet öğrenci yurtları alanında yapılan uçuş 12 Mayıs 2016 tarihinde yerden 50 metre yükseklikte belirlenen uçuş planı üzerinde 168 adet fotoğraf çekimi yapılarak gerçekleştirilmiştir.

3.YÖNTEM VE UYGULAMA

Çalışma aşamasında sırasında sırasıyla İHA aracılığıyla hava fotoğrafları temin edilmiş, hava fotoğrafları düzenlenmiş, model oluşturulmuş ve ortofoto harita üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan işlem adımlarını gösteren iş akış diyagramı Şekil 2'deki gibidir.



Şekil 2. Çalışma iş akış diyagramı.

3.1. Structure-from-Motion (SfM)

Structure-from-Motion (SfM) fotogrametri; son yıllarda kullanılmaya başlayan, yüksek çözünürlüklü veri kümeleri üzerinde geniş ölçekte çalışmayı mümkün kılan, devrimsel nitelikte, düşük maliyetli ve kullanıcıya avantaj sağlayan bir fotogrametrik tekniktir. SfM tekniği, biyolojik görüntü algılamadaki insanların (ve diğer canlıların) çevrelerindeki 3 boyutlu ortamı, göz içindeki retina tabakasında oluşan 2 boyutlu hareketli görüntülerden algılamasına karşılık gelmektedir. Structure-from-Motion (SfM), fotoğrafların kamera parametrelerinin, pozisyonlarının ve görüntülerdeki obje üç boyutlu geometrilerinin otomatik olarak düzenlenmesini sağlayarak üç boyutlu model oluşturulmasını sağlayan görüntü temelli modelleme tekniğidir.

SfM, fotogrametrik ölçüm işlemlerini temel alarak belirli örtüşme oranı ile farklı konumlarda çekilen fotoğraf serilerindeki objelerin eşleştirilmesine dayalı objelerin üç boyutlu modellenmesini sağlamaktadır (Snavely, 2007). Görüntüler arasındaki ilişkilerin bulunabilmesi için, görüntüde algılanan köşeler kenarlar vs gibi özelliklerin (features), bir görüntüden diğerine izlenmesi gerekmektedir. Son yıllarda SfM tekniği, ticari yazılımlar aracılığıyla İHA araçlarından elde edilen görüntülerin işlenerek yüksek çözünürlüklü sayısal yeryüzü modeli ve ortofoto haritaların üretilmesinde kullanılmaktadır (Lucieer, 2012).

3.2. Ortofoto Üretimi

Ortofoto harita ve sayısal yüzey modelleri, SfM fotogrametrik işlemleri temel alınarak üretilir. Üç boyutlu yüzeylerin üretilmesinde örtüşen görüntülerin eşlenmesi, yoğun nokta bulutlarının oluşturulması, yoğun nokta bulutu üzerinden üç boyutlu ağ modeli ve ortofoto harita üretim SfM fotogrametrik ölçüm adımları sırasıyla gerçekleştirilmektedir (Jaud vd., 2016, Woodget vd., 2015, Javernick vd., 2014).

Öncelikle ışın demetleri dengelemesi (bundle adjustment) ile kamera hizalama işlemi gerçekleştirilir. Çekilen seri fotoğrafların ve kamera kalibrasyon parametrelerinin düzeltmeleri için harici kamera parametrelerinin hesaplanması için seri halinde çekilen fotoğraflarda örtüşen bölgelerinde ortak bağ noktaları tespit edilerek eşleştirilir. Eşleştirilen görüntüler üzerinden yoğun nokta bulutu üretimi için belirlenen kamera konumlarından ve fotoğraflardan yazılımdaki stereofotogrametrik denklemler her bir bağ noktasının konumunun hesaplanması sağlar. Yoğun nokta bulutuna bağlı