

İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Farklı Yüksekliklerden Üretilen Sayısal Yüzey Modellerinin (SYM) Doğruluk Analizi

Orkan Özcan^{1*}

^{1*} İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, 34469, Maslak, İstanbul, ozcanork@itu.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. Yüzey topoğrafyasında ani değişimlerin olduğu bölgelerde ise daha büyük farklar gözlenmiştir.

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

Accuracy Assessment of the Digital Surface Models (DSMs) Generated from Different Altitudes using Unmanned Aerial Vehicle

Abstract

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 including 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 primary importance in 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 acquired via 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 among data provided by UAV and DGPS measurements pointed out an average distance at cm-level. Larger differences were observed in areas where abrupt changes in surface topography are present.

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

1 Giriş

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 metodlarına ve uydu sistemlerine göre maliyet ve zamandan kazanç sağlayabilmektedir. Ayrıca günümüzde İHA'lara gelişmiş konumlandırma sistemleri de monte edilebilmektedir. Dolayısıyla gerçek zamanlı kinematik (RTK - Real - Time Kinematic) İHA'lar ya da alınan görüntülerle beraber yapılacak yersel ölçümler ile konumsal doğrulukları yüksek ortofoto haritaların üretimi sağlanmaktadır.

2 Çalışma Alanı ve Veri Tanımı

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.

Çalışma kapsamında, ortofoto haritaların üretimi için kullanılacak görüntülerin temin edilmesi amacıyla 12MP çözünürlüklü ve odak uzaklığı 20 mm özellikli

entegre kamera sistemine ve yaklaşık 15 dk havada kalma süresine sahip DJI Phantom 3 insansız hava aracı kullanılmıştır.



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

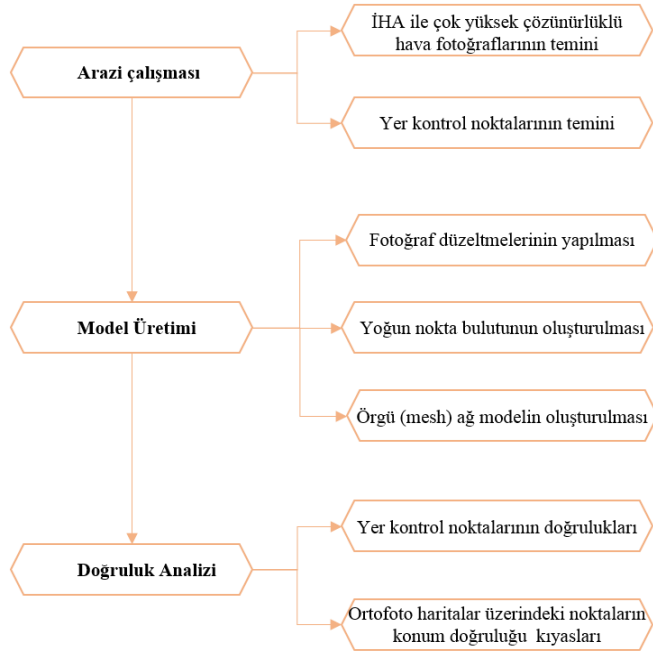
Çalışmada kullanılan İHA, yaklaşık olarak 1.5 kg ağırlığında olup üzerinde bulunan GPS ve GLONASS konumlandırma sistemleri yardımıyla fotogrametrik ölçümler için hazırlanan uçuş planları doğrultusunda üzerine yerleştirilmiş dijital kamera ile uçuş sırasında hem uçuş yönünde hem de uçuş yönüne dik olarak %90 örtüşme oranını sağlayacak şekilde fotoğraf çekimleri yaparak görüntü temini yapabilmektedir.

Çalışmada, iki farklı bölgede farklı yüksekliklerde planlı uçuşlar yapılarak, görüntüler arası ortak bağ noktalarının eşleştirilmesi amacıyla görüntülerin birbirleri ile örtüşme oranı uçuş yönünde ve uçuş yönüne dik olarak %90 olarak planlanmış ve bu 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 30 metre

yükseklikte belirlenen uçuş planı üzerinde 111 adet fotoğraf çekimi yapılarak gerçekleştirilmiştir.

3 Yöntem ve Uygulama

Çalışma aşamasında sırasıyla İHA aracılığıyla hava fotoğrafları temin edilmiş, hava fotoğrafları düzenlenmiş, model oluşturulmuş ve ortofoto harita üretimi Pix4D yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan işlem adımlarını gösteren iş akışı diyagramı Şekil 2'deki gibidir.



Şekil 2. Çalışma iş akışı 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 [Snavley vd., 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 vd., 2014].

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 [Javernick vd., 2014; Woodget vd., 2015; Jaud vd., 2016].

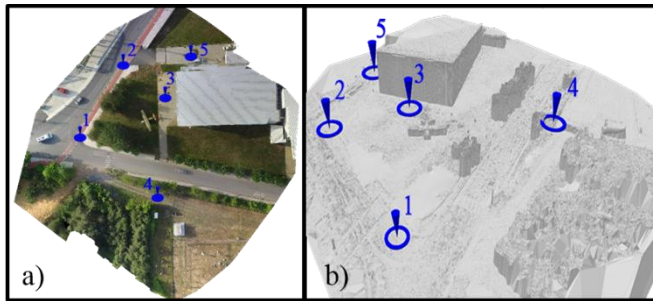
Öncelikle ışın demetleri dengelemesi (bundle adjustment) ile kamera hizalama işlemi gerçekleştirilir. Çekilen seri fotoğrafların ve kamera kalibrasyon parametrelerinin düzeltmeleri için harici kamera parametrelerinin hesaplanması için seri halinde çekilen fotoğraflarda örtüşen bölgelerinde ortak bağ 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 olarak yüzeyi 3 boyutlu poligon ağ modeli oluşturulur. Yeniden oluşturulan ağ modeli ile ortofoto üretimi gerçekleştirilir. Sayısal yüzey modeli ise düzenli grid üzerine düzensiz poligon ağ modelinin enterpolasyonu ile hesaplanarak oluşturulur. SfM tekniği ile üretilen ortofoto haritalarda, İHA'ların fotoğrafları çekimleri sırasında buldukları konumları olarak üretilmektedir. Fotoğraf konumları, İHA'lar üzerinde bulunan GPS/GNSS sistemleri tarafından belirlenmektedir. Bu nedenle fotoğrafların konum doğrulukları yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. Oluşturulan ortofoto haritalardaki objelerin konum doğrulukları gerçek konumlarına oranla yaklaşık konumlarını vermektedir. Konum doğruluklarının yüksek doğrulukla hesaplanabilmesi için yer kontrol

noktaları ortofoto haritaların üretiminde entegre edilerek kullanılmaktadır. Çalışmada, yüksek doğrulukla ortofoto haritaların üretilmesi amacıyla çalışma alanında homojen olarak dağılacak şekilde kontrol noktaları belirlenmiştir. Yer kontrol noktalarının ölçülmesi amacıyla DGPS çalışması yapılmıştır. Noktaların UTM projeksiyonu, WGS 84 datumu 35. Zon 6. Derecelik diliminde koordinatları Tablo 1'deki gibidir.

Tablo 1. Yer kontrol noktası koordinatları.

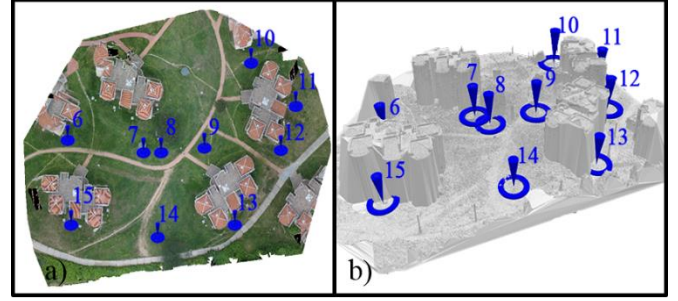
Ykn	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	669963.74 ± 0.02	4551885.05 ± 0.02	109.064 ± 0.025
2	669986.89 ± 0.02	4551918.08 ± 0.02	111.422 ± 0.024
3	670003.98 ± 0.02	4551899.87 ± 0.02	111.184 ± 0.024
4	670006.34 ± 0.02	4551855.49 ± 0.02	114.145 ± 0.018
5	670019.31 ± 0.02	4551920.77 ± 0.02	111.136 ± 0.025
6	670351.41 ± 0.02	4552008.17 ± 0.02	131.312 ± 0.035
7	670386.09 ± 0.02	4552005.82 ± 0.02	133.077 ± 0.027
8	670391.84 ± 0.02	4552004.55 ± 0.02	129.267 ± 0.022
9	670412.55 ± 0.02	4552006.31 ± 0.02	129.055 ± 0.025
10	670435.77 ± 0.02	4552041.67 ± 0.02	129.011 ± 0.071
11	670452.61 ± 0.02	4552023.67 ± 0.02	126.835 ± 0.034
12	670446.48 ± 0.02	4552004.24 ± 0.02	125.139 ± 0.020
13	670425.82 ± 0.02	4551975.54 ± 0.02	123.896 ± 0.027
14	670391.38 ± 0.02	4551971.55 ± 0.02	127.211 ± 0.020
15	670348.95 ± 0.02	4551977.07 ± 0.02	128.865 ± 0.030

Çalışma kapsamında ölçülen yer kontrol noktaları sisteme eklenmiş ve noktaları içeren fotoğraflarda işaretlenmiştir. İleri Teknoloji Merkezi'nin bulunduğu çalışma alanındaki yer kontrol noktalarının dağılımı Şekil 3'deki gibidir.



Şekil 3. İleri Teknoloji Merkezi YKN'larının a) ortofoto ve b) sayısal yüzey modeli üzerindeki dağılımı.

Gölet öğrenci yurtlarının bulunduğu çalışma alanındaki yer kontrol noktalarının dağılımı Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Gölet öğrenci yurtları YKN'larının a) ortofoto ve b) sayısal yüzey modeli üzerindeki dağılımı.

Çalışma kapsamında hazırlanan uçuş planları çevre faktörlerine (elektrik direği, ağaç, baz istasyonu vb.) ve yerleşim alanı için belirlenmiş yasal sınırlara göre belirlenmiştir. Çalışma alanını alacak şekilde en uygun uçuş planı belirlenmiştir. Uçuş planı rotasında yapılan İHA uçuşları, fotoğraf çekiminde örtüşme oranlarının doğrulukla yapılabilmesi için otomatik pilot ile yapılmıştır. Çalışmada ölçülen yer kontrol noktaları farklı yükseklikte yapılan her iki uçuş için sonucunda yüksek doğrulukla ortofoto haritaların üretilmesi amacıyla SfM fotogrametrik işlemleri başlangıcında sisteme entegre edilmiştir. Yer kontrol noktaları, yapılan uçuşlar sonucu temin edilen fotoğraflarda işaretlenerek, fotoğraf eşleme işlemine başlanılmış olup fotoğraf eşleme işleminin tamamlanması ile yoğun nokta bulutu üretilmesi yapılarak ortofoto harita üretimi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Farklı irtifalarda gerçekleştirilen uçuşlardan elde edilen görüntülerden üretilen nokta bulutu yoğunlukları, ölçüm hassasiyetini etkileyeceğinden 1m³ hacimdeki nokta sayıları belirlenmiştir.

Çalışma alanında üretilen nokta yoğunluğu 5000 – 6000 nokta/m³ olarak belirlenmiştir. Görüntü işleme yazılımında, yer kontrol noktalarının fotoğraflarda işaretlenmesi sonrasında görüntü işleme işlemi sonucunda oluşturulan ortofoto haritalardaki ile DGPS ile ölçülmüş yer kontrol noktalarındaki hata miktarları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Görüntü işleme yazılımında fotoğrafların işlenmesi sonucunda İleri Teknoloji Merkezi alanında üretilen ortofoto haritaların yer örnekleme aralıkları (GSD) sırasıyla 12 Mayıs 2016 tarihinde 30m yükseklikte yapılan çalışma için 1.60 cm, 31 Mayıs 2016 tarihinde 50m yükseklikte yapılan çalışma için 1.67 cm'dir. Gölet öğrenci yurtları alanında ortofoto haritaların yer örnekleme aralıkları ise 1.24 cm'dir.

Tablo 2. Yer kontrol noktaları hata ölçüleri.

İleri Teknoloji Merkezi - 12.05.2016			
Ykn	Hata miktarı X(m)	Hata miktarı Y(m)	Hata miktarı Z(m)
1	0.013	-0.016	0.052
2	0.009	-0.022	-0.050
3	-0.016	0.020	0.014
4	-0.017	-0.001	-0.016
5	0.029	0.029	0.004
RMS (m)	0.004	0.002	0.001
İleri Teknoloji Merkezi - 31.05.2016			
1	0.004	-0.005	0.005
2	0.020	-0.035	0.020
3	-0.010	0.030	0.000
4	-0.011	-0.013	0.000
5	0.013	0.030	-0.039
RMS (m)	0.013	0.026	0.020
Gölet Öğrenci Yurtları - 12.05.2016			
6	-0.005	-0.005	0.021
7	0.030	-0.036	0.012
8	0.009	0.030	-0.075
9	0.017	0.017	0.091
10	-0.002	0.008	-0.056
11	0.005	0.031	-0.013
12	-0.036	-0.031	0.035
13	0.026	-0.054	-0.043
14	-0.032	0.046	-0.045
15	-0.003	-0.017	0.055
RMS (m)	0.021	0.031	0.051

3.3 Doğruluk Analizi

Üretilen ortofoto haritalar, kullanılan yer kontrol noktalarının hata miktarları göz önüne alındığında cm mertebesinde hatalar ile üretildiği gözlemlenmiştir. Ortofoto haritalarda, nokta ölçüm doğruluklarının yanı sıra çeşitli objelerin uzunluk ve yükseklik olarak da doğruluklarının kıyaslanması işlemleri yapılmıştır. Objelerin yükseklik kıyasları oluşturulan yoğun nokta bulutu ile gerçekleştirilmiştir.

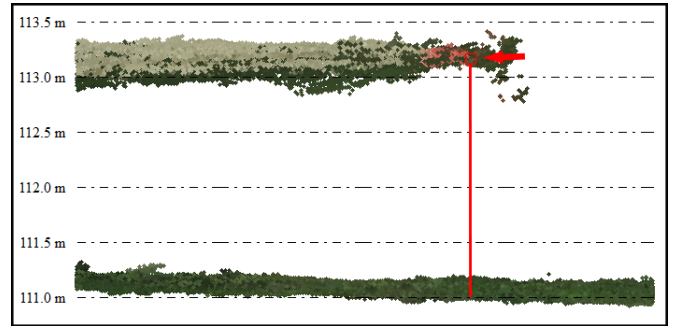
İleri Teknoloji Merkezi çalışma alanında bulunan objelerden yön okunun uzunluğu ve genişliği, uçak kanatlarının genişlikleri, kaldırım genişliklerinin gerçek boyutları ile kıyaslama işlemleri yapılmıştır. Uzunluk ve yükseklik kıyası yapılan objeler; bisiklet yolunda bulunan yön oku, bahçe ışıklandırması, uçak ön ve arka kanatları Şekil 5'te görülmektedir.

Yersel ölçüler ile ortofoto haritalar üzerinde objelerin uzunlukları ölçülerek kıyaslama işlemleri yapılmıştır.



Şekil 5. İleri Teknoloji Merkezi çalışma alanında seçilen objelerin ortofoto üzerinde gösterimi.

Yoğun nokta bulutu üzerinden çıkarılan düşey profilleri ile objelerin yer yüzeyinden yükseklikleri belirlenmiştir. Belirlenen yükseklikler, arazide yapılan yükseklik ölçümleri ile kıyaslanmıştır. Çalışma alanında bulunan uçağın ön kanadı için oluşturulmuş düşey yükseklik profili Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Uçak ön kanat yoğun nokta bulutu üzerinden oluşturulan düşey profil.

İleri Teknoloji Merkezi çalışma alanında bulunan objelerin gerçek uzunluk ölçümleri ile ortofoto haritada üzerinde ölçülen uzunluk ölçümleri ile uzunluk fark kıyaslamaları Tablo 3'de gösterilmiştir. Aynı zamanda çalışma alanındaki objelerin gerçek yükseklikleri ile yoğun nokta bulutu modelindeki yükseklikleri arasındaki ölçüm farklarının sonuçları Tablo 4'de gösterilmiştir. Ölçüm kıyaslaması sonucunda gerçek uzunluklar ile ortofoto haritalar üzerindeki ölçümlerde uzunluk farklarının 0.2 ile 4 santimetre arasında

değiştirdiği görülmüştür.

Tablo 3. İleri Teknoloji Merkezi çalışma alanındaki objelerin uzunluk ölçüleri.

Obje	Uzunluklar (m)				
	Gerçek	12.5.2016	Δl	31.5.2016	Δl
Yön Oku	0.985	0.987	0.002	0.991	0.006
Kanat Boyu	1.638	1.609	0.029	1.590	0.048
Kanat Eni	0.478	0.472	0.006	0.490	0.012

Tablo 4. İleri Teknoloji Merkezi çalışma alanındaki objelerin yükseklik ölçüleri.

Obje	Yükseklikler (m)				
	Gerçek	12.5.2016	Δh	31.5.2016	Δh
Ön Kanat Arka Kanat	2.04	2.105	0.065	2.121	0.081
Işıklı dırma Kapı Direği	1.30	1.357	0.057	1.360	0.060
	0.85	0.879	0.029	0.899	0.049
	1.85	1.818	0.032	1.883	0.033

Ölçüm kıyaslaması sonucunda gerçek uzunluklar ile ortofoto haritalar üzerindeki ölçümlerde uzunluk farklarının 0.2 ile 4 santimetre arasında değiştiği görülmüştür. Yükseklik kıyaslaması sonucunda ise yapılan ölçümler 2 ile 6 santimetre aralığında hesaplanmıştır. Aynı bölgede farklı yüksekliklerde yapılan uçuşlar sonucu oluşturulan ortofoto haritalar kıyaslandığı zaman düşük yükseklikte yapılan uçuşun az bir farkla daha iyi doğruluğa sahip olduğu görülmektedir. Bununla beraber yatayda ve düşeydeki ölçüm doğruluklarının cisimlerin yerden yüksekliklerine bağlı olduğu da görülmektedir.

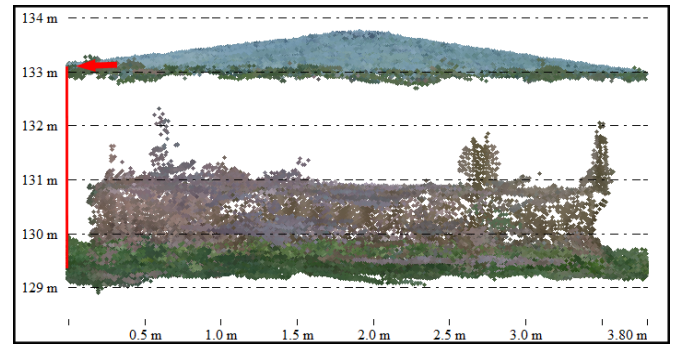
İleri Teknoloji Merkezi çalışma alanında yapılan uzunluk ve yükseklik ölçümlerin Gölet öğrenci yurtları çalışma alanında da gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında seçilen objeler; çardak, iki adet kare rögar ve bir bahçe ışıklandırması Şekil 7'de gösterilmiştir. Gölet öğrenci yurtları çalışma alanındaki objelerden çardağın bir köşe noktasının yerden yüksekliği, iki adet kare rögar kenar uzunluğu ve bir adet bahçe ışıklandırma sisteminin gerçek boyutları, üretilen ortofoto harita ile uzunluklarının kıyasının gösterildiği Tablo 5 ve yoğun nokta bulutu modeli arasındaki yükseklik farkı kıyaslama işlemleri Tablo 6'da gösterilmiştir.



Şekil 7. Gölet öğrenci yurtları çalışma alanında seçilen objelerin ortofoto üzerinde gösterimi.

Tablo 5. Gölet öğrenci yurtları çalışma alanındaki objelerin uzunluk ölçüleri.

Obje	Uzunluklar (m)		
	Gerçek	12.05.2016	Δl
Rögar Kapağı - 1	1.105	1.127	0.022
Rögar Kapağı - 2	0.700	0.705	0.005



Şekil 8. Çardak yoğun nokta bulutu üzerinden oluşturulan düşey profil.

Tablo 6. Gölet öğrenci yurtları çalışma alanındaki objelerin yükseklik ölçüleri.

Obje	Yükseklikler (m)		
	Gerçek	12.05.2016	Δh
Çardak	2.770	3.480	0.710
Işıklıdırma	1.085	1.117	0.032
Rögar Kapağı-1	0.315	0.327	0.012
Rögar Kapağı-2	0.295	0.332	0.037

Ölçüm kıyaslaması sonucunda gerçek uzunluklar ile ortofoto haritalar üzerindeki ölçümlerde uzunluk farklarının 0.05 ile 2 cm arasında değiştiği görülmüştür. Yükseklik kıyaslaması sonucunda ise yapılan ölçümler 1 ile 70 cm aralığında hesaplanmıştır. Ani yükseklik değişiminin gözlemlendiği objelerden olan çardak objesine bakıldığında yapılan kıyaslama sonucu çıkan

hatanın, yüksekliği düşük olan objelerden daha fazla olduğu görülmektedir. Objelerin yerden yükseklikleri arttıkça objelerdeki ölçüm değerlerinin doğruluklarının da düştüğü gözlenmiştir.

4 Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, insansız hava araçları kullanılarak ortofoto haritaların üretilmesinde uçuş yüksekliğinin, yeryüzü şekli ve yüzeyde bulunan objelerin konum doğruluklarına etkisi ve ortofoto haritaların konum hassasiyetleri incelenmiştir. Ayrıca çalışmada üretilen yoğun nokta bulutu modellerinin de doğrulukları arazi ölçmeleriyle karşılaştırılmıştır. Farklı irtifalardan gerçekleştirilen her bir uçuştan elde edilen ve ölçüm hassasiyetini etkileyen nokta bulutu yoğunlukları belirlenmiştir. Buna göre; 1 m³ hacim içerisindeki ortalama nokta bulutu 5000 – 6000 nokta olarak elde edilmiştir. Yatayda yapılan ölçümlerin düşey ölçümlere göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Çalışmada üretilen ortofoto haritaların doğrulukları yatayda yaklaşık olarak 5-6 cm civarında olduğu tespit edilmiştir. Düşey konumda İHA ve DGPS ile yapılan ölçümler kıyaslandığında doğrulukların ortalama olarak santimetre seviyesindeki farkı dikkat çekmektedir. Yüzeydeki ani değişimlerin olduğu bölgelerde ise daha büyük değerler olduğu gözlenmiştir. Oluşturulan yoğun nokta bulutları üzerinden alınan kesitler ile yapılan ölçümlerde ise düşeydeki doğruluğun ani yükseklik değişimleri olan bölge ve objeler dışında yaklaşık olarak 1 ile 6 cm arasında olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada yapılan karşılaştırmalar neticesinde elde edilen hata miktarları, DGPS noktalarının kalibre edilmiş model ile karşılaştırması neticesinde elde edilmiştir. Saha uzunlukları ile ortofoto uzunlukları arasındaki daha yüksek miktardaki hatalar, gerçek hata miktarlarının belirlenmesi ile giderilebilmektedir. Bunun için; çalışma alanında DGPS ölçümleri ile birlikte bazı doğrulama ölçümlerinin alınması ve model kalibrasyonunda sadece doğrulama için kullanılması bu hata oranını düşürecektir.

Çalışma sonucunda İHA'lara monte edilmiş dijital kameralar tarafından üretilen ortofoto haritalar doğrulukları, oluşturulma süreleri ve maliyetleri göz önüne alındığında gelecekteki birçok projede klasik fotogrametri uçaklarının yerlerini alacağı tahmin

edilmektedir. Bununla beraber İHA'lara monte edilecek çeşitli dijital kameralar ve sensörler ile kısa zamanda veri elde edilebilmesi avantajıyla da kullanım alanlarının genişleyeceği öngörülmektedir. Ayrıca düşey ölçümlerde, nokta bulutu modelleri üzerinden ölçümler yerine cisimlerin gerçek fotoğraflarıyla giydirilmiş modelleri üzerinden düşey ölçümler yapılabileceği de gelişen teknoloji ile söz konusu olabilecektir.

5 Referanslar

- Snavely, N., Seitz, S.M., Szeliski, R. (2007). Modeling the world from internet photo collections. *International Journal of Computer Vision*. 80 (2), pp 189–210.
- Lucieer, A., Turner, D., King, D.H., Robinson, S.A. (2014). Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to capture microtopography of Antarctic moss beds. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 27, 53–62.
- Jaud, M., vd. (2016). Potential of UAVs for monitoring mudflat morphodynamics (Application to the Seine Estuary, France). *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 5, 50. doi:10.3390/ijgi5040050.
- Javernick, L., Brasington, J., Caruso, B. (2014). Modeling the topography of shallow braided rivers using Structure-from-Motion photogrammetry. *Geomorphology*. 213, pp.166–182.
- Woodget, A.S., Carbonneau, P.E., Visser, F., Maddock, I.P. (2015). Quantifying submerged fluvial topography using hyperspatial resolution UAS imagery and structure from motion photogrammetry. *Earth Surface Processes and Landforms*. 40, pp. 47–64.