

Araştırma Makalesi - Research Article

İHA Fotogrametrisine Genel Bakış: Geleneksel Topoğrafik Harita Yapımı Tekniği ile Maliyet Karşılaştırması

Overview of UAV Photogrammetry: Cost Comparison with Traditional Topographic Mapping Technique

Ali Ulvi^{1*}

Geliş / Received: 23/02/2021

Revize / Revised: 16/04/2021

Kabul / Accepted: 16/04/2021

ÖZ

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak fotogrametri alanında da hızlı gelişmeler olmakta, gittikçe kısalan zaman dilimleri içinde yeni metotlar gelişmektedir. Bu gelişmeler resim çekim teknikleri ve resimlerin değerlendirme teknikleriyle kendini göstermiştir. Son zamanlarda İnsansız hava araçları (İHA) fotogrametrik değerlendirme sürecinde kendine yer bulmuştur. Buna bağlı olarak da İHA fotogrametrisi literatürde adını sıkça duyurmaya başlamıştır. Bu çalışmada İHA fotogrametrisinin çalışma mantığı, doğruluk analizi ve maliyet analizi üzerinde durulmuştur. Geleneksel yöntemler ile maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Gerek zaman ve maliyet tasarrufu açısından, gerekse doğruluk ve görsellik açısından İHA fotogrametrisinin mühendislik projelerinde etkin olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler- *İHA Fotogrametrisi, SfM, Maliyet Analizi*

ABSTRACT

In parallel with the development of technology, rapid developments are taking place in the field of photogrammetry, and new methods are developed in shorter time frames. These developments showed themselves with the taking picture technique and the evaluation techniques of the pictures. Recently, unmanned aerial vehicles (UAV) have found a place in the photogrammetric evaluation process. Accordingly, UAV photogrammetry has begun to make a name for itself in the literature. In this study, the logic of UAV photogrammetry, accuracy analysis and cost analysis are emphasized. It was compared with traditional methods in terms of cost. It was that UAV photogrammetry can be used effectively in engineering projects in terms of time and cost savings, accuracy, and visuality.

Keywords- *UAV Photogrammetry, SfM, Cost Analysis*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: aliulvi@mersin.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-3005-8011>)

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, Türkiye

I. GİRİŞ

Topografik harita arazi üzerindeki doğal ve yapay detayların belirli ölçeklerde kıymetlendirildiği, eş yükseklik eğrilerinin çizildiği, bu bilgilerin belirli işaretlerle kullanıcıya sunulduğu bir üründür. Bu ürün yersel tekniklerle, teknolojinin gelişmesiyle birlikte hava fotoğraflarından, uydu görüntülerinden ve son yıllarda İHA kullanılarak üretilmektedirler. İHA lar fotogrametrik tekniklerle üretilen haritalar için gerekli olan hava fotoğraflarının elde edilebilmesi için bir platform olarak kullanılmaktadır.

Bilindiği üzere fotogrametrinin ilk uygulamaları yersel fotogrametri alanında yapılmıştır. Fotogrametrinin ilk uygulamaları yersel fotogrametri ile başlamış olsa da zaman içerisinde harita yapımında geniş olanaklar sağlaması nedeni ile yerini hava fotogrametrisi almıştır. Birçok alanda olduğu gibi fotogrametri alanında da hızlı gelişmeler olmakta, gittikçe kısalan zaman dilimleri içinde yeni metotlar gelişmektedir. Özellikle son zamanlarda fotogrametri alanında da, dijital fotogrametri uygulamaları ile çok hızlı değişiklikler yaşanmaktadır. Dijital fotogrametri sayesinde, gerek resim çekiminde, gerekse bu resimlerin değerlendirilmesinde büyük kolaylıklar sağlanmıştır. Klasik hava fotogrametrisinde kullanılan ekipmanlar (özellikle kullanılan hava kameraları) açısından bakıldığında ürünlerin elde edilmesine kadar geçen süreçte maliyet çok fazladır. Ayrıca istenilen zamanda uçuş yapılamaması ve uçuş iznine tabi olmasıyla zamansal açıdan dezavantaj sağlamaktadır.

Son zamanlarda, metrik olmayan dijital kameraların, yersel fotogrametri amaçlı değerlendirme çalışmalarında kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Bu tip kameraların yersel fotogrametri amaçlı metrik kameralara göre fiyatlarının çok daha düşük olması kullanıcıların ilgisini çekmekte ve birçok projede yaygın olarak kullanılmaktadır. Fotogrametrik amaçlar için üretilmemelerine rağmen, film kameralarına oranla çok yoğun bir uygulama avantajına sahip olan dijital kameralar fotogrametri de güçlü ve etkin dijital veri elde etme aracı olarak kullanılmaktadırlar [1]. Teknolojideki gelişmeler dijital kameraları taşıyan taşıyıcı platformlarda da kendini göstermiştir. Buna bağlı olarak dronların ve sabit kanatlı hava araçların kullanımı mühendislik projelerinde yaygınlaşmaya başlamıştır. Süreç içerisinde bu taşıyıcı platformların ismi İHA olarak anılmaya başlanmıştır. İHA ların taşıyıcı platform olarak kullanılmasıyla birlikte uçuş irtifasını da göz önüne alarak İHA fotogrametrisi yersel fotogrametri ve hava fotogrametrisi arasında literatürde kendine yer bulmuştur.

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat kampüsünde 512 Ha lık alan pilot bölge olarak seçilmiştir. Bu bölgede fotogrametrik çalışmaların sonuç ürünleri ele alınmış, maliyet analizi yapılmış ve aynı alanın geleneksel yöntemlerle yapılması durumundaki maliyetler araştırılmıştır. İHA ile yapılan fotogrametrik çalışmaların maliyet analizlerinde iki farklı İHA sistemi incelenmiştir. Bu sistemler sabit kanatlı ve döner kanatlı sistemlerdir.

II. İHA FOTOGRAMETRİSİ

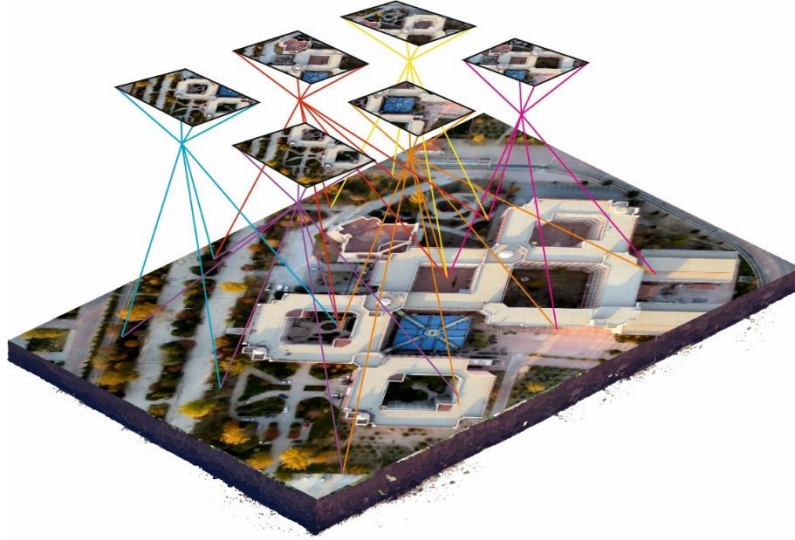
İHA fotogrametrisi, genel olarak içerisinde herhangi bir insan taşımadan, otonom veya manuel olarak kontrol edilebilen bir hava aracına entegre edilen kamera ile çekilmiş fotoğraflar kullanılarak yapılan fotogrametrik sürecin genel tanımıdır. Bu bağlamda İHA fotogrametrisi özellikle yeni gelişen görüntü işleme teknikleri ile mimari, arkeolojik ve tarihi eserlerin 3B modelleme çalışmalarının gözdesi haline gelmiştir.

İHA'lar ile geleneksel veri toplama yöntemlerine göre daha fazla esneklik sağlanırken çalışma alanında daha az zaman harcanmaktadır ve ayrıca maliyet açısından önemli avantajlar sağlanmaktadır [2]. Ayrıca yeni tip İHA'lara entegre edilen Global Position System (GPS) sayesinde çekilen resimlerin enlem, boylam ve yükseklik bilgilerinin olması bu sistemin avantajları arasında yer almaktadır. Ek olarak hem GPS modülünün olması hem de bu İHA'lar ile otomatik resim çekebilmesi distorsiyonun (öteleme, dönüklük ve kayıklık) önemli derecede azalmasına katkı sağlamaktadır. Dahası, İHA'ların alçak irtifadan uçuş kabiliyeti ve gelişmiş teknik görüntüleme sistemleri ile birlikte elde ettikleri veriler, uydu görüntülerinden ve insanlı uçaklardan elde edilen verilere kıyasla önemli ölçüde daha yüksek çözünürlüğe sahip ve çok daha detaylı bilgiler içermektedir.

İHA'lar ilk olarak askeri uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra sivil kullanıma izin verilmesi ile birlikte hassas tarım [3] ve ormancılık çalışmalarında [4] kullanılmaya başlanmış ardından yangın izleme [5, 6] kültürel miras ve arkeoloji [7, 8] trafik izleme [9, 10] çevresel araştırma [11, 12] ve üç boyutlu (3B) rekonstrüksiyon [13-15] gibi alanlarında teknolojinin gelişmesi ile birlikte birçok disiplin tarafından farklı amaç doğrultusunda kullanılmaya devam etmiştir.

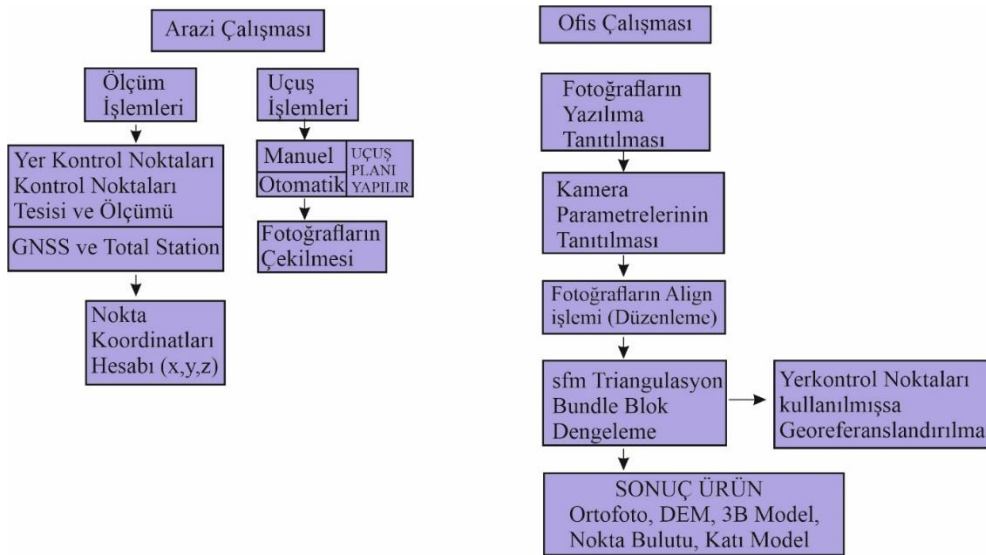
İHA fotogrametrisinin ile bütünlük çalışan açık kaynak kodlu ve ticari birçok yazılım bulunmaktadır. Bu yazılımların pek çoğu Structure from motion (SfM) özel algoritmalara dayanmaktadır. SfM, iki boyutlu (2B) görüntü dizilerinden 3B yapıları tahmin etmek için kullanılan bir fotogrametrik görüntüleme tekniğidir. SfM

yönteminde, üst üste binen çerçevelerin bir dizisinden 3B yapılar oluşturulur (Şekil 1). Kısa bir süre içinde SfM; olağanüstü hızlı, düşük maliyetli ve kolay 3D ölçümler sağlayan yerbilimi araştırmaları üzerinde dönüştürücü bir etkiye sahip olmuştur [16]. Bunun sebebi SfM tekniği, belirli çalışma yöntemlerine uyulduğu takdirde yersel ve havadan farklı çekim platformlarından alınan fotoğrafların entegre edilmesi olanağını da sunmaktadır. Geleneksel stereoskopik fotogrametri ile SfM yöntemi arasındaki temel fark, 3B uzayda bir noktanın kesin konumunun elde edilmesi için gerekli hesaplamaların tam otomatik yapılması ve kameraların hassas konumlandırılmasına gerek olmamasıdır.



Şekil 1. SfM mantığı ile arazinin fotoğraflanması işlemi

İHA fotogrametrisi genel olarak arazi çalışması ve ofis çalışması olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Bu çalışmanın genel iş akış şeması Şekil 2’ de gösterilmektedir.



Şekil 2. İHA fotogrametrisi iş akış şeması

III. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı Konya ili Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat kampüsünde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Çalışma alanı 512 ha oluşmaktadır.



Şekil 3. Selçuk üniversitesi kampüsü çalışma alanı olarak belirlenmiştir.

IV. METODOLOJİ

A. Verilerin Toplanması

Çalışma alanının ortofoto haritasının üretilebilmesi için öncelikle alana 24 adet Yer kontrol noktası (YKN) , 30 adet test noktası tesis edilmiştir. Tesis edilen noktaların kalıcı olabilmesi için karayolları kurumunun kullandığı yol çizgi boyası kullanılmıştır (Şekil 4). Tesis edilen YKN lerin koordinatlandırılması işlemi ise Topcon GR5 Global Positioning System (GPS) cihazı ile ITRF96 datum sisteminde yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. YKN'lerin koordinatlandırılması işlemi

Çalışma alanının fotoğrafları 2 farklı cihaz tarafından çekilmiştir. Bu cihazlar ebee (Şekil 5a) ve microcopter (Şekil 5b) hava araçlarıdır. Ebee cihazı sabit kanatlı, microcopter ise döner kanatlı insansız hava araçlarıdır. Ebee cihazı üzerinde Canon IXUS 125, microcopter üzerinde ise Canon A810 dijital kamerası bulunmaktadır. Uçuş için yer örnekleme aralığı 5.76 cm olarak belirlenmiştir. Bu kameraların teknik özellikleri Tablo 1 de gösterilmektedir.

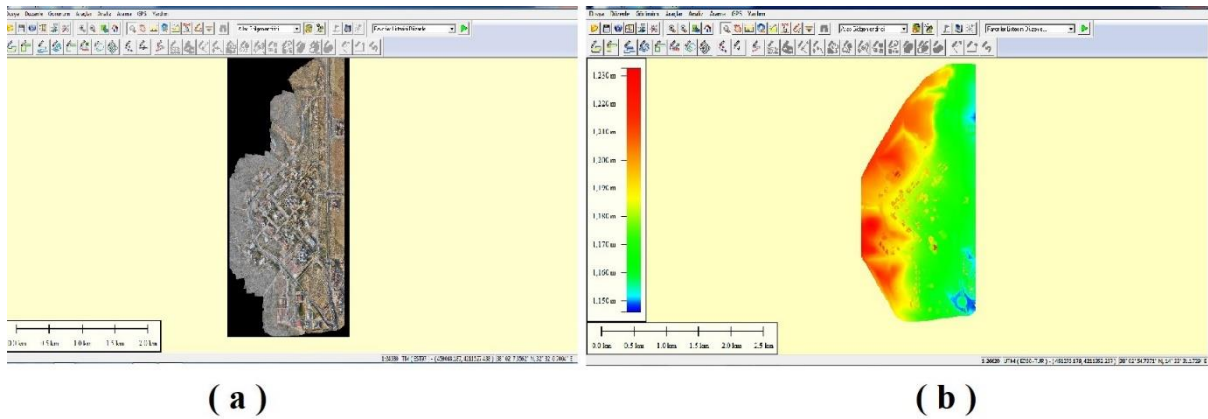


Şekil 5. (a) Ebee İHA, (b) microcopter İHA

Tablo 1. İHA kamera teknik özellikleri

Uav	Number of photos	Uav camera	Resolution (pixel)	Pixel pitch
Microcopter	810	Canon A810	4608 × 3456	1.34 µm
Ebee	725	Canon IXUS 125	4608 × 3456	1.34 µm

Fotoğrafların dengelenmesi ve değerlendirilmesi işlemi Leica Photogrammetric Suit (LPS) tarafından yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda çalışma alanına ait ortofoto harita (Şekil 6a) ve digital elevation model (DEM) (Şekil 6b) haritası üretilmiştir.



Şekil 6. (a) Çalışma alanına ait ortofoto harita, (b) Çalışma alanına ait DEM haritası

B. Doğruluk Değerlendirmesi

Çalışma alanına 30 adet test noktaları homojen olarak tesis edilmiştir. Bu noktaların koordinatları GNSS cihazı ile ölçülmüştür. Bu koordinatlar referans koordinatlar olarak kabul edilmiştir. Doğruluk analizinde karesel ortalama hata denklemleri kullanılmıştır. Fotogrametrik projenin doğruluğu geo referanslamada kullanılmayan kontrol noktaları kullanılarak hesaplanmıştır[17,18]. Bu kapsamda, kontrol noktaları orto görüntülerde tanımlanmış ve koordinatları incelenen GNSS koordinatlarıyla karşılaştırılarak aşağıda verilen denklemlerde tanımlandığı gibi RMSE x, RMSE y yatay doğruluk ölçüleri elde edilmiştir:

$$RMSE_x = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{O_i} - X_{GNSS_i})^2}{n} \quad (1)$$

$$RMSE_y = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{O_i} - Y_{GNSS_i})^2}{n} \quad (2)$$

$$RMSE_z = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_{O_i} - Z_{GNSS_i})^2}{n} \quad (3)$$

$$RMSE_{xyz} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{O_i} - X_{GNSS_i})^2 + (Y_{O_i} - Y_{GNSS_i})^2 + (Z_{O_i} - Z_{GNSS_i})^2}{n}} \quad (4)$$

- (a) N, her proje için test edilen kontrol nokta sayısıdır.
(b) X_{O_i} and Y_{O_i} sırasıyla ortofotodan ölçülen x ve y koordinatlarıdır.
(c) X_{GNSS} and Y_{GNSS} kontrol noktalarının GNSS ile ölçülen x ve y koordinatlarıdır.

Ayrıca, yükseklik değerleri orto görüntüdeki CP'nin x ve y koordinatları için gridDSM'den türetilmiş ve GNSS koordinatı ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, Denklem (3) 'te tanımlandığı gibi z yönü için bir $RMSE_z$ doğruluk ölçüsü üretilmiştir.

- (a) Z_{O_i} ortofotoda ölçülen x ve y koordinatları dikkate alınarak DSM'den türetilen kontrol noktasındaki yüksekliktir.
(b) Z_{GNSS} kontrol noktasının GNSS ile ölçülen Z koordinatıdır.

Tablo 2. Kesin koordinatlar ve ortofoto koordinatlar

KESİN KOORDİNATLAR				ORTOFOTO NOKTALAR (EBEE)				ORTOFOTO NOKTALAR (Microcopter)			
N.N.	Y (m)	X (m)	Z (m)	N.N.	Y (m)	X (m)	Z (m)	N.N.	Y (m)	X (m)	Z (m)
1	457065.005	4209572.14	1169.564	1	457065.082	4209572.22	1169.54	1	457064.95	4209572.09	1169.622
2	457060.601	4209573.86	1169.646	2	457060.632	4209573.93	1169.694	2	457060.641	4209573.8	1169.701
3	457056.281	4209571.95	1169.652	3	457056.317	4209571.99	1169.595	3	457056.337	4209571.98	1169.583
4	457054.539	4209567.54	1169.641	4	457054.561	4209567.62	1169.593	4	457054.485	4209567.58	1169.693
5	457056.491	4209563.1	1169.672	5	457056.509	4209563.12	1169.595	5	457056.436	4209563.07	1169.605
6	457060.924	4209561.33	1169.631	6	457060.998	4209561.36	1169.675	6	457060.859	4209561.32	1169.655
7	457065.225	4209563.24	1169.69	7	457065.303	4209563.31	1169.728	7	457065.275	4209563.29	1169.746
8	457066.974	4209567.73	1169.794	8	457067.027	4209567.77	1169.757	8	457066.925	4209567.68	1169.743
9	457074.304	4209583.87	1169.512	9	457074.384	4209583.79	1169.546	9	457074.374	4209583.82	1169.445
10	457073.263	4209584.94	1169.525	10	457073.316	4209584.91	1169.592	10	457073.215	4209584.96	1169.582
11	457006.003	4209973.45	1174.02	11	457005.945	4209973.39	1173.996	11	457005.961	4209973.49	1173.978
12	457014.99	4209982.31	1173.742	12	457014.914	4209982.33	1173.764	12	457014.928	4209982.34	1173.771
13	457002.343	4210008.29	1174.559	13	457002.256	4210008.26	1174.488	13	457002.403	4210008.33	1174.612
14	456997.061	4209992	1174.99	14	456997.017	4209992.06	1174.918	14	456997.123	4209991.95	1174.943
15	457173.555	4210559.09	1172.677	15	457173.513	4210559.12	1172.597	15	457173.603	4210559.12	1172.635
16	457173.524	4210559.09	1172.539	16	457173.458	4210559.01	1172.559	16	457173.56	4210559.13	1172.565
17	457189.098	4210521.43	1172.732	17	457189.1	4210521.49	1172.765	17	457189.136	4210521.46	1172.674
18	457189.064	4210521.42	1171.858	18	457188.983	4210521.45	1171.788	18	457189.111	4210521.45	1171.818
19	457108.975	4210622.3	1174.897	19	457108.897	4210622.31	1174.869	19	457108.897	4210622.33	1174.846
20	457091.317	4210639.66	1175.397	20	457091.396	4210639.67	1175.319	20	457091.383	4210639.68	1175.329
21	457082.98	4210659.6	1175.852	21	457082.954	4210659.58	1175.785	21	457083.045	4210659.56	1175.794
22	457069.209	4210675.32	1176.217	22	457069.241	4210675.25	1176.237	22	457069.261	4210675.27	1176.259
23	457057.021	4210689.29	1176.925	23	457057.1	4210689.36	1176.881	23	457056.975	4210689.32	1176.875
24	457044.067	4210771.02	1179.344	24	457044.146	4210771	1179.414	24	457044.126	4210771.06	1179.404
25	457047.645	4210774.55	1179.292	25	457047.708	4210774.54	1179.355	25	457047.615	4210774.5	1179.342
26	456994.315	4209599.58	1171.171	26	456994.335	4209599.65	1171.244	26	456994.362	4209599.63	1171.125
27	456976.789	4209616.72	1171.934	27	456976.757	4209616.77	1171.92	27	456976.722	4209616.75	1171.96
28	456976.876	4209622.5	1172.017	28	456976.859	4209622.57	1172.094	28	456976.899	4209622.56	1172.071
29	456793.097	4210602.15	1181.819	29	456793.169	4210602.15	1181.856	29	456793.03	4210602.21	1181.857
200	456530.869	4210884.75	1202.494	200	456530.914	4210884.67	1202.464	200	456530.902	4210884.7	1202.534

Tablo 3. Fark değerlerinin karesi

	EBEE			OCTOCOPTER			EBEE			OCTOCOPTER			
	VxVx	VyVy	VzVz	VxVx	VyVy	VzVz	VxVx	VyVy	VzVz	VxVx	VyVy	VzVz	
1	60.1	58.5	5.8	29.7	33.1	33.6	16	42.9	57	4	13.3	20.7	6.8
2	9.6	51.8	23.5	16	29.2	30.8	17	0.1	36	10.9	14.8	13	33.6
3	13.3	15.6	33	31.9	9.9	48.3	18	64.8	13.7	49	22.6	12.3	16
4	5.1	58.5	23	28.6	14.8	27	19	60.8	0.8	8.1	60.8	7.3	26.5
5	3.2	4.4	59.3	30.3	14.4	44.9	20	62.4	1.8	60.1	43.6	5.5	45.6
6	54.8	10.9	19.4	42.3	1.7	5.8	21	6.5	4.4	44.9	42.9	16.8	33.6
7	60.8	51.1	14.4	25	24.5	31.4	22	10.6	56.3	4	27.6	24	17.7
8	28.1	17.6	13.7	24	17.6	26	23	62.4	46.9	19.3	21.2	11.9	25
9	64	53.3	11.9	49	25	44.3	24	62.4	2	48.3	34.8	16	35.4
10	28.6	4.8	44.9	22.6	4.8	32.5	25	40.3	1	39.1	8.7	27	24.5
11	33.1	33.1	5.7	17.2	17.2	17.6	26	4	42.3	53.3	22.1	17.6	21.2
12	57	7.8	4.6	37.8	15.2	8.1	27	10.2	24.5	1.8	44.9	12.6	7
13	75.7	6.3	50.4	36	16.8	28.1	28	2.7	54	59.3	5.5	29.7	29.2
14	18.9	45.6	51.1	39.1	17.2	21.6	29	51.8	0.2	13.7	44.9	31.4	14.4
15	17.6	9	64	23	13	17.6	200	20.2	62.4	9	10.9	21.2	16

Bu veriler ışığında İHA ile fotogrametrik teknikler kullanılarak üretilen hâlihazır haritanın hassasiyet araştırmasında İHA lara ait y, x ve z koordinatlarında ortalama konum hataları ± 9.5 cm , ± 8.5 cm bulunmuştur (Tablo 4).

Tablo 4. İHA lar ile üretilen ortofoto haritaların karesel ortalama hataları

my	mx	mz	myxz	İHA
5.9	5.3	5.3	9.5	(Ebee-SabitKanat)
5.4	4.2	5.1	8.5	(Octocopter-DönerKanat)

V. MALİYET ANALİZİ

A. İHA Fotogrametrisi Maliyet Analizi

İHA ile yapılan fotogrametrik çalışmaların maliyet analizlerinde iki farklı İHA sistemi incelenmiştir. Bu sistemler sabit kanatlı ve döner kanatlı sistemlerdir. Uçuş planlaması ve kıymetlendirme işlemlerinde çalışan teknik personel olarak harita mühendisi düşünülmüştür. HKMO 2020 yılı 2.yarıyılı birim fiyatları baz alınarak bir mühendisinin gündelik ücreti 250 TL, saatlik ücreti ise 6.92 TL dir.

İncelenen sistem İHA olan sabit kanatlı uçak sistemidir. Pilot bölgede yapılan uçuşlar sonucunda bölgeye ait harita üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonucunda tüm maliyetler çıkarılmıştır. Bu çalışmada kullanılan yazılım ve donanımların mevcut olduğu varsayılmıştır. Arazide Yer Kontrol Noktalarının (YKN) ölçülmesi işinde kullanılan GNSS cihazının yaklaşık maliyeti 40000 tl olarak belirlenmiştir. Ölçüm cihazının üç yıl sonra üst modelinin çıkacağı hesap edilmiştir. Bu süre içerisinde yaklaşık yüz elli defa araziye çıkılıp ölçüm yapılacağı hesap edilerek amortisman süresi üç yıl olarak belirlenmiştir. GNSS cihazının arazideki her ölçümü iki saat olarak hesap edilmiştir. GNSS saatlik maliyet = [Satın alma maliyeti/(150x2)]

Bu formüle göre GNSS in bir saatlik ölçüm maliyeti=[40000/(150x2)] = 133.33 TL dir.

Kullanılan İHA nın bedeli 380.800 TL dir. İHA nın bir üst modeli yaklaşık üç yıl sonra çıktığı hesap edilmiştir. Bu üç yıl içerisinde yaklaşık yüz uçuş yapılacağı hesap edilerek yüz uçuş sonucunda amortisman gideri uçağın satın alma maliyetidir. İHA'nın saatlik uçuş maliyetini ise her uçuşu iki saat olarak değerlendirdikten sonra aşağıdaki formül bulunmuştur. İHA Saatlik maliyet = [Satın alma maliyeti/(100x2)]

Bu formüle göre İHA' nın bir saatlik uçuş maliyeti= $[380.800/(100 \times 2)] = 1904$ TL dir. Pilot bölgenin fotogrametrik olarak alınımının yapılması için uçuş planlaması yapılmıştır. Bu planlama bir saat sürmüş planlama sonucunda uçulacak kolon sayısı, uçuş yüksekliği ve fotoğrafların enine ve boyuna bindirme oranları hesap edilmiştir. Bu çalışmada otuz adet Yer Kontrol Noktası (YKN) tesis edilmiştir. YKN tesisinde Karayolları Genel Müdürlüğü'nün kullandığı güneş ışınları ve kış şartlarına dayanıklılığından dolayı yol çizgi boyası kullanılmıştır. Burada harcanan boya miktarı 5 kg boyanın kg maliyeti ise 120 TL dir. Bu boyanın 1 adet YKN maliyeti ise; $(120 \times 5) / 30 = 20$ TL dir.

Bölgenin fotoğraflanması çalışması 725 adet fotoğraf çekimi ile tamamlanmıştır. Bu fotoğraflar iki adet uçuş yapılarak iki adet lipo pil harcanarak elde edilmiştir. Bir pilin satın alma maliyeti 2100 TL dir. Bir fotoğrafın çekim maliyeti ise: $[((2100 \times 2) / 100) / 725] = 0.05$ TL dir. Fotoğrafların değerlendirildiği yazılım maliyeti ise 4045 \$ dır. 22.10.2020 Günü Saat 21:30'da Belirlenen Gösterge Niteliğindeki Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası doların kur fiyatı ise 7,94 TL olarak alınmıştır. Yazılımın yaklaşık fiyatı $4045 \times 7,94 = 32117$ TL dir. Yazılımın üst versiyonu ortalama üç yılda çıktığı öngörülerek amortismanı hesap edilmiştir. Dolayısıyla bu üç yıl süre içerisinde yüz uçuşluk değerlendirme işlemi yapılacağı hesap edilerek yazılımın bir saatlik değerlendirme maliyeti; $[32117 / (100 \times 24)] = 13.38$ TL dir.

Bu hesaplamaların sonucunda Sabit kanatlı İHA fotogrametrisinin yaklaşık maliyet hesabı Tablo 5 de bulunmuştur.

Tablo 5. Sabit kanatlı hava fotogrametrisi yaklaşık maliyet hesabı

İşlem	Süre (Saat)	Personel Sayısı	Personel Ücreti (250 TL/Gün)	Uçuş Ücreti (TL/Saat)	Yazılım Ücreti (13.38tl/Saat)	Donanım Ücreti (TL/Saat)	Hizmet Miktarı (Adet)	Hizmet Ücreti (TL/Adet)	Σ (TL)
Uçuş Hizmet Bedeli									
1	İntikal								
	Uçuş	2	1	250	1904				4058
Uçuş öncesi ve sonrası gerçekleştirilen hizmetler									
2	Uçuş Planlaması	1	1						
	Yer Kontrol Noktası inşaatı ve ölçüm hizmeti (Arazi) (GNSS cihazı)	2				133.33			266.66
3	Araç Kirası	4						250	250
	Fotogrametrik Nokta Tesis	2	1	250			30	20	850
	Fotogrametrik Nokta Ölçüm	2	1						
4	FotoğrafÇekimi (725 Adet / 0.05)						36.25	0.05	36.25
5	Dengeleme	3	1	250	40.14				290.14
6	Kıymetlendirme Hizmeti	24	1	750	321.12				1071.12
7	Bütünleme Hizmeti	48	1	1500	642.24				2142.24
Toplam =									8643.29

İncelenen diğer sistem döner kanatlı İHA sistemidir. Döner kanatlı İHA sisteminin maliyeti 13000 TL dir. Sabit kanatlı İHA sisteminde olduğu gibi İHA nın bir üst modeli yaklaşık üç yıl sonra çıktığı hesap edilmiştir. Bu üç yıl içerisinde yaklaşık yüz uçuş yapılacağı hesap edilerek yüz uçuş sonucunda amortisman gideri satın alma maliyetidir. İHA' nın bu projedeki bir saatlik uçuş maliyetini ise = [Satın alma maliyeti/(100x17)] dir. Buradaki 17 rakamı ise kampüs alanında saat biriminde uçuş süresidir. Bu formüle göre İHA' nın bir saatlik uçuş maliyeti=[13.000/(100x17)]= 7.65 TL dir. Pilot bölgenin fotogrametrik olarak alımının yapılması için uçuş planlaması yapılmıştır. Bu planlama bir saat sürmüş planlama sonucunda uçulacak kolon sayısı, uçuş yüksekliği ve fotoğrafların enine ve boyuna bindirme oranları hesap edilmiştir. Sabit kanatlı İHA da kullanılan YKN bu çalışmada da ortak kullanılmıştır. Bir adet YKN maliyeti 20 TL dir. Bölgenin fotoğraflanması çalışması 800 adet fotoğraf çekimi ile tamamlanmıştır. Bu fotoğraflar altı adet lipo pili şarj edip otuz adet uçuş yapılarak elde edilmiştir. Bir pilin satın alma maliyeti 2100 TL dir. Bir fotoğrafın çekim maliyeti ise: $[(2100 \times 6) / 100] / 800 = 0.16$ TL dir.

Yazılımın yaklaşık fiyatı $4045 \times 7,94 = 32117$ TL dir. Yazılımın üst versiyonu ortalama üç yılda çıktığı öngörülerek amortismanı hesap edilmiştir. Dolayısıyla bu üç yıl süre içerisinde yüz uçuşluk değerlendirme işlemi yapılacağı hesap edilerek yazılımın bir saatlik değerlendirme maliyeti; $[32117 / (100 \times 24)] = 13.38$ TL dir. Bu hesaplamaların sonucunda döner kanatlı İHA fotogrametrisinin yaklaşık maliyet hesabı Tablo 6'da bulunmuştur.

Tablo 6. Döner kanatlı hava fotogrametrisi yaklaşık maliyet hesabı

İşlem	Süre (Saat)	Personel Sayısı	Personel Ücreti (250 TL/Gün)	Uçuş Ücreti (TL/Saat)	Yazılım Ücreti (TL/Saat)	Donanım Ücreti (TL/Saat)	Hizmet Miktarı (Adet)	Hizmet Ücreti (TL/Adet)	Σ (TL)
Uçuş Hizmet Bedeli									
1 İntikal									
Uçuş	17	1	750	130.05					880.05
Uçuş öncesi ve sonrası gerçekleştirilen hizmetler									
2 Uçuş planlaması	1	1							
Yer control noktası inşası ve ölçüm hizmeti (Arazi) (Gnss Cihazı)									
	2					133.33			266.66
3 Araç kirası	17							750	750
Fotogrametrik Nokta tesis	2	1	250				30	20	850
Fotogrametrik Nokta ölçüm	2	1							
4 Fotoğraf çekimi (800 Adet)							800	0.16	128
5 Dengeleme	3	1	250		40.14				133.89
6 Kıymetlendirme hizmeti	24	1	750		321.12				1071.12
7 Bütünleme hizmeti	48	1	1500		642.24				1071.12
Toplam=									6221.90

B. Yersel Ölçüm Tekniği Maliyet Analizi

Çalışma alanının yersel ölçüm teknikleri ile yapılması durumunda maliyetin araştırılması için iki farklı kaynaktan faydalanılmıştır. Bunlar; İller bankası ve Harita Kadastro Mühendisleri Odası (HKMO)'nın belirlemiş olduğu yıllara göre değişiklik gösteren birim fiyatları tablosudur.

İlk analiz İLBANK A.Ş.'nin resmi internet sitesinde yer alan İller Bankası A.Ş. Yatırım Koordinasyon Dairesi Başkanlığı 2020 Yılı Sayısal Hâlihazır Harita Alım İşleri Birim Fiyat Cetveli esas alınarak hazırlanmıştır (Sayısal Hâlihazır Harita Alım İşleri Birim Fiyat Cetveli, 2020). Çalışma alanı toplam 512 ha dır. Bu çalışma alanının 400 ha gayrimeskûn saha, 112 ha ise meskûn saha olarak dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu maliyet analizinde %20 yüklenici karı ve %18 KDV oranları göz önünde bulundurulmuştur.

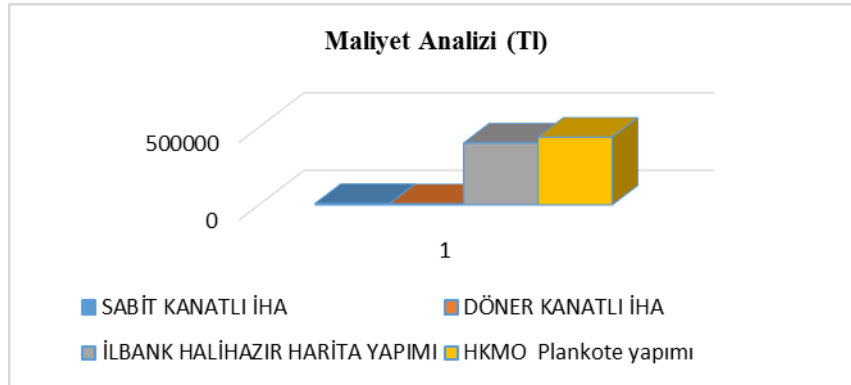
Tablo 7. İLBANK A.Ş. 2020 Yılı Sayısal Hâlihazır Harita Alım İşleri Birim Fiyat Cetveline göre hazırlanmış çalışma alanına ait yersel ölçüm tekniği ile hâlihazır harita yapımı maliyet analizi

İLBANK A.Ş. 2020 Yılı Sayısal Hâli hazır Harita Alım İşleri Birim Fiyat Cetveli					
	İş	Birim	Birim Fiyat	Çarpan	Fiyat (TL)
Gayrimeskûn	1/1000 Ölçekli hâli hazır harita yapım işi	Hektar	685.24	400	274096
Meskûn	1/1000 Ölçekli hâli hazır harita yapım işi	Hektar	1114.73	112	124849.80
Toplam =					398945.80

HKMO Mühendislik Hizmetleri Ücret Cetveli 2020/2; ücretler cetvelinde yaklaşık 10x10 m aralıklı plankote yapımı için 0-500 m² alan için 1760 TL fiyat belirlenmiştir. Çalışma alanı 500 m² den büyük ise; 500 - 10.000 m² ' ye kadar her 500 m² için 310,00 TL eklenir. 10.000 m² ' den büyük alanlarda her ha için 1.540,00 TL eklenir denilmektedir. Bu veriler dikkate alarak çalışma alanımızdaki maliyet hesap edilmiş ve Tablo 8 de gösterilmiştir. Hesaplamalar yapılırken yöresel katsayı 1 olarak kabul edilmiştir. Tüm tekniklerin maliyet analiz grafiği şekil 7 de görülmektedir.

Tablo 8. HKMO Mühendislik Hizmetleri Ücret Cetveli 2020/2; çalışma alanına ait yersel ölçüm tekniği ile yaklaşık 10x10 m aralıklı Plankote yapımı maliyet analizi

HKMO Mühendislik Hizmetleri Ücret Cetveli 2020/2; Yaklaşık 10x10 m aralıklı Plankote yapımı			
ALAN	0-500 m ²	500-10000 m ² (TL)	10000 m ² büyük her hektar için (TL)
512	1760	155 2945	845 431795
Toplam =			436500



Şekil 7. Kullanılan tekniklerin maliyet analizi grafiği

VI. SONUÇLAR

Büyük ölçekli harita ve harita bilgileri üretim yönetmeliği de Detay ölçme doğruluğu (Madde 46- (1) Detay noktalarının izdüşüm koordinatları ve yükseklikleri, elektronik takeometre, GNSS, LİDAR veya diğer teknik ve yöntemler kullanılarak; yatay konum doğruluğu $\sqrt{(\sigma x^2 + \sigma y^2)} \pm 7$ cm (dâhil)'den daha iyi ve Helmertortometrik yükseklik doğruluğu $(\sigma H) \pm 7$ cm (dâhil)'den daha iyi olacak şekilde ölçülmelidir.) denmektedir. İHA ile üretilen ortofoto haritalardaki konumsal doğruluklar incelendiğinde ± 7 cm biraz üstünde olduğu görülmektedir. Bu durumun önüne geçilebilmesi için uçuş için belirlenen Yer örnekleme aralığı değeri düşürülmelidir.

Analizler sonucunda, İHA fotogrametrisi ile harita üretilmesinde sabit kanatlı İHA ile üretilen harita, döner kanatlı İHA ile üretilen harita maliyetine göre % 38.91 oranında daha yüksek maliyet oranı çıkmıştır. Yersel yöntemler ise; İLBANK A.Ş. 2020 Yılı Sayısal Hâlihazır Harita yapımı 398945.8 TL lik maliyeti ile döner kanatlı İHA sistemine göre 64.12 kat daha maliyetlidir. 10x10 m aralıklı Plankote yapımı ise 436500 TL lik maliyeti ile döner kanatlı İHA sistemine göre 70.16 kat daha maliyetlidir.

Çalışma kapsamındaki uygulamanın sonuçlarından da anlaşılacağı üzere insansız hava araçları ile fotogrametrik ölçme ve değerlendirme işlemi gelişen teknoloji ile beraber mühendislik projelerinde kullanılır hale gelmiştir. Gerek zaman ve maliyet tasarrufu açısından, gerekse doğruluk ve görsellik açısından İHA fotogrametrisinin mühendislik projelerinde etkin olarak kullanılabileceği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Ahmad, A. & Chandler, J. H. (1999). Photogrammetric Capabilities of the Kodak DC40, DCS420 and DCS460 Digital Cameras, *Photogrammetric Record*, 16 (94), 601–615.
- [2] Habib, A., Shan, J. & Toth, C. K. (2009). Accuracy, quality assurance, and quality control of LiDAR data. *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*, 269-94.
- [3] Salleh, M. R. M., Ismail, Z. & Rahman, M. Z. A. (2015). Accuracy assessment of lidar-derived digital terrain model (DTM) with different slope and canopy cover in tropical forest region. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(2), 183.
- [4] Torge, W. & Müller, J. (2012). Geodesy, 3rd ed;Walter de Gruyter: New York, NY, USA
- [5] Erol, S. & Erol, B. (2021). A comparative assessment of different interpolation algorithms for prediction of GNSS/levelling geoid surface using scattered control data. *Measurement*, 173, 108623.
- [6] Wang, Y. M., Becker, C., Mader, G., Martin, D., Li, X., Jiang, T., ... & Bürki, B. (2017). The Geoid Slope Validation Survey 2014 and GRAV-D airborne gravity enhanced geoid comparison results in Iowa. *Journal of Geodesy*, 91(10), 1261-1276.
- [7] Kayı, A., Erdoğan, M. & Eker, O. (2015). LiDAR test results carried out using OPTECH HA-500 and RIEGL LMS-Q1560. *Map J.* 153, 42–46.
- [8] Yılmaz, N. & Cakir, L. (2016). A research of consistencies and progresses of geoid models in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(1), 1-11.
- [9] Wever, C. & Lindenberger, J. (1999). Experiences of 10 years laser scanning. In: *Photogrammetric Week 99*.

- [10] Sties, M., Kruger, S., Mercer, J. B. & Schnick, S. (2000). Comparison of digital elevation data from airborne laser and interferometric SAR systems. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(B3/2; PART 3), 866-873.
- [11] Lichti, D. & Skaloud, J. (2010). Registration and calibration. In Air borne and Terrestrial Laser Scanning; Vosselman, G., Maas, H.G., Eds.; *Whittles Publishing*, 336.
- [12] Ravi, R. & Habib, A. (2020). Fully Automated profile-based calibration strategy for airborne and terrestrial mobile LiDAR systems with spinning multi-beam laser units. *Remote Sensing*, 12(3), 401.
- [13] Beraldin, J.A., Blais, F., & Lohr, U. 2010. Laser scanning technology. In Air borne and Terrestrial Laser Scanning; Vosselman, G., Maas, H.G., Eds. *Whittles Publishing*: Scotland, UK, 2010; 336.
- [14] Zhang, W. & Li, Q. (2006). A preliminary simulation to study the potential of integration of LIDAR and imagery. In Remote Sensing for Environmental Monitoring, *GIS Applications, and Geology VI* (Vol. 6366, p. 63660W). *International Society for Optics and Photonics*.
- [15] Süleymanoğlu, B. & Soycan, M. (2019). Comparison of filtering algorithms used For DTM Production from airborne LiDAR data: A case study in Bergama, Turkey.
- [16] Fonstad, M. A., Dietrich, J. T., Courville, B. C., Jensen, J. L. & Carbonneau, P. E. (2013). Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth surface processes and Landforms*, 38(4), 421-430.
- [17] Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F. & Martínez-Carricondo, P. (2017). Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle. *Measurement*, 98, 221-227.
- [18] Tahar, K. N. (2013). An Evaluation On Different Number of Ground Control Points in Unmanned Aerial Vehicle. *Photogrammetric Block XL*. 27–29.