

UÇAKLARLA TOPLANAN FOTOGRAMETRİK AMAÇLI GÖRÜNTÜ MALİYETİNİN ANALİZİ

A.Yıldırım¹, D.Z. Şeker²

¹Harita Genel Komutanlığı, Teknik Hizmetler Başkanlığı, Ankara, abyildirim@hgk.mil.tr

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Fotogrametri Anabilim Dalı, İstanbul, seker@itu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, uçaklara takılı hava kameraları ile görüntü alımının planlama aşamasından başlayarak, dijital fotogrametrik iş istasyonlarında kullanıma hazır hale getirilinceye kadar gerçekleştirilen işlemleri kapsayan sürecin maliyet analizi yapılmıştır. Havadan fotoğraf alımındaki çalışmaların maliyetini belirlemek amacıyla, öncelikle uçuş ve yer çalışmalarında gerçekleştirilen işlem detayları belirlenmiş ve daha sonra da her bir işlemin maliyeti hesaplanmıştır. Uçak, kamera, laboratuvar, tarama ve veri işleme kalemlerinin maliyetleri saat bazında belirlenirken, film ve banyo kimyasallarının maliyeti ise görüntülenecek alan ve ölçüğün fonksiyonu olan resim sayısına bağlı olarak oluşmaktadır. İrtifaya bağlı olarak uçak maliyeti artarken, film maliyetinin azaldığı görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Hava fotoğrafı, hava kamerası, uçak, maliyet, fotogrametri.

ABSTRACT

COST ANALYSIS OF AIRBORNE IMAGERY CAPTURED FOR PHOTOGRAMMETRIC PURPOSE

In this study, airborne imagery cost analysis, which covers the whole process between the planning phase and obtaining ready-to-use imagery for the photogrammetric workstations, has been carried out. In order to figure out the aerial imagery burden, details of the work conducted both on the flight and the ground had been determined initially and cost of each process had been reckoned subsequently. While the cost of the aircraft, camera, laboratory, scanning and ground processing are being computed according to hourly basis, cost of the film and the chemicals is being formed as a result of the number of the exposures, which are the function of the area to be imaged. It has been noted that, with respect to altitude, film cost had been declined while the aircraft cost was increasing.

Keywords: Aerial photography, aerial camera, aircraft, cost, photogrammetry.

1. GİRİŞ

Fotogrametrik yöntemle harita üretiminde temel girdi hava ve uzay platformlarından alınan görüntülerdir. Başlangıçta sınırlı sayıda olan görüntü tipleri, optik, elektronik, havacılık ve uzay teknolojilerinde ortaya çıkan gelişmeler sonucunda, günümüz harita üreticilerine çok değişik özelliklere sahip görüntü seçme imkanı sunmaktadır. Bu görüntü; kart veya diya pozitif gibi basılı ortamdaki fotoğraf türevleri olabileceği gibi, değişik sayısal ortamlara kaydedilmiş görüntüler olabilmektedir.

Her konuda olduğu gibi görüntü tipleri de zamana ve teknolojiye bağlı bir gelişim sürecinden geçerek günümüze ulaşmıştır. İlk olarak 1851 yılında Fransız subayı Aime Laussedat tarafından geliştirilen fotogrametrik alet ve yöntemler, yersel kameralarla alınan görüntülerin kullanımıyla gelişimine devam etmiş, hava platformlarının gelişimine paralel olarak hava fotoğraflarının ve uydu görüntülerinin kullanıldığı dijital fotogrametrik çalışma istasyonları aşamasına gelmiştir (Konecny, 1985). Fotogrametrik amaçlı harita üretiminin temel girdisini teşkil eden görüntü ihtiyacının karşılanmasında, son yıllarda oldukça önemli gelişme gösteren ve ticari olarak elde edilebilen yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin bir alternatif olarak ortaya çıkmasına karşın uçaklara takılı hava kameraları ile görüntü alımına devam edilmektedir.

Bu çalışmada, uçaklara takılı hava kameraları ile görüntü alımının planlama aşamasından başlayarak, dijital fotogrametrik iş istasyonlarında kullanıma hazır hale getirilinceye kadar gerçekleştirilen işlemleri kapsayan sürecin maliyet analizi yapılmıştır. Havadan fotoğraf alımında önemli bir maliyet kalemini oluşturan hava kameraları dijital ve analog olmak üzere iki ayrı kategoride sınıflandırılarak incelenmiştir. Kamera maliyetlerine analog kamera ile pozlanan hava filmlerinin banyo edildiği laboratuvar çalışmaları ve bu filmlerin sayısallaştırılması amacıyla gerçekleştirilen tarama işlemleri ile dijital kameralar tarafından uçuş süresince kaydedilen görüntülerin uçakta bulunan kayıt disklerinden fotogrametrik iş istasyonlarına aktarılması ve bu verilerin işlenmesi işlemlerini kapsayan uçuş sonrası yer çalışmaları da dahil edilmiştir.

2. MALİYET ANALİZİ

Havadan fotoğraf alım çalışmalarında ortaya çıkan maliyet; sabit ve işletme giderleri olarak iki temel gruba ayrılmaktadır. Havadan fotoğraf alım sürecindeki tüm faaliyetlerin sabit veya işletme karakterli bir maliyeti vardır. Sabit giderlerin özelliği, yürütülen veya yürütülecek faaliyetlerden bağımsız olmasıdır. Diğer bir anlatımla, fotoğraf alımı yapılsa da yapılmıyorsa da devam eden giderler sabit giderler olarak adlandırılmaktadır. İşletme giderleri ise gerçekleştirilen bir işlem sonucu oluşan giderler olup, işlemin sona ermesiyle birlikte gider de sonlanmaktadır.

Uçuşta ve yerde gerçekleştirilen faaliyetler olmak üzere iki temel aşamadan oluşan havadan fotoğraf alımındaki çalışmalar ile ilgili gerçekçi bir maliyet elde edebilmek için, öncelikle uçuş ve yer çalışmalarının kalem bazında belirlenmesi, daha sonra da her bir kalemin maliyetinin hesaplanması gerekmektedir. Hava fotoğraflarının işlem adımları ve maliyetinin analog veya dijital algılayıcıya göre değiştiği göz önüne alınarak, gider yaratan faaliyet konuları ile gider türleri Tablo 1’de verilmiştir.

			Analog	Dijital	Sabit	İşletme
Uçuş Faaliyetleri	Uçak	Akaryakıt	x	X		x
		Bakım	x	X		x
		Hangar	x	X	x	
		Sigorta	x	X	x	
		Personel	x	X	x	
		Çeşitli Giderler	x	X	x	
	Kamera	Bakım/Onarım	x	X	x	
		Hava filmi	x			x
		Personel	x	X	x	
Yer Faaliyetleri	Laboratuvar	Bakım/Onarım	x		x	
		Kimyasallar	x			x
		Personel	x		x	
	Tarama	Bakım/Onarım	x		x	
		Personel	x		x	
	Veri işleme	Bakım/Onarım		X	x	
Personel			X	x		

Tablo 1: Havadan fotoğraf alımındaki gider kalemleri

Gider kalemlerinin sabit maliyetleri yıl, işletme maliyetleri ise saat bazında hesaplanmaktadır. Uçak personeli; pilot, navigatör ve uçak makinistinden, kamera personeli ise bir kamera operatöründen oluşmaktadır ancak bazı durumlarda kamera operatörü ile navigatör aynı kişi olabilmektedir. Hangar gideri, uçağın konduğu meydana kiralanmış veya mülkiyet hakkına sahip olunan hangarın yıllık kira bedeli veya yapım maliyetinin yıllık baza indirilmiş bedelini yansıtmaktadır. Sigorta gideri ise uçak ve uçuş personeli için ayrılan yıllık sigorta primleri toplamından oluşmaktadır. Çeşitli gider kalemi; hava seyrüsefer sistemleri güncelleme aboneliği, simülasyon eğitimleri gibi yıllık harcamalardan oluşmaktadır (Operations Planning Guide, 2001).

2.1. Uçak Giderleri

Havadan fotoğraf alımında kullanılan uçakları; alçak ve yüksek irtifa uçakları olmak üzere uçuş tavanlarına göre kategorize etmenin en doğru sınıflandırma olacağı değerlendirilmektedir. Maliyet/etkinlik faktörü göz önüne alındığında, havadan fotoğraf alım uçağının, istenilen çözünürlüğün elde edilebileceği en küçük ölçekli görüntüyü alabilecek irtifaya çıkabilecek performansına sahip olması beklenmektedir. Uçaktan alınan görüntünün fotogrametrik kıymetlendirme duyarlılığı d (m), seçilen referans yüzeyinin ortometrik yüksekliği h_r (m), kullanılan hava kamerasının odak uzaklığı f (mm) olmak üzere, maksimum uçak uçuş tavanı h_m , ayırma gücü r_a (1/mm) verildiğinde (1), görüntü çözünürlüğü r_g (mm) verildiğinde ise (2) eşitliği ile bulunabilmektedir.

$$h_m = f \cdot d \cdot r_a + h_r \text{ (m)} \quad (1)$$

$$h_m = f \cdot d / r_g + h_r \text{ (m)} \quad (2)$$

Kamera odak uzaklığı (f), ayırma gücü (r_a) ve görüntü çözünürlüğü (r_g), kamera ile ilgili değerler olup, üreticiler tarafından bir standarda bağlanmış değerlerdir. Dünyada hava kamerası ve hava filmi üreten oldukça sınırlı sayıda firma olması nedeniyle, kameraların optik ayırma güçleri ile banyo edilen görüntülerin çözünürlükleri birbirlerine oldukça yakındır ve ortalama 50 çizgi/mm değeri planlama amacıyla kullanılabilir. Kamera objektifleri ise 90, 150, 210 ve 300 mm odak uzaklık değerlerinde üretilmekte olup, en yaygın olarak kullanılan objektif tipi 90° görüş açılı 150 mm odak uzaklığına sahip olmaktadır. Referans yüksekliği ise uçak ve kameradan bağımsız bir değer olup, uçuş yapılacak arazinin ortalama ortometrik yüksekliğini yansıtmaktadır. Bu değerlendirmeler dikkate alındığında; havadan fotoğraf alım uçağının performansının belirlenmesi amacıyla yapılan maksimum uçuş tavanı hesaplanmasında belirleyici faktörün, harita ölçeğine bağlı olarak hesaplanan fotogrametrik kıymetlendirme duyarlılığı (d) olduğu ortaya çıkmaktadır.

1:25.000 ölçekli harita üretimi için ihtiyaç duyulan fotogrametrik kıymetlendirme duyarlılığı 2.5 m, kameranın ayırma gücü 50 çizgi/mm, kamera odak uzaklığı 150 mm ve referans yüzeyi 1500 m olduğu varsayılarak bir örnek yapıldığında, (1) eşitliği kullanılarak maksimum uçak uçuş tavanı (h_m) olarak 20250 m (66500 ft) bulunmaktadır. Bu sonucun teorik anlamı; varsayılan hava kamerası ile en ekonomik şekilde görüntü alımının gerçekleştirilmesi için 20250 m irtifadan 1:125000 ölçekli hava fotoğrafı alınması gerektiğidir. Halen bu irtifaya çıkarak görüntü alabilecek performansa sahip sivil amaçlı uçak bulunmadığından, 23x23 cm formatında bir kamera ile 28750x28750 m boyutlarında bir görüntü elde etmenin pratik bir anlamı bulunmamaktadır.

Fotogrametrik kıymetlendirme duyarlılığının 1 m olarak alınması durumunda ise 9000 m irtifadan 1:50000 ölçekli görüntü toplanacaktır. Bu durumda, görüntü boyutları 11500x11500 m olarak gerçekleşecektir. Benzer şekilde, üretilecek harita ölçeğini büyütme suretiyle görüntü çözünürlüğünün bir metrenin altına indirilmesi durumunda maksimum uçuş tavanı düşecektir ancak görüntünün yeryüzünde kapladığı alan da aynı oranda düşecektir. Görüntü alanının azalması, aynı bölgenin daha uzun sürede görüntülenmesi sonucunu doğurmakta, dolayısıyla da işletme maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Bu konuda dikkat edilmesi gereken en önemli konu, uçak performansına bağlı olarak ortaya çıkacak sabit giderlerdeki maliyet artışı ile bölgenin daha kısa sürede görüntülenmesinin sağlayacağı işletme tasarrufunun karşılaştırılmasıdır.

Havadan fotoğraf alımında kullanılan uçaklar özel üretim olmayıp, genel havacılık amaçlarıyla üretilen ancak modifiye edilmiş uçaklardır. Diğer bir deyişle, genel havacılık amaçlarıyla üretilen uçaklar arasından bir seçim yapılarak, uçağın havadan fotoğraf alımında kullanılabilmesini sağlamak amacıyla uçağın gövde ve elektrik sisteminde değişiklikler yapılmaktadır. Bu nedenle, havadan fotoğraf alım uçağı maliyeti hesaplanırken modifikasyon için gerekli ilave gider göz önünde tutulmalıdır.

Deniz seviyesinden daha yüksek irtifaya çıkıldıkça, sıcaklık ve basıncın yanı sıra oksijen oranı da düşmektedir. İnsanların yaşamı için gerekli oksijen miktarı 3000 m irtifadan itibaren tehlike sınırına ulaşmakta olup, daha yüksek irtifalarda gerekli önlemleri almaksızın yapılacak uçuşlar insan sağlığında kalıcı hasara yol açmaktadır. 3000-4000 m irtifada maksimum iki saat uçuşa izin verilmekle birlikte, bu sorun kabin basınçlaması veya mürettebat oksijen sistemi kullanımı ile aşılmaktadır. Kabin basınçlı uçaklar, kabin içi koşulları insan sağlığına uygun olarak korunmasını sağlarlar. Bir fikir vermesi açısından, 12000 m yüksekten uçan bir yolcu uçağının basınçlama sayesinde kabin içi irtifasının yaklaşık 2500 m düzeyinde olduğu söylenebilir. Bu konuya değinilmesinin nedeni, kabin basınçlama yeteneğine sahip olan uçakların sabit ve işletme giderlerinin diğerlerine göre yüksek olmasıdır. Ayrıca, kabin basınçlı uçakların havadan fotoğraf alımı amacıyla modifikasyon maliyetleri de kabin basınçlaması olmayan uçaklara göre daha yüksektir.

Uçuş tavanı yükseldikçe uçakların motor tipleri de değişmektedir. Piston motorlu pervaneli uçakların tavanı 6000 m, türbin motorlu pervaneli (turbo-prop) uçakların tavanı 10000 m, hava tepkili jet (fanjet) motorlu uçakların tavanı 16000 m ve gaz tepkili jet uçaklarının tavanı ise 20000 m dolayındadır. Uçağın motor tipi ise hem ilk yatırım maliyetini, hem de işletme maliyetlerini etkilemektedir. Bu durumu dikkate alarak ucuzdan pahalıya doğru bir sıralama yapıldığında; kabin basınçsız ve basınçlı piston motorlu pervaneli, kabin basınçlı türbin motorlu pervaneli, hava ve gaz tepkili jet motorlu uçaklar şeklinde bir sıralama ortaya çıkmaktadır. Her bir kategorinin içerisinde tek veya çift motorlu, uzun veya kısa menzilli, küçük veya geniş kabinli gibi değişik modeller vardır ancak gaz tepkili jet uçakları genelde askeri maksatlı uçaklar olup, kendi kategorisinde ayrı bir sınıflandırma yapılmalıdır.

İşletme maliyeti ile sabit giderler yıllık uçuş süresinden bağımsız olarak belirlenen değerlerdir. Bir uçağın saatlik maliyeti yıl boyunca gerçekleşen uçuş süresine bağlı olarak değiştiğinden, bu çalışmada 200, 400 ve 600 saate göre üç ayrı maliyet hesaplanmış olup, uçuş süresi arttıkça saatlik maliyetin düştüğü görülmektedir. Diğer bir anlatımla, yıl içinde daha fazla uçuş yapılması, uçuş maliyeti içindeki sabit gider oranının azalmasını sağlamaktadır. Maliyet konusunu daha net bir şekilde açıklayabilmek amacıyla 40000 km² büyüklüğündeki bir alanın; değişik fotogrametrik kıymetlendirme duyarlıklarında, 50 çizgi/mm ayırma gücüne ve 150 mm odak uzaklığına sahip kamera ile %60 ileri, %30 yan bindirmeli görüntü alımı için uçak maliyeti Tablo 2’de verilmiştir.

Duyarlık (m)	İrtifa (m)	Ölçek Faktörü	Maliyet (USD)				
			İşletme	Sabit	200 saat	400 saat	600 saat
0.25	3375	12500	286	94565	759	522	444
0.50	5250	25000	332	124173	953	643	539
1.00	9000	50000	488	157080	1274	881	750
1.50	12750	75000	995	288126	2436	1715	1475
2.00	16500	100000	1442	399162	3438	2440	2107
2.50	20250	125000	2000	1500000	13500	9750	8500

Tablo 2: Havadan fotoğraf alımında kullanılan uçak maliyetleri

2.2. Kamera Giderleri

Havadan fotoğraf alımında bir diğer maliyet kalemini kamera oluşturmaktadır. Uçaklara monte edilen kameralar dijital ve analog olmak üzere iki ayrı kategoride sınıflandırılmaktadır. Analog kameraların işletme gideri olan hava filmi sarfiyatına karşın dijital kameralar için benzer bir gider kalemi bulunmamaktadır. Kameraların yıllık bakım ve onarım gideri ile personel giderleri ise sabit giderler kalemini oluşturmakta olup, hem dijital hem de analog kamera için geçerlidir.

Personel giderlerinin analog ve dijital kameralar için aynı olacağı değerlendirilmiş ve kamera operatörü gideri yıllık 24000 USD olarak alınmış ve kameraların kalibrasyonu ile yıllık bakım onarım giderlerinin ise 10000 USD olacağı kabul edilmiştir.

Analog hava kameralarınca kullanılan siyah-beyaz, renkli ve renkli hava filmlerinin maliyetleri Tablo 3'de verilmiştir.

Duyarlık (m)	İrtifa (m)	Ölçek Faktörü	Resim Sayısı	Maliyet (USD)		
				Siyah Beyaz	Renkli	Renkli Kızılötesi
0.25	3375	12500	17500	30702	89444	163333
0.50	5250	25000	4400	7719	22489	41067
1.00	9000	50000	1125	1974	5750	10500
1.50	12750	75000	510	895	2607	4760
2.00	16500	100000	299	525	1528	2791
2.50	20250	125000	190	333	971	1773

Tablo 3: Havadan fotoğraf alımında film maliyeti

Kamera maliyetine ilişkin analiz çalışmasındaki en zor konu dijital ve analog kameraların maliyetlerin karşılaştırılmasıdır çünkü elektromanyetik spektrumun değişik bantlarına ait görüntü alımı dijital kamerada maliyet farkı yaratmazken, analog kamera ile görüntü alımında kullanılan hava filminin cinsine bağlı olarak dikkate değer bir fark ortaya çıkmaktadır.

Uçuş saatinden bağımsız olarak ölçek ve bölgenin alanına bağlı olarak hesaplanan resim sayısından yola çıkılarak; siyah-beyaz, renkli ve renkli kızılötesi film cinsleri için maliyet ayrı ayrı belirlenmiştir. Analog hava kamerası ile aynı anda yalnızca bir tek film cinsi ile görüntü alınabilirken, dijital kamera ile pankromatik ve çok bantlı görüntü aynı anda alınabilmektedir. Değişik gerekçelerle aynı bölgenin pankromatik ve çok bantlı görüntüsünün alımı söz konusu olduğunda, uçakta iki adet analog kamera veya bir adet dijital kameraya gerek vardır. Eğer havadan fotoğraf alım uçağının modifikasyonu iki kameranın aynı anda kullanımına uygun olarak yapılmış ise çift analog kamera ile görüntü alımı durumunda kamera maliyeti, tek kamera ile aynı görüntülerin toplanması durumunda ise uçuş maliyeti iki misli olacaktır. Bu değerlendirmeler ışığında, analog ve dijital kamera maliyetlerini aynı ölçekte belirtmek ve bunu yaparken de dijital kameranın bu üstünlüğünü yok etmemek için film tiplerine göre üç ayrı analog kamera maliyeti hesaplanmıştır.

2.3. Yer Çalışmalarının Maliyeti

Havadan fotoğraf alımındaki yer çalışmaları; analog kamera ile pozlanan hava filmlerinin banyo edildiği laboratuvar çalışmaları ve bu filmlerin sayısallaştırılması amacıyla gerçekleştirilen tarama işlemleri ile dijital kameralar tarafından uçuş süresince kaydedilen görüntülerin uçakta bulunan kayıt disklerinden fotogrametrik iş istasyonlarına aktarılması ve bu verilerin işlenmesi işlemlerini kapsayan uçuş sonrası yer çalışmalarından oluşmaktadır.

Analog kamera ile alınan görüntülerin banyo edilmesi ve arşivlenmesi için iki, taranması için bir olmak üzere toplam üç personel planlanırken, dijital kamera ile görüntü alınması durumunda ise veri aktarma ve işleme için bir personele ihtiyaç duyulacağı öngörülmüştür. Standartlığın korunması amacıyla, uçuş sonrası yer çalışmalarında görevlendirilecek personelin yıllık gideri de kişi başına 24000 USD olarak alınmıştır.

Pozlanan filmlerin banyo edilmesi ve çoğaltılması amacıyla kullanılan laboratuvar cihazlarının ve sayısallaştırmada kullanılan fotogrametrik tarayıcıların yıllık bakım giderleri ile arıza onarımları sabit gider olarak maliyeti hesabına dahil edilmiş olup, yıllık 20000 USD olarak kabul edilmiştir. Dijital kamera ile toplanan görüntülerin yerdeki fotogrametrik sistemlere aktarılması ve işlenmesi özel donanım gerektirmemekte ancak kameranın bir bileşeni olan depolama disklerinin yıllık bakım ve onarım gideri olarak 5000 USD dikkate alınmıştır.

2.4. Genel Değerlendirme

Uçaklara takılı analog ve dijital kameralarla görüntü alım maliyetinin belirlenmesi ve uçak, kamera ve yer çalışmaları bileşenlerinin maliyetlerinin karşılaştırmalı olarak irdelenebilmesi amacıyla, görüntü alım süreleri de dikkate alınarak Tablo 4'te toplu değerler verilmiştir.

Duyarlık	(m)	0.25	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
İrtifa	(m)	3375	5250	9000	12750	16500	20250
Ölçek Faktörü		12500	25000	50000	75000	100000	125000
Resim Sayısı		17500	4400	1125	510	299	190
Uçak	Sabit	94565	124173	157080	288126	399162	1500000
	İşletme	286	332	488	995	1442	6000
Analog Kamera	Sabit	34000	34000	34000	34000	34000	34000
	S-B	30702	7719	1974	895	525	333
	Renkli	89444	22489	5750	2607	1528	971
	Renkli IR	163333	41067	10500	4760	2791	1773
Dijital Kamera	Sabit	34000	34000	34000	34000	34000	34000
Laboratuvar	Sabit	58000	58000	58000	58000	58000	58000
Kimyasal	S-B	1535	386	99	45	26	17
	Renkli	4472	1124	288	130	76	49
	Renkli IR	8167	2053	525	238	140	89
Tarama	Sabit	34000	34000	34000	34000	34000	34000
Veri İşleme	Sabit	29000	29000	29000	29000	29000	29000
Uçuş Süresi	(saat)	180.556	73.611	27.282	12.664	7.996	5.556
	(gün)	36	15	5	3	2	1
Yer Çalışması (gün)	Analog	328	83	21	10	6	4
	Dijital	14	4	1	1	1	1

Tablo 4: Havadan fotoğraf alımı toplu maliyet değerleri (USD)

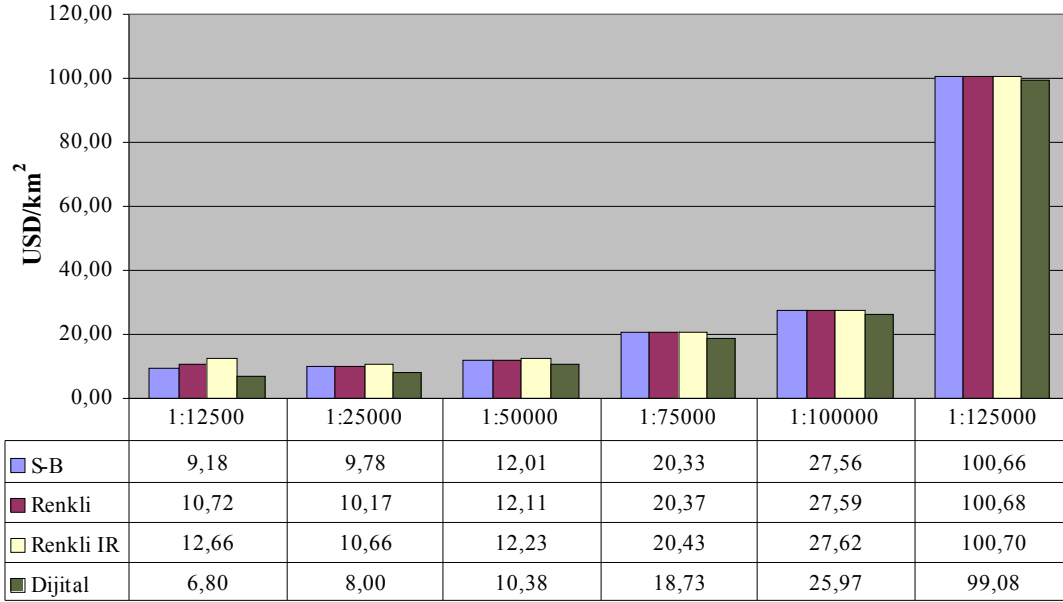
Uçak, kamera, laboratuvar, tarama ve veri işleme kalemlerinin maliyetleri saat bazında belirlenirken, film ve banyo kimyasallarının maliyeti ise görüntülenecek alan ve ölçeğin fonksiyonu olan resim sayısına bağlı olarak oluşmaktadır. Sabit giderlerin saat başına düşen miktarını belirlemek amacıyla, yıllık ortalama uçuş süresinin bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Genel havacılık uçaklarının maliyet analizlerinin 200, 400 ve 600 saat üzerinden yapıldığı göz önüne alınarak, havadan fotoğraf alım amaçlı işletilen bir uçağın yıllık ortalama 400 saat uçtuğu kabul edilmiştir. Film ve banyo maliyetlerinin hesaplanabilmesi için 40000 km² alanın görüntülediği kabul edilerek Tablo 5 oluşturulmuştur.

Duyarlık	(m)	0.25	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
----------	-----	------	------	------	------	------	------

İrtifa (m)		3375	5250	9000	12750	16500	20250
Uçak (USD/saat)		522	643	881	1715	2440	9750
Analog Kamera (USD/saat)		315	315	315	315	315	315
Film (USD)	S-B	32237	8105	2072	939	551	350
	Renkli	93917	23613	6038	2737	1605	1020
	Renkli IR	171500	43120	11025	4998	2930	1862
Dijital Kamera (USD/saat)		158	158	158	158	158	158

Tablo 5: Yıllık 400 saat uçuşa göre havadan fotoğraf maliyeti

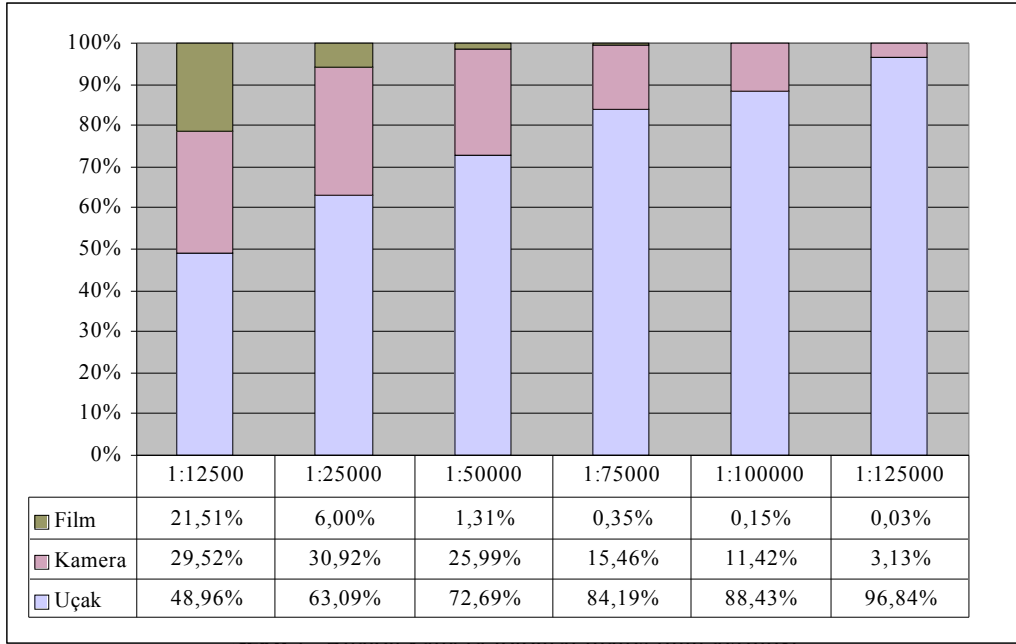
Tablo 5 incelendiğinde; kamera maliyetinin tüm ölçeklerde sabit olmasına karşın, irtifaya, dolayısıyla ölçeğe, bağlı olarak uçak maliyetinin arttığı, film maliyetinin ise azaldığı görülmektedir. Uçak maliyetinin artış nedeni, daha küçük ölçekli görüntü alabilecek uçakların daha yüksek performansa sahip uçaklar olması gereğidir. Film maliyetinin ölçek ile ters orantılı olmasının nedeni ise, resim sayısına bağlı olarak film miktarının ve banyo işlemlerinin azalmasıdır. Uçaklara takılı algılayıcılarla kaydedilen analog ve dijital görüntülerin alan bazında havadan fotoğraf alım maliyetleri Şekil 1’de grafik ve tablo şeklinde verilmiştir.



Şekil 1: Analog ve dijital kameralarla görüntü alımının alan bazında maliyeti

Havadan fotoğraf alım maliyetinin 1:12500 ile 1:50000 ölçekleri arasında ortalama 10 USD/km² olmasına karşın, 1:75000 ölçeğinde 20, 1:100000 ölçeğinde 27 ve 1:125000 ölçeğinde ise 100 USD/km² olduğu görülmektedir. Bunun anlamı, ölçeğin doğrusal biçimde küçülmesine karşın, maliyet artışının doğrusal değil logaritmik artış göstermesidir. Bunun nedeni ise küçük ölçekli görüntü alabilecek performansa sahip uçak maliyetlerinin düşük performansa sahip alçak irtifa uçaklarına kıyasla çok yüksek olmasıdır. Çünkü birim alanın havadan fotoğraf alım maliyetinin içindeki uçak giderinin oranı en düşük maliyetli uçakların kullanıldığı en büyük ölçekli görüntü alımında bile %50 dolaylarındadır. Buna karşın, 20250 metre yükseklikten 1:125000 ölçekli alınan görüntü maliyeti içerisindeki içerisinde hava filminin oranı % 0.03 olarak gerçekleşirken uçak gider oranı %97 olarak ortaya çıkmaktadır.

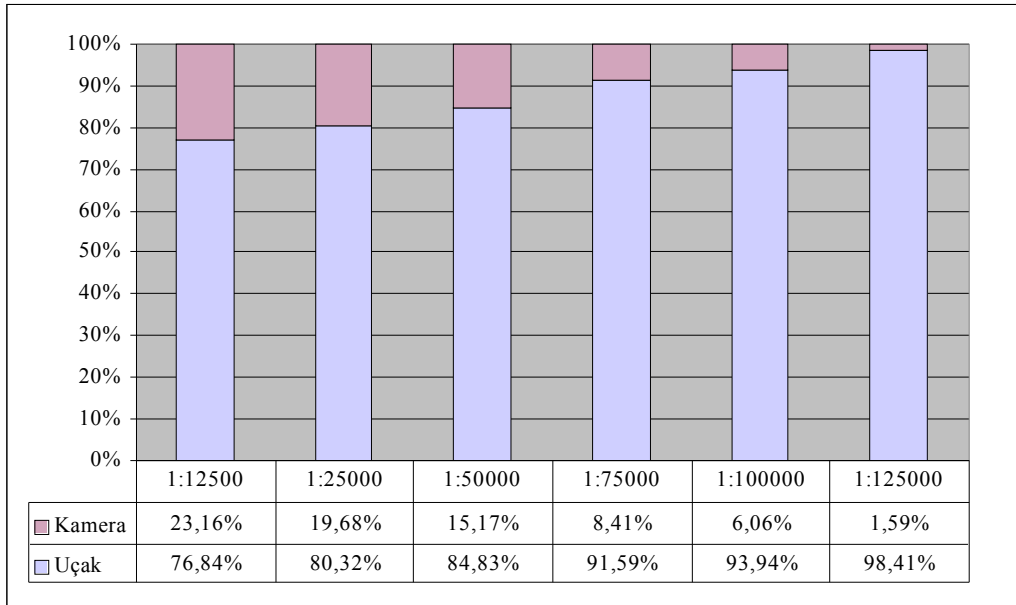
Konuyu daha iyi anlatabilmek amacıyla analog kamera havadan fotoğraf alımının kilometre kare birim maliyeti içerisindeki uçak, kamera ve film giderlerinin oranları Şekil 2’de verilmiştir. Kamera giderinin içerisinde, laboratuvar ve tarama çalışmaları dahil edilmiştir. Analog kameralarda siyah-beyaz, renkli ve renkli kızılötesi hava filmleri kullanıldığından, her üç film için de ayrı ayrı hesaplama yapılmış ancak oranların birbirlerine yakın olması nedeniyle film harcama kalemi için film gider oranlarının ortalaması olan değer esas alınmıştır.



Şekil 2: Analog kamera fotoğraf maliyetinin ayrışması

Kilometrekare başına düşen gider kalemlerinin irdelenmesi sonucunda; 1:50000 ve daha küçük ölçeklerden itibaren, film maliyetinin toplam maliyet içindeki payı %1'in altında olup, göz ardı edilebilecek bir düzeye inmektedir. Hava filmi kadar olmasa bile hava kamerasının maliyet içerisindeki oranı %30 düzeyinden başlayıp %3 düzeyine kadar inmektedir. Uçak maliyetinin oranı ise daha önce de belirtildiği gibi küçük ölçeklere doğru daha hızlı artmaktadır.

Analog kamera ile görüntü alınmasına benzer şekilde, dijital kamera ile görüntü alınmasının kilometrekare maliyeti içerisindeki uçak ve kamera maliyet oranları grafik ve tablo olarak Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3: Dijital kamera görüntü maliyetinin ayrışması

Uçağın maliyet içerisindeki üstünlüğü dijital kamera kullanılarak gerçekleştirilen görüntü alınmasında da kendini göstermektedir. Analog kameraya göre daha düşük maliyete sahip olan dijital kameranın 1:12500 ölçekteki %23 olan oranı 1:125000 ölçekte %2 düzeyinin altına inmektedir. Diğer bir ifadeyle, uçak maliyet oranı en düşük %77, en yüksek %98 dolaylarında gerçekleşmektedir. Havadan görüntü alınmasında kullanılabilecek uçaklar göz önüne alındığında, 20250 m irtifadan uçabilme yeteneğine sahip uçağın silahlı kuvvetler tarafından kullanılan uçak olması nedeniyle çalışmada bir seçenek olarak ele alınmamıştır. Diğer uçaklar incelendiğinde, saatlik uçuş maliyeti 2500 USD olan uçak ile 2, 1700 USD olan uçak ile 3, 900 USD olan uçak ile 5, 650 USD olan uçak ile 15 ve 500 USD olan uçak ile 36 günde 40000 km² büyüklüğünde bir alanın görüntülenebildiği görülmektedir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

3.1. Sonuçlar

Fotogrametrik harita üretimi için gerekli olan görüntü alım teknolojisinin bugünkü durumu ve geleceğe yönelik eğilimi dikkate alındığında;

- Uydu sayısının artması ve algılayıcı niteliklerinin yükselmesine rağmen uçaklara takılı sistemlerle görüntü alınımının gelecekte de devam edeceği,
- Önümüzdeki on yıl içerisinde uçaklara takılı analog sistemlerin yerini tamamen dijital sistemlerin alacağı,
- Dijital kameraların toplam ağırlığının %50'sini oluşturan veri depolama ünitelerinin boyut ve ağırlıklarının küçüleceği ve kapasitelerinin artacağı,
- Veri iletim teknolojisinin gelişimine bağlı olarak, uçuş sırasında dijital kamera ile toplanan görüntülerin yerdeki dijital fotogrametrik istasyonlarına gerçek zamanlı olarak aktarılması sonucunda rektifiye edilmiş düzey görüntülerin gerçeğe yakın bir sürede üretilebilir duruma gelineceği beklenmektedir.

Tepkili jet motoruna sahip uçakların askeri olması, fan-jet motorlu uçakların gerek yatırım gerekse saatlik uçuş maliyetlerinin yüksek olması, düşük performanslı alçak irtifa uçaklarının uçuş ve yer çalışmaları için uzun zaman dilimine ihtiyaç duymaları nedeniyle; havadan görüntü alımına en uygun uçak tipinin 9-10 km uçuş tavanına ve 450-500 km/s uçuş süratinde, turbo-prop motorlu ve kabin basınçlı bir uçak olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

3.2. Öneriler

Fotogrametrik amaçlı görüntü ihtiyacının karşılanma sürecinde maliyet etkin bir yol izlenmesi amacıyla;

- Gelecek on yıl içerisinde, analog sistemlerin yerini dijital sistemlerin alacağı düşünüldüğünde, analog kamera ile çekilen görüntülerin banyo edilmesi ve sayısallaştırılması amacıyla kullanılan laboratuvar ve tarama sistemlerine orta ve uzun vadede yatırım planlanmamasının,
- Uçak maliyetinin düşürülebilmesi için havadan fotoğraf alımı dışındaki zamanlarda, uçağın gelir getirici uçuşlarda kullanılmasının,
- Uçaklara takılabilen algılayıcı tedarik edilmesi söz konusu olması halinde, dijital sistemlerin tercih edilmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Ayrıca, uçak arızası veya periyodik bakımı gibi nedenlerle planlı uçuşların aksatılmaması için veya çok kısıtlı açık gün yakalanabilen bir bölgede yapılacak havadan fotoğraf alımında açık havadan maksimum oranda yararlanmak amacıyla, havadan fotoğraf alım ünitesinde ikinci bir uçağın olmasında yarar görülmektedir. Bakım ve ikmal standardizasyonu açısından her iki uçağın da aynı tip olması tercih edilmesine karşın, saatlik uçuş maliyeti açısından durum ele alındığında, ikinci uçağın 6000 m uçuş tavanına sahip, tek motorlu, turbo-prop ve kabin basınçlı olmasının daha uygun bir seçenek olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Konecny, G., 1985. *The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing - 75 Years old or 75 Years Young*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51(7), 919-933.

Operations Planning Guide, 2001. Operating Costs Guide, Business & Commercial Aviation, August 2001, 59-75.

BİLDİRİ İLE TESLİM EDİLECEK EK DOSYANIN FORMATI

BİLDİRİNİN BAŞLIĞI

Uçaklarla Toplanan Fotogrametrik Amaçlı Görüntü Maliyetinin Analizi

SUNUM YAPAN YAZARI ADI

Abdullah YILDIRIM

ÖZGEÇMİŞ

1962 yılında Çifteler/ESKİŞEHİR’de doğdu. İlk okulu Çifteler’de, orta okulu Amerika Birleşik Devletlerinde tamamladı. 1979 yılında Kuleli Askeri Lisesini bitirerek öğrenime başladığı Kara Harp Okulundan 1983 yılında Harita Teğmen rütbesiyle mezun oldu. 1984 yılı sonunda Kara Havacılık Okulundaki pilotaj eğitimini tamamlayarak, 1985 yılı Ocak ayında Harita Hava Grup Komutanlığında pilot olarak göreve başladı. 1988 yılında Enschede/HOLLANDA’da bulunan ITC’de havadan fotoğraf alımı ve navigasyon kursuna katıldı. 1997 yılında Harita Yüksek Teknik Okulundan mezun olarak Harita Mühendis diploması aldı. Haziran 2000 tarihinde Ortadoğu Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Bölümünde Yüksek Lisans, Aralık 2004 tarihinde İstanbul Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünde Doktora öğrenimini tamamladı. Halen Harita Genel Komutanlığında çalışmaktadır.

İLETİŞİM BİLGİLERİ

Adı – Soyadı: Abdullah YILDIRIM

Yazışma Adresi: Harita Genel Komutanlığı, 06100 Dikimevi / ANKARA

Telefon: 312-595 22 15

Faks: 312-320 14 95

e-posta: abyildirim@hgk.mil.tr

Adı – Soyadı: Dursun Zafer ŞEKER

Yazışma Adresi: İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü 34469 Maslak / İSTANBUL

Telefon: 212-285 37 55

Faks: 212-285 65 87

e-posta: seker@itu.edu.tr