

İnsansız hava araçları ile yüksek hassasiyette sayısal yükseklik modeli üretimi ve ormancılıkta kullanım olanakları

Mustafa Akgül^{1*}, Hüseyin Yurtseven², Murat Demir¹, Abdullah Emin Akay³, Sercan Gülcü⁴, Tolga Öztürk¹

^{1*} Istanbul University Faculty of Forestry, Department of Forest Construction and Transportation, Istanbul, Turkey

² Istanbul University Faculty of Forestry, Department of Surveying and Cadastre, Istanbul, Turkey

³ Bursa Technical University Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, Osmangazi, Bursa, Turkey

⁴ Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, Kahramanmaraş, Turkey

* Corresponding author e-mail (İletişim yazarı e-posta): makgul@istanbul.edu.tr

Received (Geliş tarihi): 05.02.2015 Revised (Düzelme tarihi): 02.03.2015 Accepted (Kabul tarihi): 02.03.2015

Özet: İnsansız Hava Araçları (İHA), aerodinamik uçuş prensiplerine göre aralıksız olarak otomatik ya da yarı otomatik uçabilme özelliğine sahip içerisinde uçuş ekibi (pilot) olmadan hareket eden araçlardır. Çalışma kapsamında İ.Ü.Eğitim Araştırma ve Uygulama Ormanı araştırma alanı olarak belirlenmiş olup, sayısal yükseklik modeli (SYM) verilerinin üretilmesi ve yüksek hassasiyette görüntü alımında uçabilen taşıyıcı platform olarak Trimble UX5 marka yeni nesil autonom İHA ve tümeleşik yer kontrol sistemleri kullanılmıştır. Elde edilen görüntü verileri, Trimble Business Center (TBC) v3.1 fotogrametri yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, İHA ile uçuş yüksekliğine bağlı olarak 2,4 cm ile 24 cm arasında görüntü çözünürlüğe sahip hassas veriler elde edilebildiği tespit edilmiştir. Ülkemizdeki ormanlık alanlara ait Lidar verileri gibi daha hassas verilerin henüz elde edilememesi nedeniyle insansız hava araçları ormancılık çalışmaları için yüksek hassasiyette çalışmalarda katkı sağlayacak önemli bir araç olacağı sonucuna varılmıştır. İnsansız hava araçlarının ormancılık çalışmalarında kullanılmasında karşılaşılabilecek mevcut dezavantajlar ise, İHA uçuşları konusunda eğitimli personel eksikliği ile inişte uçak bütünlüğünün korunması olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, İHA ve sistemlerinin bütün aşamaları ile değerlendirilmiş ve test edilmiştir. Ormancılık çalışmalarında, ihtiyaç duyulan coğrafi bilgi sistemi verilerinin elde edilmesinde İHA olanakları kullanımının yarar sağlayacağı düşünülmektedir. SYM (Sayısal Yüzey Modeli) verilerinin hassasiyeti bakımından detaylı olarak değerlendirilen görüntü alımlarının LIDAR ve IFSAR verilerinin sahip olduğu hassasiyete nispeten sahip olmadığı, ancak maliyet bakımından karşılaştırıldığında oldukça verimli alternatif fotogrametrik bir araç olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnsansız hava araçları, sayısal yükseklik modeli, ormancılık

Usage opportunities of generating digital elevation model with unmanned aerial vehicles on forestry

Abstract: Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are sustained in flight by aerodynamic lift and guided without an onboard crew, they may be expandable or recoverable and can fly autonomously or semiautonomously. Within the scope of study, new generation series autonomous UAV brand which is Trimble UX5 is used for generating high accuracy digital model and obtaining high accuracy image in Istanbul University research and application forest. These obtained images are evaluated with photogrammetry software Trimble Business Center (TBC) v3.1. In this study it was determined that we can obtain high accuracy data image resolution from 2.4 cm to 24 cm depending on the flight altitude with UAV. It was concluded that UAV systems can contribute in forestry work to obtain sensitive data because of there is no other high accuracy data such as LIDAR. And lack of trained personnel in UAV flights is disadvantages. In this study, UAV and its systems were evaluated and tested in all steps. It was expected that geographic information data which required forestry applications, can be easily be obtained with UAV. When digital surface model (DSM) data was assessed comprehensively, it was concluded that the data which obtained from UAV systems are more cheaper, productive and from LIDAR and IFSAR data. At the same time UAV data are relatively sensitive such LIDAR and IFSAR.

Keywords: Unmanned aerial vehicle, digital elevation model, forestry

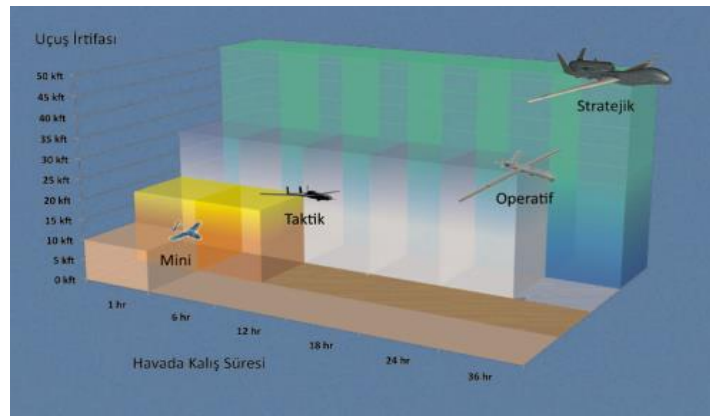
To cite this article (Atıf): Akgül, M., Yurtseven, H., Demir, M., Akay, A.E., Gülcü, S., Öztürk, T., 2016. İnsansız hava araçları ile yüksek hassasiyette sayısal yükseklik modeli üretimi ve ormancılıkta kullanım olanakları. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University* 66(1): 104-118. DOI: [10.17099/jffiu.23976](http://dx.doi.org/10.17099/jffiu.23976)



1.GİRİŞ

İnsansız Hava Araçları (İHA), içerisinde uçuş ekibi (pilot) olmadan, aerodinamik uçuş prensiplerine göre aralıksız olarak otomatik ya da yarı otomatik uçabilme özelliğine sahip araçlardır (Saripalli, 2003). İHA kullanımında yer ile irtibatı sağlayan tümleşik otomasyon sistemleri İnsansız Hava Aracı Sistemleri (İHAS) olarak tanımlanmaktadır. İHA kullanımının ilk örnekleri I.Dünya Savaşı sırasında ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda İHA'lar askeri amaçlar doğrultusunda taarruz, izleme, keşif, gözetleme ve haritalama görevlerinde kullanılmıştır (Remondino ve ark., 2011). Geomatik uygulamalar için gerçekleştirilen ilk sivil çalışma ise Przybilla ve Wester-Ebbinghaus (1979) tarafından yapılmıştır.

İnsansız Hava Araçları havada kalış sürelerine, ağırlıklarına, irtifa yüksekliklerine ve kullanım alanlarına göre farklı sınıflandırmalara tabi tutulmuştur. Yaygın bir sınıflandırmada azami havada kalış süresi ile uçuş irtifası ilişkilendirilir ve İHA ve İHAS sınıfları *Mini*, *Taktik*, *Operatif* ve *Stratejik* olarak 4 ana gruba ayrılmaktadır (Haser, 2010) (Şekil / Figure 1).



Şekil 1. Havada kalış bazlı İHA sınıflandırması (Haser, 2010)
Figure 1. UAV classification according to endurance time (Haser, 2010)

Günümüzde teknolojinin gelişimine paralel olarak İHA'ların; başta askeri uygulamalar olmak üzere, jeolojik ve meteorolojik araştırmalar, arkeolojik alanların incelenmesi, radyasyon seviyesinin incelenmesi, heyelanların incelenmesi, doğal afet yönetimi, uluslararası sınır devriyesi, orman yangını tespiti, deformasyon analizi, yeryüzünün haritalanması ve üç boyutlu şehir veya arazi modelleme gibi kullanım alanları bulunmaktadır (Okuyama ve ark., 2005; Ollero ve ark., 2006; Niethammer ve ark., 2011; Changchun ve ark., 2011; Chiabrando ve ark., 2011; Xiang ve Tian, 2011; Xiaofeng ve ark., 2012; Mozas-Calvache ve ark., 2012; Malet ve Bogaard, 2012; Yılmaz ve ark., 2013).

İnsansız hava araçları ve sistemleri günümüzde artan bir şekilde tüketici örgütleri, ticari işletmeler ve akademik çevreler tarafından doğal veya yapay mekânsal objelere ait coğrafi verileri elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Coğrafi veriler, bir koordinat sistemindeki projeksiyon ve datum bilgisine sahip mekânsal bilgileri içeren verilerdir. Bu veriler uzaktan algılama veya doğrudan ölçüm (atmosferik bileşenlerin örneklenmesi vb.) yöntemleriyle elde edilmektedir (Marshall ve ark., 2011). Mekânsal veri elde etmek için İHAS kullanımı aşamasında en fazla gelişme uzaktan algılama çalışmaları doğrultusunda gerçekleşmiştir (Everaerts, 2008; Marshall ve ark., 2011; Chao ve Chen, 2012).

Uzaktan algılama çalışmaları doğrudan temas olmaksızın yansıtılan ve yayılan elektromanyetik enerjinin kaydedilmesi ve algılanması ile bu bilginin işlenmesi, analiz edilmesi ve uygulanması aşamalarını içermektedir. Algılayıcının, bir hedef veya yüzeyden yayılan veya yansıtılan enerjiyi kaydetmesi ve toplaması için algılayıcı, gözlemlenecek hedef veya yüzeyden izole edilmiş sabit (durağan) bir platform üzerine oturtulmaktadır. Uzaktan algılayıcıların platformları, zemine, uçabilen araçların (uçak, helikopter, balon, zeplin vb.) üzerine yada atmosferin dışındaki bir uzay aracına (uzay gemisi veya uyduya) yerleştirilebilmektedir (CCRS, 2013).

Uzaktan algılama çalışmalarında diğer ülkelerde olduğu gibi algılayıcı sistemlerin, İHAS'leri yardımıyla kullanılması veri toplama aşamasında daha düşük maliyetlerle hassas veri elde etme olanağı sağlamaktadır (Wings et al. 2014). Aynı zamanda geleneksel uçaklarla havadan veri alımı ile karşılaştırıldığında İHA'lar daha hızlı ve daha yüksek manevra kabiliyetine sahiptirler (Coifman ve ark., 2004).

İHA kullanımıyla elde edilen verilerin uydu görüntülerine göre hem maliyet hem de zaman bakımından bazı üstünlükleri bulunmaktadır. Hiç şüphesiz ki uydu görüntüleri birçok çalışmada etkin olarak hizmet vermektedir. Günümüz teknolojisinde uydulardan elde edilen görsellere ait çözünürlük değerleri İHA kullanımıyla elde edilen görüntü çözünürlüklerindeki yüksek hassasiyete ulaşamamıştır. İHA teknolojisi uydu görüntülerine oranla daha dar alanlardan veri alımını sağlarken, uydu görüntüleri daha geniş alanları kapsayan görüntüleri sağlamaktadır (Yılmaz ve ark., 2013). Buna karşın lokal olarak sunmuş olduğu zamansal ve mekânsal çözünürlük ve yine sunmuş olduğu çalışma esnekliğinden dolayı uydu verilerine oranla bir takım üstünlükleri bulunmaktadır.

Birleşik Krallık Savunma Bakanlığı tarafından irtifa, menzil ve havada kalış kabiliyetlerine göre İHA sınıflandırmaları ele alınmaktadır. Günümüzde birçok alanda kullanılan İHA'lar, mekanik yapıları ve uçuş performanslarına (irtifa ve menzil gibi) göre yeniden değerlendirilmiş ve sınıflandırılmıştır (Tablo / Table 1) (Anonim, 2010).

Tablo 1.İnsansız Hava Araçların sınıflandırma tablosu (Anonim, 2010)
Table 1.Unmanned Aerial Vehicle classification table (Anonim, 2010)

Sınıf	Kategori	Standart Kullanım	Standart İrtifa Yüksekliği	Uçuş Menzili Yarıçapı	Birleşik Krallık Sınıflandırması	Örnek Platformlar
Sınıf I <150 kg	Mikro İHA <2 kg	Taktiksel, askeri, bireysel	<60 m	< 5 km	Grup 1 Küçük İHA'lar (< 20 kg)	Black Widow
	Mini İHA 2-20 kg	Taktiksel (Manuel kalkış özelliği)	< 900 m	< 25 km		ScanEagle, Skylark, Raven, DH3
	Küçük İHA >20 kg	Taktiksel amaçlar (Kalkış rampası vs)	< 1500 m	< 50 km	Grup 2 Hafif İHA'lar (20-150 kg)	Luna, Hermes 90
Sınıf II 150-600 kg	Taktik İHA	Taktiksel kullanım	< 3000 m	< 200 km	Grup 3 (>150 kg)	Sperwer, Iview 250, Hermes 450, Aerostar, Watchkeeper
Sınıf III >600 kg	Orta İrtifalı Uzun Süreli Uçuş	Operasyonel /Askeri	< 13000 m	Limitsiz		Predator A&B, Heron, Hermes 900
	Yüksek İrtifalı Uzun Süreli Uçuş	Stratejik /Ulusal	< 20000 m	Limitsiz		Global Hawk
	Yanılıcı ve Saldırı İHA	Stratejik /Ulusal	< 20000 m	Limitsiz	-	

Başta askeri amaçlı olarak ortaya çıkan İHA sistemleri, günümüzde üzerine eklenen farklı özellikler ile farklı amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır. Bu bağlamda İHA'lar doğal kaynak yönetiminde ve ormanlık alanlarda görüntüleme, değerlendirme ve yönetim amaçlı birçok farklı kullanım amacına hizmet etmektedir. Mera alanların sınıflandırılması ve değerlendirilmesi (Rango ve ark., 2009; Laliberte ve ark., 2009; Laliberte ve ark., 2010), bitkilerdeki biomass ve nitrojen miktarının hesaplanması (Hunt ve ark., 2005), vejetasyon değişiminin izlenmesi (Berni, 2009), tepe çapı genişliği ve ağaç yüksekliğinin belirlenmesi (Lisein ve ark., 2013; Zarco ve ark., 2014), bölmeden çıkarma çalışmaları sonucunda oluşan toprak zararının belirlenmesi (Pierzchala, 2014), yollardaki deformasyon oranının belirlenmesi (Zhang ve Elaksher, 2012), orman yangınlarının takibi ve yangın sonrası konumsal durum değerlendirmesi (Ambrosia ve ark., 2003; Horcher ve Visser, 2004) gibi farklı çalışmalarda kullanılmaktadır.

İnsansız hava araçları kullanılarak elde edilen veriler, fotogrametrik olarak değerlendirilebilmekte, değerlendirilen veriler üzerinden elde edilecek sayısal yükseklik modelleri, raster veya nokta bulutu şeklinde oluşturularak çalışmaya özgü ihtiyaçlar doğrultusunda kullanılabilirler. Sayısal Yükseklik (Yüzey) Modeli (SYM), yeryüzü topografyasının herhangi bir bölümüne ilişkin konum ve yükseklik bilgisiyle oluşturulmuş, o bölgeyi tüm arazi detaylarıyla yansıtan 3 boyutlu sayısal bir modeldir. Sayısal Arazi Modeli (SAM) ise yeryüzü topografyasını modellerken SYM'dan farklı olarak orman, bina, bitki örtüsü vb. detayları içermeksizin yalnızca çıplak yeryüzü topografyasını yansıtan sayısal modeldir (Yurtseven, 2008).

Belirli bir yükseklikten ve bindirme oranıyla alınan fotoğrafların, fotogrametrik sistemlerle üç boyutlu olarak değerlendirilmesi ile arazi yüzeyi üzerinde bulunan objelere ait niteliksel ve geometrik bilgilerin elde edilmesi mümkün olmaktadır. Fotogrametrik olarak yapılan değerlendirmeler ile harita üretiminin kolaylığı yersel ölçmelerle harita üretilmesine bir alternatif oluşturması ve yersel ölçmelere oranla çok daha az zaman alıcı bir yöntem olması nedeniyle büyük önem taşımaktadır.

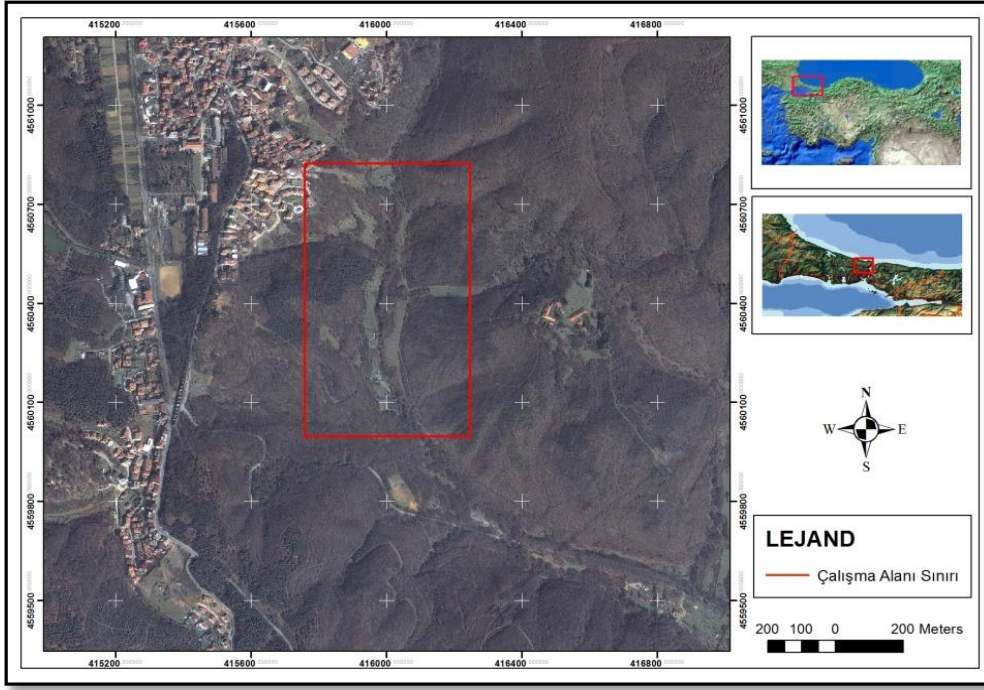
Ayrıca hava fotoğraflarının doğrultulması ve topoğrafik farklılıklardan kaynaklanan hataların giderilmesiyle elde edilen ortofoto haritalar, çalışma alanına ait bir görüntüye de sahip olduklarından yersel ölçmeler sonucu elde edilen çizgisel haritalardan daha fazla bilgiyi bünyelerinde barındırmaktadırlar. Ortofoto haritalara ilave olarak fotogrametrik yöntemler ile yüksek doğrulukta eşyükselti eğrili haritalar, sayısal arazi modellerinin üretimi, insan yapımı (bina, yol, tarla vb.) ve doğal karakteristiklerin (orman – orman yapısı, nehir, göl vb.) çizgisel ve/veya tematik haritalar şeklinde üretilmesi mümkündür. Belirli bindirme oranlarıyla alımı gerçekleştirilen bu görüntülerin bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak değerlendirilebilmesi için bir yazılım fotogrametrisi veya dijital fotogrametri sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Yazılım fotogrametrisi sistemi, yazılım ve bu yazılımın işletileceği donanım yani bilgisayar ve kullanıcıdan oluşan bir sistemdir. Bu yöntemde, kullanılan yazılıma bağlı olarak izlenen iş aşamalarında çeşitlilik göstermektedir. Fakat genellikle standartlaşmış adımlardan oluşmaktadır (Yurtseven, 2008).

Bu çalışmada, ormanlık alanlarda sayısal yükseklik modeli oluşturma olanaklarını araştırma amaçlı *Mini İHA* sınıfına giren Trimble UX5 İnsansız Hava Aracı kullanım olanakları incelenmiştir.

2.MATERYAL VE METOD

Araştırma için belirlenen çalışma sahası İ.Ü.Eğitim Araştırma ve Uygulama Ormanı'nın kuzey parselinin batı sınırı içerisinde bulunmaktadır. Söz konusu alanı, Marmara Bölgesi'nin Trakya tarafında, Greenwich'e göre $28^{\circ} 59' 17'' - 29^{\circ} 32' 25''$ E doğu boylamları ile; $41^{\circ} 09' 15'' - 41^{\circ} 11' 01''$ N kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Araştırma alanının ortalama eğimi % 28 maksimum eğim % 90'dır (Şekil / Figure 2).

SYM verilerinin üretilmesi ve yüksek hassasiyette görüntü alımında uçabilen taşıyıcı platform olarak Trimble UX5 marka yeni nesil autonom İHA ve tümleşik yer kontrol sistemleri kullanılmıştır. Görüntü çekimi ve kaydı için Sony NEX-5R marka 16.1mp çözünürlüğe sahip dijital fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Söz konusu İHA ile 13 Haziran 2014 tarihinde elde edilen alımlarda her bir uçuşta irtifa yüksekliğine (75-750 m), yanal ve öne doğru görüntü bindirme oranlarına (% 70-90) bağlı olarak görüntü çözünürlüğü 2,4 cm ile 24 cm arasında, görüntü alım alanı ise 1,1 km² ile 38 km² arasında değişiklik göstermektedir (Tablo / Table 2).



Şekil 2. Çalışma alanının genel sınırı
Figure 2. Location of research area

Tablo 2. Uçuş irtifa yükseliğine bağlı olarak alım çözünürlüğü ve görüntü alım alanları
Table 2. Image resolution and area coverages according to height above take-off location

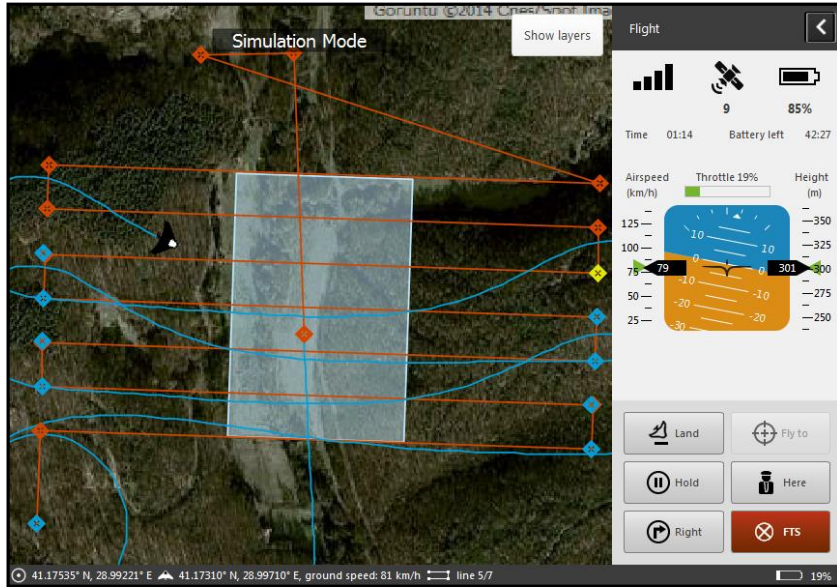
Yükseklik (m)	Mekansal Çözünürlük (cm)	Alım alanları [km ²] (1)			Alım alanları [km ²] (2)		
		% 70	% 80	% 90	% 70	% 80	% 90
75	2,4	1,1	0,8	0,4	6,85	4,5	2,3
100	3,2	1,8	1,2	0,6	10,8	7,2	3,6
150	4,8	3,1	2,1	1,0	18,7	12,5	6,2
200	6,4	4,4	3,0	1,5	26,6	17,8	8,9
250	8	5,8	3,8	1,9	34,6	23,1	11,5
300	9,6	7,1	4,7	2,4	42,5	28,3	14,2
400	12,8	9,7	6,4	3,2	58,0	38,7	19,3
500	16	12,4	8,2	4,1	74,2	49,5	24,7
750	24	19,0	12,7	6,3	113,9	75,9	38,0

Uçuş yapılan alana ait en düşük kot 38 m, en yüksek kot 123 m, fırlatma rampasının konumlandırıldığı alanın kotu ise 49 m olarak belirlenmiştir. Planlama safhasında yapılan uçuş için irtifa yüksekliği zemin kotundan 300 m, ileri doğru bindirme oranı % 90, yanal bindirme oranı % 90 olarak tanımlanmıştır. Bu parametrelere göre alım alanının uzunluğu 283 m, genişliği 185 m olmak üzere toplamda yaklaşık 0,05 km² alanda 9,6 cm çözünürlüğe sahip veri alımı hedeflenmiştir (Şekil / Figure 3).



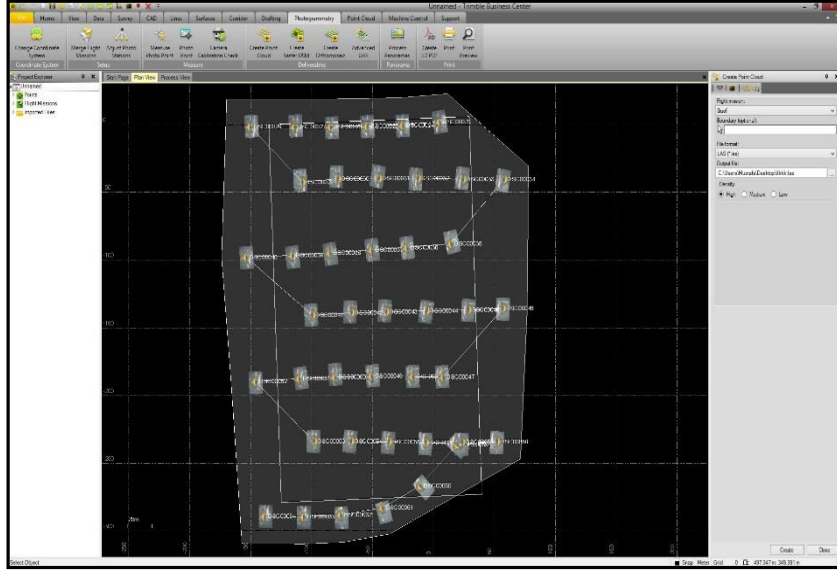
Şekil 3. Uçuş bilgilerinin tanımlanması
Figure 3. Describing flight data

Uçuş simülöründe de görüldüğü üzere uçuş boyunca otonom olarak ortalama iniş ve kalkış hariç ortalama 79 km hızda, toplamda 8 fotoğraf alım hattı üzerinde yapılmıştır (Şekil / Figure 4). Uçuş ve simülasyon işlemleri Trimble Aerial Imaging yazılımı ile tamamlanmıştır.



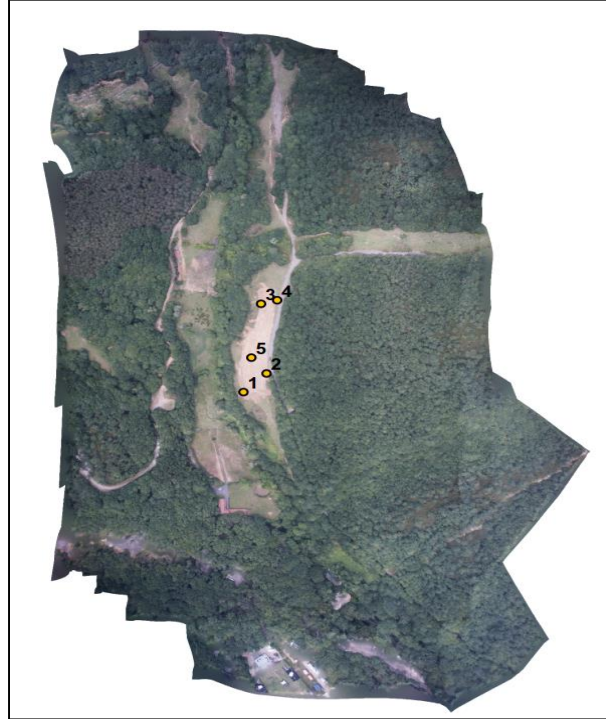
Şekil 4. Uçuş simülörü görünümü
Figure 4. Interface of flight simulator

Uçuş toplamda 9 dakikada tamamlanmıştır. Uçuş parametreleri dahilinde toplamda 42 adet fotoğraf alımı yapılmıştır. Elde edilen veriler Trimble Business Center (TBC) v3.1 fotogrametri yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir (Şekil / Figure 5). Uçuş sonunda elde edilen fotoğraflar uçuş bilgileri ve yer kontrol noktaları kullanılarak TBC ortamında fotogrametrik görüntü bloğu oluşturulmuştur.



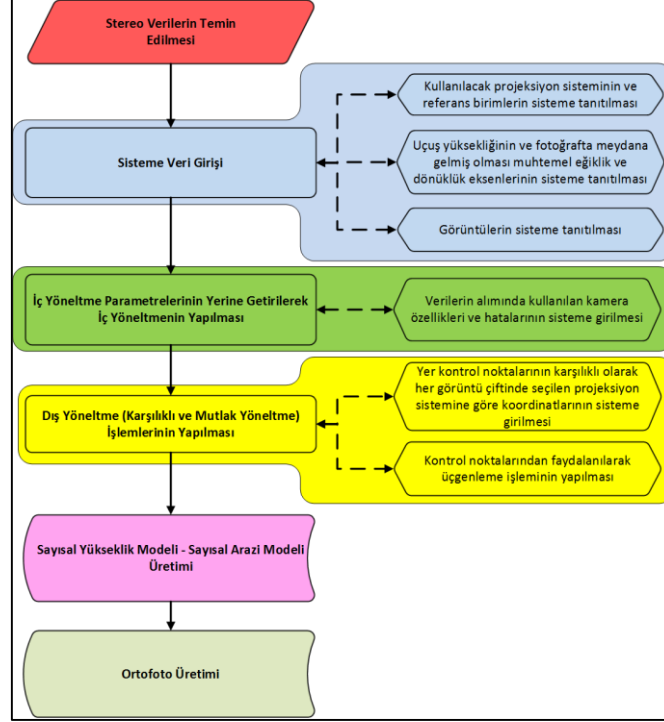
Şekil 5.TBC fotogrametri modülü arayüzü
Figure 5.TBC photogrammetry module interface

Blok dengeleme (üçgenleme) işleminin yapılması aşamasında kullanılan yer kontrol noktaları çalışma alanı içerisine homojen bir şekilde dağıtılmıştır. Bu kapsamda uçuş yüksekliğine bağlı olarak görünebilirliği sağlayabilmek adına 1x1 m büyüklüğe sahip yer kontrol noktaları araziye tesis edilmiştir. Yer kontrol noktalarının koordinatlarının saptanmasında Pentax SMT-888 marka GNSS alıcı sistemi kullanılmıştır (Şekil / Figure 6).



Şekil 6. Yer kontrol noktalarının konumları
Figure 6. GCP locations

İnsansız hava araçları kullanılarak elde edilen veriler, fotogrametrik olarak değerlendirilebilmekte, değerlendirilen veriler üzerinden elde edilecek sayısal yükseklik modelleri, raster veya nokta bulutu şeklinde oluşturularak çalışmaya özgü ihtiyaçlar doğrultusunda kullanılabilirler. Çalışmada kullanılan sayısal yükseklik modeli ve ortofoto üretime ait dijital fotogrametride izlenen ana iş aşamaları aşağıda belirtilmiştir (Şekil / Figure 7).



Şekil 7. Dijital fotogrametride izlenen ana iş aşamaları (Yurtseven, 2008)
Figure 7. Process stages of digital photogrammetry (Yurtseven, 2008)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Blok dengeleme işleminin yapılması aşamasında toplamda 42 adet hava fotoğrafı kullanılmıştır. Uçuş sırasında elde edilen 34 adet fotoğraf alım istasyonunda ortalama fotoğraf alım yüksekliği 336,39 m olarak hesaplanmıştır. Hava fotoğrafı toplam alım alanı 41,7467 hektar, blok dengeleme işleminde kullanılan fotoğraf bağlantı noktası (tie point) sayısı toplamda 3158 adettir (Tablo / Table 3).

Tablo 3. Blok dengeleme işlemi sonuçları
Table 3. Block adjustment result

Kullanılan veriler	Veri değerleri
Toplam fotoğraf sayısı	42
Ortalama uçuş yüksekliği	336,39 m
Orthomozaik yersel çözünürlük	0,0939256 m/piksel
Alım alanı	41,7467 hektar
Kamera istasyonu	34
Fotoğraf bağlantı noktası	3158
Projeksiyon	44090
Hata miktarı	1.2123 piksel

Uzaktan algılama çalışmalarında diğer ülkelerde olduğu gibi algılayıcı sistemlerin, İHAS'leri yardımıyla veri toplama aşamasında daha düşük maliyetlerle, hassas veri elde etme olanağı sağlamaktadır (Wings ve ark., 2014). Ancak, İHA yardımıyla alımı yapılan sahaya ait verilerin geometrik açıdan doğruluğunun değerlendirilmesi gereken temel aşamalardandır. Blok dengeleme işlemi sırasında uçuş öncesinde alınan 5

adet yer kontrol noktası belirlenmiştir. Fotogrametrik çalışmalarda her bir görüntüde en az 3 yer kontrol noktasının bulunması arzu edilmektedir(Linder, 2009). Görüntü alımı gerçekleştirilecek alanın küçük bir bölge olması ve bindirme oranlarının yüksek olması nedeniyle uçuş öncesinde yapılan çalışmalar ile alımı gerçekleştirilecek alan için uygun görülen noktalarda 5 adet yer kontrol noktası araziye tesis edilmiştir. Bu sayede her bir görüntü için minimum üç yer kontrol noktası kuralının sağlanması amaçlanmıştır.

İHA yardımıyla alımı yapılan görüntülerin işlenmesi sonucunda üretilen sayısal verilerin (sayısal yükseklik modeli, orthomozaik haritalar ve nokta bulutu) konumsal doğruluklarını arttırmak amacıyla kullanılmıştır. Üretilen sayısal verilere ait koordinat değerleri ile belirli yer kontrol noktalarından yararlanılarak çalışmada elde edilen konumsal veriye ait doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada elde edilen verilerin 5 farklı yer kontrol noktasından elde edilen değerlerin görüntüler üzerinde koordinatlandırılmalarının yapılması aşamasında yer kontrol noktalarının birbirlerine ve görüntüye göre toplam karesel ortalama hata değeri 3,4 cm olarak belirlenmiştir. Beklenen hata oranından yüksek bir hata değeri belirlenmesine rağmen yine de birçok araştırmada özellikle ormancılık faaliyetlerinde kabul edilebilir bir başarı sağlanmıştır. Uçuş esnasında atmosferik etkilerin (rüzgâr, nem, bulut gibi) alım sırasında doğal etkenlerin en az olduğu zaman diliminde alımın gerçekleştirilmesi tespit edilen hata oranında azalma gerçekleştirmiştir. Tablo / Table 4 yer kontrol noktalarının blok dengeleme içerisindeki kullanımını sonucunda birbirlerine ve fotoğraflara göre konumlandırılması sırasında ortaya çıkan yatayda ve düşeyde (Doğu, Kuzey yönleri ve Yükseklik) farklarını göstermektedir.

Tablo 4. Yer kontrol noktaları
Table 4. Ground Control points

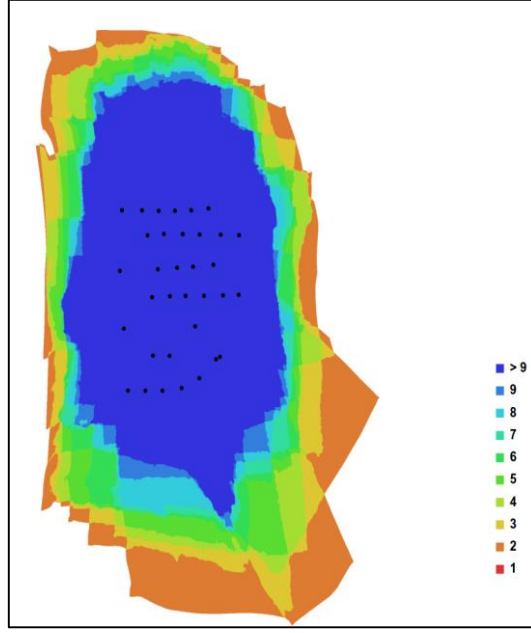
Yer Kontrol Noktası	X hata (m)	Y hata (m)	Z hata (m)	Hata (m)
1	-0,012539	0,010407	0,042636	0,045643
2	0,015573	-0,004301	-0,020872	0,026394
3	-0,012015	0,008965	-0,004473	0,015644
4	0,001533	-0,015141	0,030074	0,033706
5	0,005017	-0,001061	-0,040171	0,040497

OKH (Ortalama Karesel Hatanın) değeri düşey yükselti değeri (Z) için en yüksek iken yatayda Y değeri için en düşük aralıkta hata oranı tespit edilmiştir (Tablo / Table 5). İHAS tarafından kullanımıyla üretilen verilere ait bloklandırma işleminde GNSS RTK (Real Time Kinematic) GPS ile belirlenen Yer Kontrol Noktalarına (YKN) göre hassasiyet 3,5 cm den az bir hata ile tespit edilmiştir. Fotoğraf alımı sırasında kullanılan kamera istasyonlarından elde edilen görüntülerin alım anındaki koordinatları, yer kontrol noktası koordinatları, bindirme oranları, eğiklik ve dönüklük açılarının hesaba katıldığı blok dengeleme sonuçlarına göre, sayısal yükseklik modeli ve orthomozaiklerin oluşturulmasında alan sınırlarına yakın bölgelerde en az bir çift hava fotoğrafı kullanılırken çalışma alanının orta kesimlerinde ise 9'dan fazla hava fotoğrafı kullanılmıştır. Blok dengeleme sonucunda elde edilen reprojeleسیون hata miktarı 1,21 piksel olmuştur (Şekil / Figure 8).

Tablo 5. OKHK (mm)
Table 5. RMSE errors (mm)

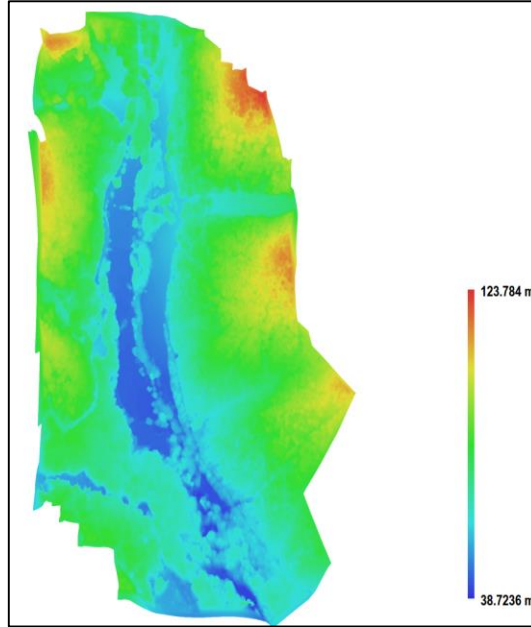
	X hata (mm)	Y hata (mm)	Z hata (mm)	XYZ hata (mm)
OKHK	10,92	9,35	30,95	34,06

Blok dengeleme işlemi yapıldıktan sonra sayısal yükseklik modelinin dayanağını oluşturan nokta bulutu üretilmiştir. Elde edilen nokta bulutundan faydalanılarak çalışma alanına ait 9,6 cm hassasiyette SYM elde edilmiştir(Şekil / Figure 9). Bu değerinde elde edilmesinde tüm alan için toplamda yaklaşık 11830263 nokta verinin elde edilmesiyle ortaya konmuştur. Analiz sonuçlarına göre yüzey modelinin en düşük kotu 38,72 m, en yüksek kotu ise 123,78 metre olarak bulunmuştur. YKN ile yükselti karşılaştırmalarına göre 30,95 mm lik hata ile belirlenmiştir. Sayısal yükseklik modelinin üretiminden sonra ise ortomozaik harita elde edilmiştir (Şekil / Figure10). Elde edilen ortomozaik haritanın yersel çözünürlüğü 0,094 m/pix olarak belirlenmiştir.



Şekil 8. Kamera konumlandırılmaları ve görüntü bindirmeleri
Figure 8. Camrea locations and image overlap

İHA ile alımı yapılan fotoğraflar için gerçekleştirilen geometrik düzeltme işlemlerinin ardından oluşturulan SYM (Sayısal Yüzey Modeli) çözünürlüğü 18,78 mm / piksel olarak oluşturulmuştur. Oldukça yüksek çözünürlükte elde edilen SYM yalnızca ormancılık çalışmalarında değil aynı zamanda yüksek maliyet gerektiren kazı işlerini içeren birçok mühendislik çalışmalarında ihtiyaç duyulan planimetrik bilgiyi de karşılamaktadır.

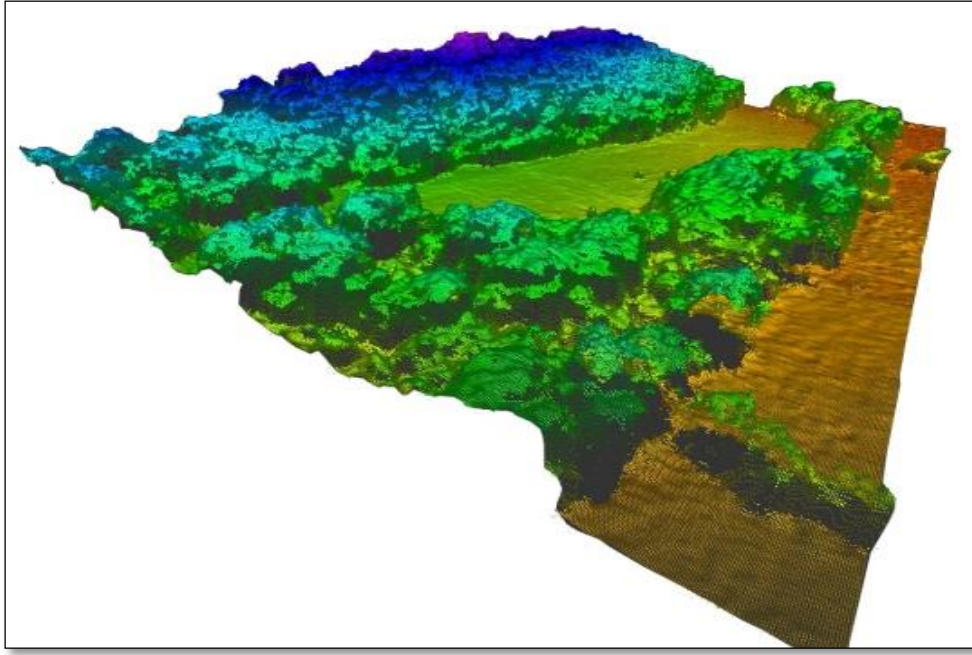


Şekil 9. Sayısal yükseklik modeli
Figure 9. Digital elevation model

Ormancılık çalışmalarında planlama ve yönetim amacıyla hava fotoğrafları yoğun olarak kullanılmaktadır. Günümüz şartlarında İHA kullanımıyla elde edilen fotoğrafların istenilen zamanda ve konumda alımı yapılmaktadır. Aynı zamanda Tablo 2'de belirtilen ölçüm aralıklarından faydalanarak gerekli bindirme oranı ve yükseklik irtifaları kullanılarak istenilen amaca uygun görüntü elde edilmektedir. Fotoğraf bindirme oranlarına göre alım yapılan yaklaşık 300 m yükseklikten beklenen çözünürlükten yani 9,6 cm'den 0,21 mm daha hassas raster veri elde edilmiştir (Tablo /Table 2; Şekil / Figure 10). Ortomozaik harita oluşumunda otomatik eşlemenin ileri ve yan bindirme oranlarının %75 ve üzeri olması kırsal kesimlerde ve özellikle ormanlık alanlarda gerçekleştirilecek çalışmalarda etkili ve başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır. Ölçüm yapılan alanda bulunan doğal ve yapay yüzey elemanlarının daha yoğun bir şekilde belirgin olması, yüksek hassasiyette ve düşük hataya sahip verilerin elde edilmesi bindirme oranı etkisini ortaya çıkartmıştır (Şekil / Figure 11).



Şekil 10. Ortomozaik harita
Figure 10. Orthomosaic map



Şekil 11. Nokta bulutundan elde edilen 3D görünüm
Figure 11. Produced 3D view by point cloud

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Teknik olarak kullanımı oldukça pratik olan İHA bütünleşik bir yapısal sistem olarak İHAS belirli bir süre eğitim ve çalışma gerektirmektedir. Aracın kullanımı yalnızca uçuşu kapsamamaktadır. Bu kapsamda 5 aşamalı çalışma ve kontrol gerektirmektedir.

- 1) Uçuş öncesi hazırlık
- 2) Uçuşa hazırlık ve kontrol
- 3) Güvenlik Denetimi
- 4) Kalkış ve İniş
- 5) İniş sonrası çalışmalar

Uçuş öncesi hazırlıklar çalışma alanına ait verilerin büro ortamında ve arazide tespit edilmesi konularını içermektedir. Uçuşa hazırlık ve kontrol belirlenen alana uygun iniş ve kalkış sahasının ayarlanması, yer kontrol sisteminde alan bilgisi, görüntü bindirme oranı (çalışma amacına göre) belirlenmesi, İHA ve İHAS birimlerinin uçuş için test edilmesi aşamalarını kapsamaktadır. Güvenlik denetimi uçuş yapılacak saha ve olası kazaları önceden engellemek üzere diğer hava araçları rotaları, iniş ve kalkış maniaları dahil çevrede bulunan engellerin (GSM istasyonu, enerji nakil hatları, kuş göç yolları ve yüksek yapılar) değerlendirilmesi aşamalarını içermektedir. Kalkış ve iniş aşamaları ise kalkışın gerçekleştirilmesi için İHA'nın rampaya yerleştirilmesi ve fırlatılması aşamaları ile iniş için önceden belirlenmiş alanın sürekli olarak denetlenerek hem uçağın hemde yakınında bulunan canlıların zarar görmeden hareketsiz olarak sonlandırılması aşamalarını içermektedir. İniş sonrası çalışmalar ise arazide veya büroda İHA yardımıyla elde edilen verilerin araçtan aktarılması ve verilerin işlenmesi aşamalarını içermektedir.

Yapılan örnek çalışma kapsamında Tablo / Table 2'de belirtildiği üzere İHA'lar ile uçuş yüksekliğine bağlı olarak 2,4 cm'den 24 cm çözünürlüğe sahip hassas görüntüler elde edilebilmektedir. Ülkemiz ormanlık alanlarına ait Lidar verileri gibi daha hassas verilerin henüz elde edilememesi sebebiyle İHA'lar ormancılık çalışmaları için yüksek hassasiyette çalışmalarda katkı sağlayacak önemli bir araçtır.

Ülkemiz ormancılığı açısından getireceği avantajlar aşağıda sıralanmıştır.

- Uydu görüntülerinden daha yüksek çözünürlüklere sahip olması nedeniyle fotogrametrik anlamda veri işleme konusunda önemli bir veri kaynağıdır.
- Uygun hava şartları ve hava trafiğine bağlı olarak anlık ve hızlı veri teminine imkan sağlaması açısından doğal afetler (sel, heyelan, devrik tespiti, çığ, orman yangını vb) sonrası envanter ve hasar tespit çalışmaları konusunda ormancılık açısından fayda sağlayacağı düşünülmektedir.
- Özellikle mini İHA'lar Lidar ve uydu görüntülerine nazaran düşük maliyetli, daha hızlı veri temini sağlaması ve kullanımı kolay olması açısından ormancılık açısından önemli bir veri toplama kaynağıdır.
- Literatür çalışmasında da sıralandığı üzere, genel ağaç morfolojik özelliklerinin (tepe çapı, ağaç boyu vb) belirlenmesinde önem arz etmektedir.
- Literatür çalışmalarında görülen İHA tabanlı diğer araştırma konularından orman yollarında deformasyon miktarının belirlenmesinde, amenajman planları için kızılötesi fotoğraf altlıklarının oluşturulmasında, küçük ve büyük ölçekli havza planlama ve envanter çalışmalarında, açık alanlarda plankote verilerinin elde edilmesinde kullanılmasıyla ülkemiz ormancılığı için önemli bir veri kaynağı ve yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

İHA'lar ormancılık çalışmaları için mevcut dezavantajlar ise, İHA uçuşları konusunda eğitimli personel eksikliği ile inişte uçak bütünlüğünün korunması başlıca dezavantajları olarak sayılabilir. Bu kapsamda Ülkemiz topoğrafyasının çoğu alanda oldukça değişiklik göstermesi nedeniyle farklı çalışma alanları ve amaçları doğrultusunda farklı İHA sistemlerinin kullanılması uygun olacaktır. Farklı amaçlar doğrultusunda farklı algılayıcı sistemler ile donatılacak çok pervaneli veya sabit kanatlı sistemler kullanılarak çalışma ihtiyaçları karşılanabilmektedir.

Bu çalışmada İHA ve sistemlerinin bütün aşamaları değerlendirilmiş ve test edilmiştir. Ormancılık çalışmalarında ihtiyaç duyulan CBS verilerinin elde edilmesinde İHAS olanakları kullanımı oldukça başarılı olarak değerlendirilmiştir. SYM verilerinin hassasiyeti bakımından detaylı olarak değerlendirilen alımların LIDAR ve IFSAR verilerinin sahip olduğu hassasiyete nispeten sahip olmadığı ancak maliyet bakımından kıyaslandığında oldukça verimli alternatif fotogrametrik bir araç olduğu ortaya konmuştur. Öneri!

Yüksek çözünürlüğe sahip SYM üzerinden tepe tacı tayini gibi orman envanteri açısından oldukça büyük bir öneme sahip bir parametrenin tayini ibreli türler için çok yüksek bir doğrulukta gerçekleştirilebilmektedir (Pyysalo ve Hyyppa, 2002; Holmgren ve Persson, 2004; Sheng ve ark., 2001). Bu kapsamda ülkemiz ormanlarında yer alan ağaç türleri için oluşturulacak modeller ile envanter çalışmaları için farklı yaklaşımların getirilmesi sözkonusu olabilecektir.

Ormancılık amaçları doğrultusunda İHA sistemlerinin birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Bu kapsamda İHA sistemlerine entegre edilecek LIDAR, multispektral ve hiperspektral algılama sistemleri ile orman envanterine yönelik gerek ağaç bireyi bazında gerekse meşçere bazında birçok verinin elde edilmesi söz konusu olabilecektir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Söz konusu çalışma İ.Ü. Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi Koordinatörlüğü tarafından ÖNAP-38424 no'lu proje kapsamında desteklenmektedir.

KAYNAKLAR (KAYNAKLAR)

Ambrosia, V.G., Wegener, S.S., Sullivan, D.V., Buechel, S.W., Dunagan, S.E., Brass, J.A., Stoneburner, J., Schoenung, S.M., 2003. Demonstrating UAV-acquire dreal-time thermal data overfires. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing* 69(4): 391-402.

Anonim, 2010. Unmanned aircraft systems: Terminology, definitions and classification, Joint doctrine note3/10, United Kingdom Ministry of Defence, May 2010, 21pp, United Kingdom.

Berni, J., Zarco-Tejada, P.J., Suárez, L., Fereres, E., 2009. Thermal and narrow band multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(3): 722-738.

Ccrs, 2013, *Fundamentals of Remote Sensing Tutorial* [Online], <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/9309>, [Ziyaret tarihi: 12.12 2013].

Chao, H., Chen, Y.Q., 2012, *Remote Sensing and Actuation Using Unmanned Vehicles*, Wiley, ISBN: 9781118377185.

Chiabrando, F., Nex, F., Piatti, D., Rinaudo, F., 2011. UAV and RPV systems for photogrammetric surveys in archaeological areas: two tests in the Piedmont region (Italy). *Journal of Archaeological Science* 38 : 697-710.

Chang-Chun, L., Guang-sheng, Z., Tian-jie, L., A-du, G., 2011. Quickimage-processing method of UAV without control points data in earthquake disaster area. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 21: 523-528.

Coifman, B., McCord, M., Mishalani, R. G., Redmill, K. 2004. Surface transportation surveillance from unmanned aerial vehicles. In Proc. Of the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board.

Everaerts, J., 2008. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, July 3-11 2008, Beijing, China, 1187-1192.

Haser, A.B., 2010. Bu insansız hava aracından daha önce yapmamış mıydık?, *Bilim ve Teknik Dergisi*, Aralık sayısı.

Holmgren, J., Persson, Å., 2004. Identifying species of individual trees using airborne laser scanner, *Remote Sensing of Environment* 90 (4): 415-423.

Horcher, A., Visser, R.J., 2004. Unmanned aerial vehicles: applications for natural resource management and monitoring. Council on Forest Engineering Proceedings 2004: Machines and People, The Interface.

Hunt, E.R., Cavigelli, M., Daugherty, C.S.T., McMurtrey III, J., Walthall, C.L., 2005. Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture* 6: 359-378.

Laliberte, A.S., Rango, A., 2009. Texture and scale in object-based analysis of sub-decimeter resolution unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 47(3):761-770

Laliberte, A.S., Herrick, J.E., Rango, A., Winters, C., 2010. Acquisition, ortho rectification, and object-based classification of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for rangeland monitoring. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing* 76(6): 661-672.

Lisein, J., Pierrot-Deseilligny, M., Bonnet, S., Lejeune, P., 2013. A Photogrammetric workflow for the creation of a forest canopy height model from small unmanned aerial system imagery. *Forests* 4(4): 922-944.

Linder, W., 2009, *Digital Photogrammetry: A Practical Course*, Springer Berlin Heidelberg, ISBN: 9783540927259.

Malet, J.P., Bogaard, T.A., 2012. Integration of technologies for landslide monitoring and quantitative hazard assessment. *Engineering Geology* 128: 1.

Marshall, D. M., Barnhart, R. K., Hottman, S. B., Shappee, E. and Most, M. T., 2011, *Introduction to Unmanned Aircraft Systems*, Taylor & Francis, ISBN: 9781439835203.

Mozas-Calvache, A.T., Pérez-García, J.L., Cardenal-Escarcena, F.J., Mata-Castro E., Delgado-García J., 2012. Method for photogrammetric surveying of archaeological sites with light aerial Platforms. *Journal of Archaeological Science* 39: 521-530.

Niethammer, U., James, M.R., Rothmund, S., Travelletti, J., Joswig, M., 2012. UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. *Engineering Geology* 128: 2-11.

- Ollero, A., Martinez-de-Dios, J.R., Merino, L., 2006. Unmanned aerial vehicles as tools for forest-fire fighting. *Forest Ecology and Management* 234: S263.
- Okuyama, S., Torii, T., Nawa, Y., Kinoshita, I., Suzuki, A., Shibuya, M., Miyazaki, N., 2011. Development of a remote radiation monitoring system using unmanned helicopter. *International Congress Series* 1276 (2005): 422–423.
- Pierzchała, M., Talbot, B., Astrup, R., 2014. Estimating soil displacement from timber extraction trails in steep terrain: application of an unmanned aircraft for 3D modelling. *Forests* 5(6): 1212-1223.
- Przybilla, H., Wester-Ebbinghaus, W., 1979. Bildflugmitferngelenktem Kleinflugzeug, *Bildmessung und Luftbildwesen* 47(5): 137-142.
- Pyysalo, U. and Hyypä, H., 2002. Reconstructing tree crowns from laser scanner data for feature extraction, *International Archives Of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34 (3/B): 218-221.
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., Sarazzi, D., 2011. UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling—current status and future perspectives, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 38 (1): C22.
- Rango, A., Laliberte, A., Herrick, J.E., Winters, C., Havstad, K., Steele, C., Browning, D., 2009. Unmanned aerial vehicle based remote sensing for rangeland assessment, monitoring, and management. *Journal of Applied Remote Sensing* 3(1): 033542-033542.
- Saripalli, S., Montgomery, J.F., Sukhatme, G.S., 2003. Visually guided landing of an unmanned aerial vehicle. *IEEE Transactions on Robotics and Automation* 19(3): 371-380.
- Sheng, Y., Gong, P., Biging, G., 2001. Model-based conifer-crown surface reconstruction from high-resolution aerial images, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 67(8): 957-966.
- Xiang, H., Tian, L., 2011. Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV). *Biosystems Engineering* 108: 174-190.
- Xiaofeng, L., Zhongren, P., Liye, Z., Li, L., 2012. Unmanned Aerial Vehicle Route Planning for Traffic Information Collection. *Journal of Transportation System Engineering & IT* 12(1): 91-97.
- Yılmaz, V., Akar, A., Akar, Ö., Güngör, O., Karlı, F., Gökalp, E., 2013. İnsansız Hava Aracı İle Üretilen Ortofoto Haritalarda Doğruluk Analizi, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu, KTÜ, Trabzon.
- Yurtseven, H., 2008. *Yazılım Fotogrametrisi İle Orman Alanlarına Yönelik Coğrafi Verilerin Elde Edilmesi*, MSc, Master Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, Istanbul University.
- Zarco-Tejada P.J., Diaz-Varela R., Angileria C., Loudjanian V.P., 2014. Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. *European Journal of Agronomy* 55: 89-99.
- Zhang, C., Elaksher, A., 2012. An Unmanned Aerial Vehicle-Based Imaging System for 3D Measurement of Unpaved Road Surface Distresses. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 27(2): 118-129.
- Wing, M. G., Burnett, S., Johnson, S., Akay, A. E., Sessions, J., 2014. A Low-cost unmanned aerial system for remote sensing of forested landscapes. *International Journal of Remote Sensing Applications* 4(3): 113-120.