

Geleneksel Fotogrametri ile İnsansız Hava Aracı (İHA) Verilerinin Kullanılan Kamera ve Sonuç Ürünleri Bakımından Karşılaştırılması

Ayca Murat Marangoz^{1,*}, Serkan Karakiş¹, Ahmet Burak Numan²

¹Dr. Öğr. Üyesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak.
²Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 67100, Zonguldak.

Özet

Haritacılık faaliyetlerinde geleneksel fotogrametri yöntemi ile veri elde etme, yüksek maliyet ve zaman anlamında önemli sorunlar teşkil etmektedir. Ön yargısal olarak, İnsansız Hava Aracı (İHA) ile yapılan fotogrametrik çalışmalara doğruluk anlamında güven duyulmamaktadır. Bu çalışmada, geleneksel fotogrametri ile İHA'lerden üretilen sonuç ürünlerin karşılaştırılması ve İHA'ların maliyet, zaman ve doğruluk açısından geleneksel fotogrametriye karşı avantajlarının ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Mardin İli Derik ilçesinde, taşıyıcı platform olarak ultralight ve İHA ile ayrı ayrı uçuşlar yapılarak, birbirine yakın bindirme oranlarında ve Yer Örnekleme Aralığı (YÖA) değerlerinde görüntüler alınmıştır. Gerçekleştirilen uçuşların birbirlerine çok yakın tarihlerde, aynı arazi koşullarında ve aynı bölgede olması, çalışmanın literatüre göre özgünlüğünü ortaya koymaktadır. Bu uçuşlar sonucunda, geleneksel fotogrametri ile alınan görüntülere ait sonuç ürünleri referans kabul edilerek, İHA ile alınan görüntülerden elde edilen sonuç ürünlerinin doğruluğu karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, geleneksel fotogrametri ile İHA'ya ait sonuç ürünlerin doğruluklarının yakın çıktığı görülmüştür. Geleneksel fotogrametri ile İHA'lar maliyet ve zaman açısından karşılaştırıldığında, İHA operasyonlarının daha az maliyetli ve kısa sürede yapıldığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca ülkemiz sınır ihlal kuralları çerçevesinde geleneksel fotogrametrinin kullanılamayacağı yerler mevcuttur. Bu durum İHA'nın önemli bir avantajını ortaya çıkarmaktadır. Bunun yanında, İHA'ların da bir takım dezavantajları bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi, boyut olarak büyük araziler ve yükseklik farkının çok fazla olduğu alanlarda İHA'ların görev yapmasının zorlaşmasıdır. Bu gibi durumlarda geleneksel fotogrametri tekniğini kullanmak daha uygun olacaktır. İki platform da göz önüne alındığında özellikle sonuçları etkileyecek olan kamera bileşeni de değerlendirmenin ana aşamasını oluşturmaktadır. Çalışma içerisinde kameralara ait özellikler ve çalışmaya etkileri detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler

Fotogrametri, İHA, Taşıyıcı platform, Metrik kamera, Metrik olmayan kamera, Doğruluk, Performans

1. Giriş

Günümüzde, fotogrametri haritacılık alanında oldukça önemli bir yere sahiptir. Fotogrametrik harita üretiminde farklı platformlar kullanılarak görüntü alımı gerçekleştirilmektedir. Gelişen teknoloji havadan görüntü alımında yeni alternatifler ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda, İHA teknolojisi yeni bir görüntü alım platformu olarak karşımıza çıkmaktadır. İsminden de anlaşılacağı üzere bu teknolojiye görüntü alım platformu üzerinde herhangi bir pilot oturmamakla birlikte, platformun kontrolü uzaktan gerçekleştirilmektedir. İHA'nın platform olarak kullanıldığı fotogrametrik çalışmaların, büyük ölçekli harita ve harita bilgisi üretim yönetmeliğine uygunluğu ve uçak platformuna göre avantaj ve dezavantajları sonuç kısmında sunulacaktır.

2. İlgili Çalışmalar

Selçuk, (2008) çalışmasında belirledikleri alana ait fotogrametri de kullanılan yakın tarihli analog kamera ve sayısal kamera ile çekimleri yapılan fotoğraf görüntüleri üzerinden bu kameraların geometrik potansiyelleri üzerinde çalışmıştır. Görüntüler üzerinde yer kontrol noktası tesis işlenmiştir, dengeleme işlemleri fotogrametri değerlendirme yazılımı Inpho Match-AT ile gerçekleştirilmiştir. Farklı kamera özellikleri ve yer kontrol noktaları ile yapılan testler sonucunda hem dijital kamera hem de analog kamera ile elde edilen ürünün yönetmeliklere uygun olarak elde edildiği lakin bütün kombinasyonlar da sayısal(dijital) kamerada daha hassas veriler üretilebildiği sonucuna varılmıştır.

Kaya (2010), çalışmasında fotogrametri de kullanılan kameraları sonuç ürünleri bakımından karşılaştırmıştır. Analog hava kameraları ile metrik olmayan hava kameralarından alınan bindirmeli görüntüler ile yer kontrol noktaları işlenerek elde edilen SYM ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra stereo model üzerinden arazi okumaları yapılarak karşılaştırmalara devam edilmiştir. Sonuçlar değerlendirilerek dijital hava kameralarından elde edilen görüntülerden SYM üretilebileceği ancak büyük alanlarda eş yükseklik eğrisi üretilebilmesi için eğimin %10 dan az olması gerektiği tespit edilmiştir.

Stam (2010), çalışmalarının amacı İHA ile yapılan fotogrametrik çalışmaların maliyet olarak daha az seviyelere indirmektir. İnsansız hava aracı üzerindeki GNSS/IMU sistemi referans kabul edilerek yer kontrol noktası kullanmadan doğru sonuçlar elde etmeyi amaçlamıştır. Üç farklı test alanı seçerek bu alanlarda İHA ile uçuşlar yapmıştır. Birinci test alanın da gerçekleştirilen uçuşta yeterli GPS sinyal hataları ile ilgili veri elde edemediği için, ikinci test alanında

gerçekleşen uçuşta İHA içerisindeki Inertial Measurement Units (IMU) sistemi üzerinde hatalar belirlenemediği ve üçüncü test alanında yapılan çalışmada alınan GPS sinyalleri ile elde edilen doğruluğun yeterli olmadığı görülmüştür. GNSS/IMU sistemi üzerindeki hatalardan kaynaklı oluşan yöneltme elemanları ile sağlıklı sonuç ürünleri üretilmediği görülmüştür.

Remondino (2011), çalışmalarını 2011 yılında gerçekleştirmiştir. O dönemlerde uzaktan algılama, fotogrametri ve İHA ile yapılan haritacılık faaliyetlerini inceleyerek gelecekte gerçekleştirilecek yeni perspektiflere bakarak araştırmalar yapmıştır. Mevcut sistemler ile yapılan fotogrametrik çalışmalardan ziyade İHA ile yapılan fotogrametrik çalışmaları daha avantajlı bulmuştur. Yaptığı araştırmaların sonucunda daha yüksek çözünürlüklü görüntülere, daha az maliyetli bir şekilde ve daha hızlı ulaşılabilirliği ve elde edilen bu görüntülerin çeşitli programlarda işlenmesi sonucu kısa sürede sonuç ürünlerin elde edilmesi ve daha birçok avantajının olduğuna değinmiştir. İnsansız hava araçlarının meskun alanlarda kullanılabilirliğini artırmak için yönetmeliklerin bu sistemlere göre yenilenmesi ve yeni sistemlere uygun teknik şartnameler oluşturulması gerektiği görüşünü savunmuştur.

Karakış (2012), kendi imkanlarıyla ve tecrübesiyle geliştirdiği İHA'ya entegre ettiği 12 MP kamera ile uygun yükseklikten çekmiş olduğu görüntüler ile sayısal halihazır harita yapılabilirliği üzerinde çalışma yapmıştır. Fotogrametrik uçuş koşullarını sağlaması için gerekli bindirme oranlarında resim çekebilmesi gerekmektedir. Bindirme oranları için elektronik zamanlayıcı kullanmıştır. Birinci gün gerçekleştirilen uçuşlarda kamera ayarları ile ilgili sorunları gidermiştir. İkinci gün gerçekleştirdiği uçuşlardan elde ettiği görüntüleri fotogrametri yazılımında yer kontrol noktaları işlenerek ortofoto ve SYM üretilmiştir. 1997 yılında üretilmiş olan sayısal haritalar ve 2010 yılında çekilmiş görüntülerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak büyük ölçekli harita yapımında insansız hava araçlarının kullanılabilirliği konusunda başarılı sonuçlar alınmıştır.

Niethammer vd. (2012), çalışmalarında İHA platformu ile metrik olmayan kameralar kullanarak yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmiştir. Elde etmiş olduğu görüntüler ile ortofoto ve SAM'ı oluşturarak heyelan bölgelerinde toprak kaymalarını tespit etmek amacıyla çalışmalar yapmıştır. Alana ait Mayıs 2007 ve Ekim 2008 tarihlerine ait SYM arasında 7 metre ile 55 metre arasında değişimler gözlemlenmiştir. Sonuç olarak uzaktan algılama yaklaşımıyla ve fotogrametrik değerlendirmeler ile elde edilen veriler heyelan bölgelerinde kullanılabileceğini göstermiştir.

Acar ve Karslı (2013), araştırmasında metrik kameralar ile elde edilen sayısal görüntüler ile dijital hava kameralarından elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntüleri karşılaştırmıştır. Yapılan çalışmalarda dijital hava kameraları ile elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntülerin belirtilen algoritma ile yorumlanması ile üretilen verilerin, sayısal hava kameraları ile elde edilen fotoğraf çiftlerinde eş değer nokta çıkarımında daha başarılı sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Toprak (2014), insansız hava araçlarının farklı mühendislik alanlarındaki uygulamaları üzerinde çalışmalar yapmıştır. Beş farklı uygulamada yapılan çalışmalar sonucunda İHA'nın kullanılabilirliği ve sonuç ürünleri açısından değerlendirilebilirliği karşılaştırılmıştır. Birinci uygulamada mühendislik projelerinde kullanılmak üzere hali hazır haritaların yapımında doğruluk analizleri irdelenmiştir. İkinci uygulamada bir alanın hacim hesabı yapılarak doğruluk analizi yapılmıştır. Üçüncü ve dördüncü uygulamalarda arkeolojik çalışmalar ve kültürel mirasın belgelenmesi açısından doğruluk analizleri yapılmıştır. Beşinci uygulamada ise İHA'dan elde edilmiş görüntülerden fotogrametrik değerlendirme programları yardımı ile üretilen ortofotonun doğruluk analizi yapılmıştır. Bu uygulamalar sonucunda İHA'nın BÖHHBÜY'de belirtilen hassasiyet ve doğrulukta veriler üretilmiştir.

Erdoğan (2015), Konya ilinde yapılan bu çalışmada aynı platform ile farklı yüksekliklerde yapılan uçuşların, jeodezik ölçümler ile karşılaştırarak karayolu projelerinde insansız hava aracı kullanılabilirliği gözlemlenmiştir. %70-%80 enine ve boyuna bindirmeler ile 50 m ve 80 m yükseklikten uçuşlar yapılmıştır. Uçuşlar 12 MP kamerası bulunan DJI Phantom 3 ile gerçekleştirilmiştir. Uçuş alanında 36 adet kontrol noktası ölçülmüştür. 5 tanesi yer kontrol noktası olarak kullanılacaktır. Yer kontrol noktaları Cors-Rtk yöntemi ile ölçülmüştür. Uçuşlardan elde edilen görüntüler farklı iki fotogrametri yazılımı olan Agisoft Photoscan ve Pix4D yazılımları kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda nokta bulutu, ortofoto ve SYM oluşturulmuştur. Her iki yazılımın değerlemesi sonucunda 2.56 cm YÖA sonucu alınmıştır. Kontrol noktaları x,y,z olarak nokta bulutundan alınan noktalar ile karşılaştırılmıştır. Ortofoto görüntüler üzerinden 3B sayısal haritaların üretimi gerçekleştirilerek, 1/1000 ölçeğinde hazırlanmış fotogrametrik haritalar ile kıyaslaması yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda %99 oranında uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda insansız hava araçları ile yapılan haritaların, yersel yöntemle yapılan haritalara göre daha az maliyetli olduğu ve daha kolaylık sağladığı ortaya çıkmıştır. Uçuş yüksekliğine ve yer kontrol noktası hassasiyetine bağlı olarak yeterli hassasiyette haritalar üretilebileceğini bu uygulama görmüş bulunmaktayız.

Karkın vd (2015), çalışmasını 48 hektarlık bir alanda İHA ile gerçekleştirmiştir. Amacı İHA'nın yatay da ve düşeyde doğruluk analizidir. 100 metre yükseklikten, %70-%25 enine ve boyuna bindirme oranlarında 720 adet görüntü elde etmiştir. Fotogrametrik değerlendirme programı kullanılarak 5 adet yer kontrol noktası ile dengelenmiştir. Değerleme sonucunda üretilen SAM ile yapılan analizler sonucunda yatay doğruluk 6.6 cm, düşey doğruluk 8.5 cm olarak hesaplanmıştır. Alınan sonuçlardaki doğruluk değerlerine İHA'nın mühendislik faaliyetlerinde kullanılabileceği görülmüştür.

Ayyıldız vd. (2015), çalışmada iki farklı platformun sonuç ürünlerini karşılaştırmıştır. Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü Oran yerleşkesi üzerindeki 40 hektarlık alanda gerçekleştirilmiştir. İnsansız hava aracı ve uçak platformları

ve farklı iki kameralar karşılaştırılmıştır. İnsansız hava aracı olarak SmartOne-C marka platform ile, 140 metre yükseklikten %80-%60 enine boyuna bindirme oranı ile 347 adet fotoğraf elde edilmiştir. 42 adet kontrol noktası kullanılmıştır. Aynı alan içerisinde uçak platformu ile 650 metre yükseklikten %60-%40 enine ve boyuna bindirme ile görüntüler elde edilerek, 19 adet yer kontrol noktası kullanılmıştır. Aynı alan içerisinde yersel yöntemler ile ölçülmüş noktalar ile kontrol yapılmıştır. Hava araçlarından alınan veriler fotogrametrik değerlendirilerek ortofoto, SYM ve sapma değerleri üretilmiştir. İnsansız hava aracı üretilmiş olan ortofotodan alınan değerler ile jeodezik olarak ölçülmüş değerlerin farklarının karesel ortalama hatası yatayda ortalama 0.034 m olarak bulunmuştur. Aynı şekilde uçuk platformundan elde edilen ortofoto üzerinden alınan değerlerin jeodezik olarak ölçülmüş değerlerden alınan farkları da yatayda ortalama 0.114 m olarak bulunmuştur. Yapılan bu karşılaştırma çalışmada insansız hava araçlarında kullanılan kameralarda dar açılı kameralar kullanıldığından mercekten kaynaklanan distorsiyon hatalarının en aza indirildiği gözlemlenmiştir. Alınan bu sonuçlardan çıkarılan sonuç ile küçük alanlarda üretilecek haritaların insansız hava araçları ile gerçekleştirilebileceği kanaatine varılmıştır.

Gençerk (2016), İnsansız hava aracı ile yapılan fotogrametrik çalışmalar sonucu elde edilen fotoğraflar ile yapılan değerlendirme sonucunda, kazı-dolgu ve kübaj hesaplarında, arazi ve saha çalışmalarının izlenmesinde ve doğruluğunun mühendislik projelerinde kullanılabileceği araştırılmıştır. Değerleme sonucunda üretilen ortofoto, Sayısal Yüzey Modeli (SYM), SAM 5 cm çözünürlüğündedir. Sonuç ürünleri üzerinde kübaj hesabı çıkarımı, en kesit-boy kesit alımı ve analizi ile maliyet, zaman ve doğruluk açısından değerlendirilerek mühendislik projelerinde kullanılabileceğini göstermiştir.

Kılınçoğlu (2016), yüksek lisans çalışmasında farklı insansız hava araçlarının fotogrametride kullanılabileceği ve karşılaştırmalarını yapmıştır. Sabit Kanatlı (Puma-AV) ve döner kanatlı (DJI) insansız hava araçlarını çalışmalarında kullanmıştır. Elde ettiği verileri fotogrametri de kullanılan değerlendirme yazılımlarından Pix4D programında değerlemiştir. Platform olarak birbirinden farklı olarak kullanılan kamera ve insansız hava araçları sonuçları Yer Kontrol Noktası kullanılarak ve kullanılmadan değerlendirilmiştir. Değerlendirmenin amacı tarımsal faaliyetlerde kullanılabileceğini araştırmaktır. Değerlendirme sonucunda ortofoto ve SYM üretilmiştir. Daha sonra veriler üzerinde yer kontrol noktalarının etkisi ve doğruluk analizleri yapılmıştır. Çalışma içerisinde sabit kanatlı ve döner kanatlı insansız hava araçlarının karşılaştırılması yapılarak avantajları ve dezavantajları ortaya çıkarılmıştır.

Tercan (2018), İHA ile Antalya ilinde bir karayolu üzerinde yaptığı çalışmada, 140 metre yükseklikten %85-%65 enine – boyuna bindirme ile uçuş gerçekleştirmiştir. Yapılan uçuş sonrası SYM ve ortofoto üretmeyi amaçlamıştır. Cors-RTK yöntemi ile 7 adet yer kontrol noktası tesis edilmiştir. Uçuş sonrası elde etmiş olduğu nokta bulutunu sınıflandırarak zeminde bulunan nokta verilerini elde etmiştir. Karayolu üzerinde yapılan jeodezik çalışmalar sonucunda yapılan yersel ölçümler ile karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda mekânsal alanlarda 4.9 cm, toprak zeminde 7.32 cm ve sert zeminde 3.96 cm yatay doğruluk elde edilmiştir. Ortofoto, SYM ve SAM üretimi, düz arazi yapılarında ve bitki örtüsünün yoğun olmadığı yerlerde kullanılabileceği belirtilmiştir.

3. Uygulama

Çalışmamızın uygulama aşamasında İHA ve uçak platformunun, uçuş planlamasından sonuç ürün elde edilene kadar olan bütün işlem adımları anlatılacaktır.

3.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada, Mas Havacılık Çözümleri A.Ş.' nin Mardin ili Derik ilçesinde gerçekleştirdiği fotogrametrik uçuşlardan yararlanılmıştır. Bölgenin seçiminde arazi topografyasındaki yükseklik farkları, meskun alanların fazlalığı, yeşil-ağaçlık alanlar ve hidrografik unsurların fazla olması dikkat çekmektedir (Şekil 1).



Şekil 1 : Uçuş Bölgesi

İnsansız hava aracının ve uçak platformunun uçuş alanları ortak olması çalışmada doğru analizlerin yapılmasını sağlamıştır. İHA 545 hektar, uçak ise 3245 hektar alanda uçuş yapmıştır (Şekil 2). Karşılaştırma yapılacak

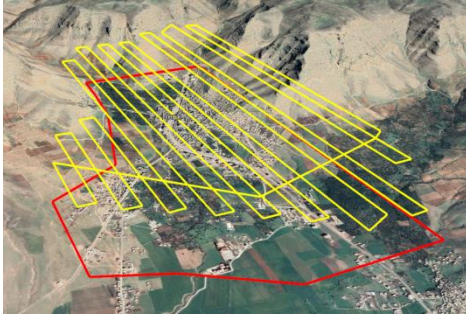
alan 545 hektardır. İnsansız hava aracı ile 23 Kasım 2017 tarihinde, uçak ile 30 Ocak 2018 tarihinde görüntü alımları yapılmıştır.



Şekil 2 : Uçuş Alanları

3.2. Uçuş Planlaması ve Görüntü Alımı

Hava araçlarına istenilen görüntü çözünürlüğünde ve bindirme oranlarına göre uçuş yapılacak alan ofis ortamında arazi topografyasına bakılarak plan yapılır. Uçak 3245 hektar alanı 9.5 cm YÖA' da, 11 kolon ile, İHA 545 hektar alanı 5.5 cm YÖA'da 19 kolon ile tamamlamıştır (Şekil 3). İHA uçuş bölgesinden havalanarak görevini yapmıştır. Uçak ise Mardin havaalanından kalkarak görevinin tamamlamıştır (Şekil 4).



Şekil 3: İHA Uçuş Planı



Şekil 4 : Uçak Uçuş Planı

Bu çalışma için uçuşların özellikleri Çizelge 1'de Verilmiştir.

HAVA ARACI	UÇUŞ TARİHİ	UÇUŞ SAATİ	UÇUŞ YÜKSEKLİĞİ	YER ÖRNEKLEME ARALIĞI	UÇUŞ ALANI	KOLON SAYISI	FOTOĞRAF SAYISI
Uçak	30 Ocak 2018	11:45	950	9.5 cm	3245 ha	11	332
İHA	23 Kasım 2017	10:15	300	5.5 cm	545 ha	19	1291

İHA'dan ve uçaktan alınan görüntü örnekleri Şekil 5 ve Şekil 6' da, sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 5: İHA'ya ait 24 MP Görüntü



Şekil 6: Uçaktan alınan 80 MP Görüntü

3.3. YKN' lerin Belirlenmesi

Yapılacak olan uçuşlardan önce ortofoto görüntünün ve Üç Boyutlu (3B) modelin koordinatlandırılması amacı ile uçuş alanlarına homojen bir şekilde yer kontrol noktaları tesis edilmelidir. Bu noktaların dağılımı uçuş planına bağlı olarak oluşturulan blok plana göre ofis ortamında belirlenir. Belirlenirken uçuş yüksekliği, YÖA değeridolayısıyla haritanın ölçeği göz önünde bulunularak yer işaretleri seçilmelidir. Uçuşun özelliklerine göre yer kontrol noktasının şekilleri değişim gösterebilmektedir (Şekil 7). Dengeleme yapılırken görüntü üzerinde gözükcek şekilde ve orta noktaları belirli olacak şekilde nokta tesisleri yapılır (Şekil 8 ve Şekil 9).



Şekil 7: Yer kontrol noktası örnekleri



Şekil 8: İHA'dan alınan görüntü üzerinde Yer Kontrol Noktası

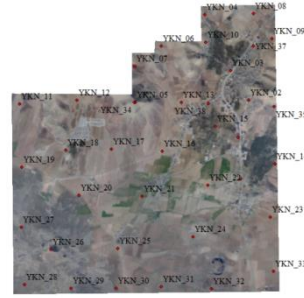


Şekil 9: Uçaktan alınan görüntü üzerinde Yer Kontrol Noktası

Çalışmada İHA ve uçağın yapacak olduğu uçuşlara ayrı ayrı yer kontrol noktaları tesis edilmiştir. İnsansız Hava Aracına 7 adet nokta işaretlemesi yapılmıştır (Şekil 10). Yer Kontrol Noktaları. Uçak ile yapılacak olan uçuş için 38 adet yer kontrol noktası tesis edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 10: İHA'uçuşu için tesis edilmiş YKN

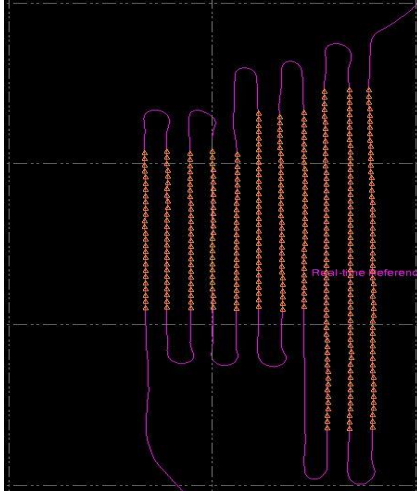


Şekil 11: Uçak için tesis edilmiş YKN

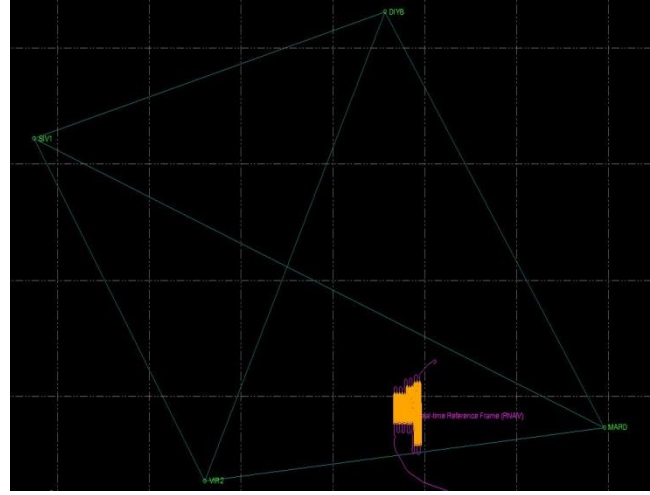
Homojen olarak dağıtılmış bu noktalar Cors sistemi ile bir saat arayla iki kez ölçümler yapılarak, yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak koordinatları oluşturulmuştur. Uçuş zamanları farklı olduğu için her uçuşa ait ayrı ayrı nokta tesisi ve ölçümü yapılmıştır.

3.4. Resim Koordinatlarının Oluşturulması

Hava araçları üzerindeki kullanılan GNSS/INS sistemleri kendi yazılımları kullanılarak dengeleme yapılmaktadır. Uçağın içerisinde bulunan Applanix GNSS/INS alıcısı kendi yazılımı olan POSpac MMS ile çözümlenmektedir. Uçaktan alınan ham GNSS/INS dosyaları program içerisine import edilerek işleme başlanmaktadır (Şekil 12). Daha sonra bölgedeki TUSAGA-AKTİF sistemden “Diyarbakır, Mardin, Siverek, Viranşehir” isyasyonlarının o güne ait RİNEX verileri indirilir ve program içerisine yüklenmektedir (Şekil 13).

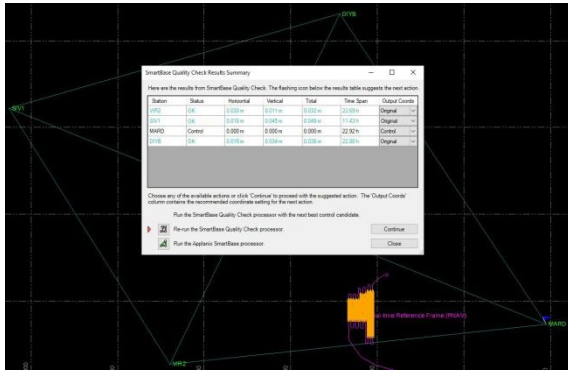


Şekil 12 : Yüklenen GPS Ham dosyası.

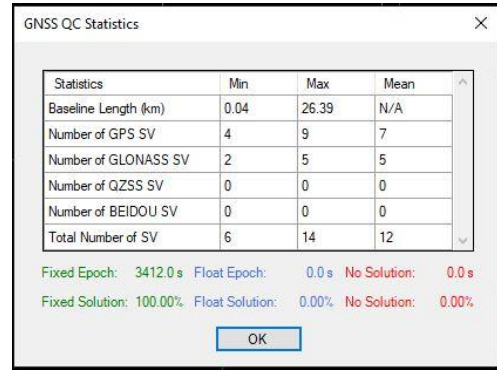


Şekil 13 : TUSAGA-AKTİF İstasyonları.

İstasyonlar yüklendikten sonra uçuş bölgesine en yakın istasyonu kontrol istasyonu olarak diğer istasyonlar ile uyumu için işlem yapılır (Şekil 14). Diğer istasyonların uçuştan gelen ham datalar ile uyumu gösterilmiştir (Şekil 15).

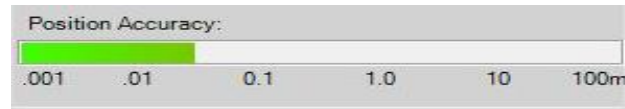


Şekil 14 : Hassasiyet Kontrolü



Şekil 15 : GNSS uyum sonucu

Program içerisinde otomatik işlem yaptırılarak sonuç koordinatlar ve dönüklükler otomatik hesaplanır. Bu hesaplanan koordinatların hassasiyetini program sonuç olarak göstermektedir. Bizim projemizde yaklaşık 5cm bir hata göstermektedir (Şekil 16).



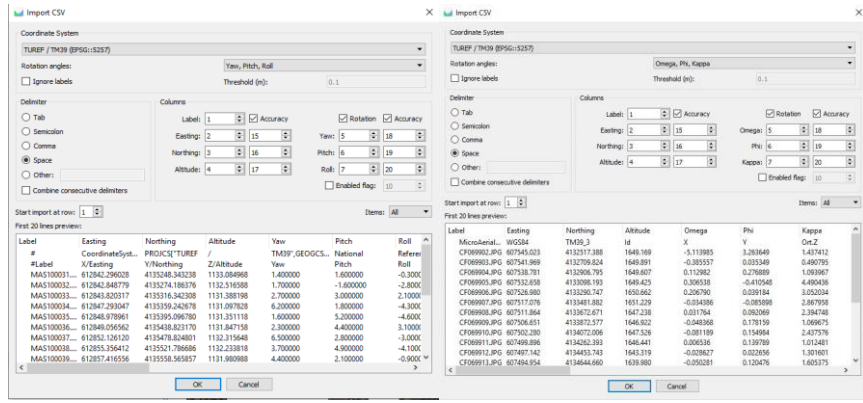
Şekil 16 : Koordinat Hassasiyeti.

Her resime ait X, Y, Z, Omega, Phi, Kappa ve hassasiyetleri dışa aktarılır. İnsansız hava aracı için aynı işlemler yapılarak dışa aktarım sağlanır.

3.5. Görüntülerin İşlenmesi

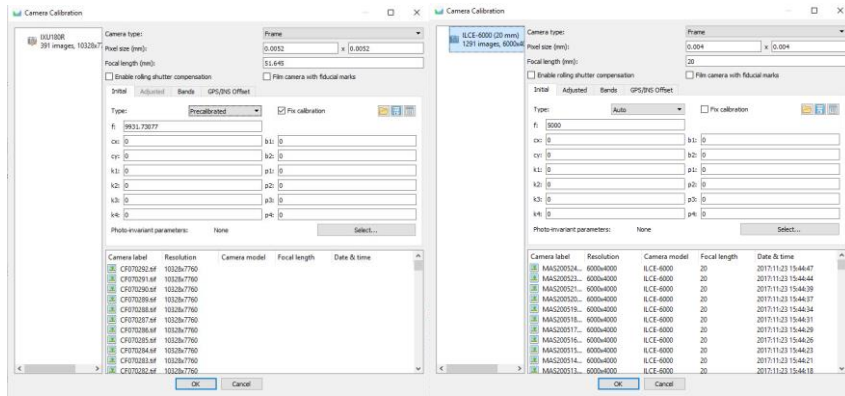
Hava araçlarından elde edilen görüntüler Agisoft MetaShape yazılımına yüklendikten sonra görüntü işleme adımları başlatılır.

Görüntüler yüklendikten sonra dış yöneltme elemanları yüklenerek dengeleme işlemine başlanır (Şekil 19). Yükleme esnasında çalışılacak olan koordinat sistemi ayarlanır.



Şekil 19 : Dış Yönelme Elemanlarının Yüklenmesi

Uçakta kullanılan kamera, metrik kamera olduğu için laboratuvar şartlarında kalibrasyonları yapılarak odak uzaklığı sabit tutulmuş ve distorsiyondan kaynaklı hatalar giderilmiştir (Şekil 20). İHA' da ise metrik olmayan kamera kullanılmıştır. Bu sebeble kamera kalibrasyonu yer kontrol noktaları işaretlendikten sonra netleşecektir (Şekil 21).

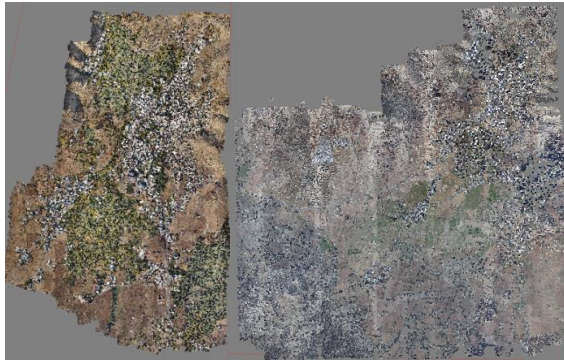


Şekil 20 : İHA Kamera Kalibrasyonu

Şekil 21 : Uçak Kamera Kalibrasyonu.

Bu sebeble kamera kalibrasyonu yer kontrol noktaları işaretlendikten sonra netleşecektir.

Dengelemenin ilk adımı olan resimleri bağlama işlemi otomatik yapılmaktadır. İHA görüntülerinin bağlamak için 732930 nokta, uçak görüntüleri için 177509 nokta otomatik olarak atılmıştır. Noktaların fazlalığı görüntü çözünürlüğüyle alakalıdır. Bağlanan noktalardan seyrek nokta bulutu oluşturulur (Şekil 22).



Şekil 22 : İHA ve Uçak görüntülerinin seyrek nokta bulutu.

Görüntüleri bağlama işlemi bittikten sonra yer kontrol noktalarının resimler üzerinde işaretlenmesi gerekmektedir. Her nokta görüntü içerisine giren tüm resimlerde işaretlenir ve proje optimizasyonu baştan yapılırak dengelenir.

Dengeleme işlemi bittikten sonra, yoğun nokta bulut işlemine geçilir. MetaShape programı bu işlemi otomatik yapmaktadır. Görüntü sayısının miktarı ve kullanılan bilgisayarın gücüne göre bu işlem uzun sürmektedir. İşlem bittikten sonra yaklaşık olarak, İHA için 870.000.000, Uçak için 1.350.000.000 nokta toplamıştır (Şekil 22 ve Şekil 23).



Şekil 22 : İHA Yoğun Nokta Bulutu



Şekil 23 : Uçak Yoğun Nokta Bulutu

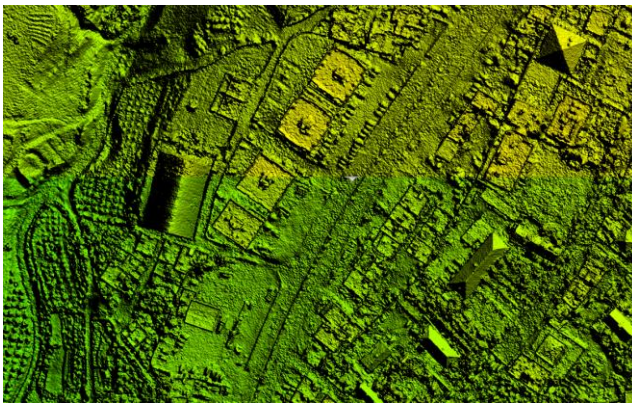
Yoğun nokta bulutu işlemi sonrasında SYM oluşturulur. SYM yoğun nokta bulunu referans olarak oluştur. SYM üretildikten sonra ortofoto görüntü oluşturulur. Resimleri oluşturulan yüzeye giydirme yöntemiyle oluşturur.

4. Karşılaştırmalar

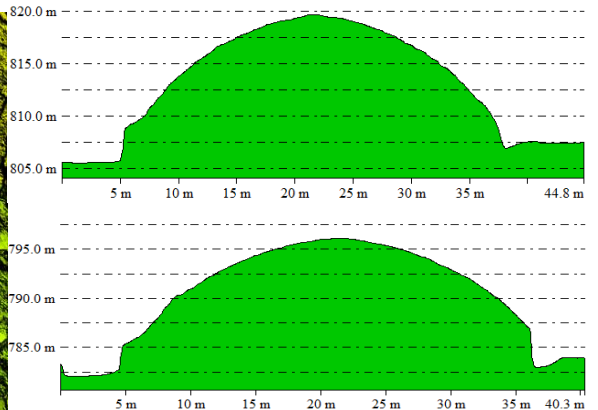
Yapılan bu çalışmaların sonucunda ispatlama yapabilmek için görsel ve sayısal olarak analizler yapılması gerekmektedir. Öncelikle görsel analizler ile çalışmanın doğruluğunu göstererek daha sonra sayısal veriler ile analizler yaparak İHA verilerinin doğruluğunu ve metrik olmayan kameralar ile fotogrametrik çalışmalar yapılabileceği ispatlanmış olacaktır.

4.1. Sayısal Yüzey Modeli Karşılaştırılması

Sayısal yüzey modeli nokta bulutu tabanlı oluşturulduğu için görüntü çözünürlüğünün büyük etkisi olmuştur. İnsansız hava aracına ait görüntüler yüksek çözünürlükte olduğu için çok daha fazla sayıda nokta olan bir bulut oluşmuştur. Bu bulut üzerine oluşturulan SYM' nin hassasiyeti nokta bulutu hassasiyeti kadardır. İki hava aracından gelen SYM' ler karşılaştırarak aradaki farkı görebiliriz (Şekil 24 ve Şekil 25).



Şekil 24 : SYM Karşılaştırılması.



Şekil 25 : Kesit Örnekleri.

4.2. Ortofotoların Vektörel Harita ile Karşılaştırılması

Sayısal yüzey modeli üzerine giydirilmiş görüntüler sonucu oluşturulan ortofotolar karşılaştırılmıştır. Uçak görüntüleri kullanılarak stereo çizimi gerçekleştirilen bölge üzerinde ortofotoların doğruluğunun analizi yapılmıştır (Şekil 26). Yüksek Çözünürlüklü İHA görüntülerinden oluşan ortofotonun daha hassas ve daha sağlıklı sonuçlar verdiği görülmüştür.



Şekil 26 : Ortofotoların Vektör Harita ile Karşılaştırılması

4.3. YKN ile Yapılan Karşılaştırmalar

Her iki bölgede kullanılan YKN' lerin doğruluğu İHA' da daha hassas çıkmaktadır. Bunun en büyük sebebi yüksek çözünürlüklü görüntülerdir. İHA' da metrik olmayan kamera kullanılmasına rağmen, metrik olan kameraya göre daha hassas sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Her iki platformda kullanılan YKN' lerin karşılaştırılması yatay da ve düşeyde olmak üzere (Çizelge 2 ve Çizelge 3)' de gösterilmiştir.

Çizelge 2 : İHA Dengelemesi Sonucu YKN Sonuçları

	East err (m)	North err (m)	Alt. err (m)	Accuracy (m)	Error (m)
Total Error					
Control points	0.001665	0.001265	0.002061		0.002935

Çizelge 2 : İHA Dengelemesi Sonucu YKN Sonuçları

	East err (m)	North err (m)	Alt. err (m)	Accuracy (m)	Error (m)
Total Error					
Control points	0.008535	0.010188	0.053879		0.055494

5. Sonuç

Çalışmanın sonucu olarak iki farklı platform ve iki farklı kameradan alınmış görüntüler sonuç ürünleri ve kalibrasyon olarak karşılaştırılmıştır.

Avantajımız aynı bölge üzerinde yakın tarihli görüntüler üzerinde işlem yapılmasıdır.

İHA' da kullanılan metrik olmayan kamera ile yapılan uçuşun sonucunda oluşturulan ürünleri, kalibrasyonu laboratuvar ortamında yapılmış metrik kameradan alınan görüntüler ile oluşturulan ürünleri ve vektör haritayı referans kabul ederek karşılaştırmalar ve analizler yapılmıştır.

Yapılan analizler sonucu metrik olmayan basit kameralar ile yapılan fotogrametrik çalışmaların sonucunun görsel ve sayısal olarak metrik kameralara karşı doğruluğu ispatlanmıştır.

Fotogrametrik harita üretiminde İHA' ların büyük alanlarda ve sınır bölgelerinde dezavantaj olarak görülse de küçük alanların haritalarını oluştururken İHA' lardan faydalanmak büyük bir avantaj olacaktır.

Teşekkür

Çalışmanın uygulama aşamasında her türlü desteği sağlayan Mas Havacılık Çözümleri A.Ş. yönetim Kurulu başkanı Sayın Serdar İNALTEKİN' e, yönetim kurulu başkan yardımcısı Sayın Armağan Yılmaz'a, pilot Hasan Remzi TUŞ ve pilot Mustafa Burak DURLU' ya sonsuz şükranlarımı sunarım.

Kaynaklar

- [1] Selçuk, O. (2008). *Dijital ve analog hava kameralarının geometrik potansiyellerinin fotogrametrik açıdan irdelenmesi*. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon
- [1] Kaya, M. (2010). *Sayısal hava kamerası ve analog hava kamerası kullanılarak üretilen fotogrametrik sayısal yükseklik modellerinin karşılaştırılması*. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [1] Stam, J. (2010). *Accuracy assesment of direct sensor orientation in UAV photogrametry*.
- [1] Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M. and 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).
- [1] Karakış, S. (2012). İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Büyük Ölçekli Fotogrametrik Harita Üretim Olanaklarının Araştırılması, *Harita Dergisi*, Zonguldak
- [1] Niethammer, U., James, M.R., Rothmund, S., Travelletti, J., Joswing, M. (2012). UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide : Evaluation and results. *Engineering. Geology* 128,2-11
- [1] Acar, H., Karşı, F., (2013). Yüksek çözünürlüklü dijital hava görüntülerinin surf nokta belirleme algoritması ile otomatik eşleştirilmesi, TUFUAB VII. Teknik Sempozyumu 23-25 Mayıs, Trabzon.
- [1] Toprak, A.S. (2014). *Fotogrametrik tekniklerin insansız hava aracı ile mühendislik projelerinde kullanılabilirliğinin araştırılması*.Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [1] Karkınlı, A.E., Kesikoğlu, A., Kesikoğlu, M.H., Atasever, U.H., Ozkan, C., Çivicoğlu, P. ve Beşdok, E. (2015).İnsansız hava araçları ile sayısal arazi modeli üretimi. TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs, Konya
- [1] Ayyıldız, E., Özer, E., Özmüş, L., Erkek, B. ve Bakıcı, S., (2015). İnsansız hava aracı (İHA) ve uçak platformlarından elde edilen görüntülerin ortofoto üretiminde karşılaştırılması, TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu 21-23 Mayıs, Konya.
- [1] Gençerk, E.Y. (2016). *İnsansız hava aracı fotogrametrisi uygulaması ile inşaat projesi imalat durumunun araştırılması*.Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [1] Kılınçoğlu, D.B. (2016). *Farklı insansız hava araçları ile elde edilen görüntülerin otomatik fotogrametrik yöntemlerle değerlendirilmesi ve doğruluk analizi*. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [1] Tercan, E. (2018). Karayolu ölçmelerinde insansız hava araçlarının kullanılması: okurcalar şehir merkezi örneği, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7 (2), 649-660, Niğde.
- [1] Erdoğan, A. (2016). *Şeritvari haritaların insansız hava araçları ile üretimi*.Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.