مجله کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه ریزی، دوره ۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶

# بررسی کارایی تصاویر پرنده بدون سرنشین برای تولید مدل رقومی سطح

**نعیم میجانی [۱]، مجید کیاورز مقدم * [۲]، محمد کریمی فیروزجایی [۳]**

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۲۰

صفحات: ۳۹ - ۲۵

**چکیده**

**در سال‌های اخیر به دلیل برتری از نظر هزینه و زمان نسبت به سایر روش‌ها شاهد پیشرفت روزافزون کاربرد پرنده‌های بدون سرنشین در کاربردهای متنوعی از جمله علوم زمین، منابع طبیعی، مطالعات محیطی، برنامه‌ریزی شهری می‌باشیم. در کنار این مزایا، استفاده از پرنده‌های بدون سرنشین با چالش‌هایی مانند هندسه ناپایدار تصویربرداری، عدم استفاده از دوربین‌های متریک و متغیر بودن پارامترهای تصاویر همراه است. در این پژوهش تکنیک‌های علم بینایی کامپیوتر برای پردازش تصاویر تهیه شده توسط هواپیمای بدون سرنشین بررسی و کارایی این تصاویر و تکنیک‌ها برای تولید مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی بالا بررسی شده است. بدلیل وجود شرایط ذکر شده برای تصویربرداری و عدم وجود پارامترهای توجیه داخلی و خارجی از عملگر SIFT برای استخراج نقاط گره‌ای در مناطق مشترک تصاویر استفاده شده است. توجیه نسبی و مطلق تصاویر به ترتیب با استفاده از نقاط گره‌ای و نقاط کنترل زمینی انجام شده است. از الگوریتم تناظریابی سه بعدی متراکم، ابر نقاط متراکم ایجاد و با درونیابی به روش مثلث‌بندی نامنظم، سطح رقومی منطقه تشکیل شده است. در نهایت با استفاده از نقاط چک زمینی، دقت زمین مرجع کردن و مدل رقومی سطح نهایی ارزیابی شده است. تعداد ۵۸۵۳ نقطه گره‌ای به صورت اتوماتیک توسط عملگر SIFT استخراج و تصاویر با دقت مسطحاتی ۲۱/۱۲ سانتی‌متر زمین مرجع شدند. سپس با تولید میلیون‌ها نقطه و مثلث‌بندی نامنظم، مدل رقومی ارتفاعی با دقت ارتفاعی ۱۹/۲۵ سانتی‌متر تولید شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بدلیل هندسه ناپایدار تصویربرداری و متغیر بودن پارامترها برای تصاویر، تلفیق الگوریتم SIFT با تکنیک‌های بینایی کامپیوتر در پردازش تصاویر پهباد برای استخراج نقاط گره‌ای و توجیه دقیق تصاویر ضروری است.**

**واژگان کلیدی: بینایی کامپیوتر، تناظریابی، SIFT، پهباد، مدل رقومی سطح**

[۱]- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران naeim.mijani@ut.ac.ir

[۲]- استادیار، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) Kiavarzmajid@ut.ac.ir

[۳]- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران mohammad.karimi.f@ut.ac.ir

**مقدمه**

به طور کلی مدل رقومی سطح ( DSM[i] ) نمایش سه بعدی از سطح زمین به همراه دیگر عوارض طبیعی و انسان ساخت است. DSM دقیق با وضوح بالا در انواع مختلف فعالیت‌ها از جمله مدل‌سازی و شبیه‌سازی‌های مربوط به ارتفاع در سطح زمین، محاسبات مربوط به خاکبرداری و خاکریزی، نقشه برداری زمین و محاسبات حجم در مهندسی عمران، تولید منحنی میزان‌ها با کیفیت بالا، تولید اورتوفتو، ارزیابی کیفیت داده‌ها و تهیه نقشه‌های توپوگرافی در نقشه برداری و فتوگرامتری، تهیهٔ نقشه‌های شیب و جهت شیب، تعیین میزان انحنای زمین، تعیین خط دید، تهیهٔ مقاطع طولی و عرضی ارتفاعی زمین و مدل‌های سایه زنی و جهت تابش نور خورشید در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS[ii]) و در برنامه‌ریزی شهری و غیره کاربرد دارد.

برای تولید DSM دقیق نیاز به اندازه‌گیری مختصات سه بعدی به صورت دقیق است. تکنیک‌های مختلفی ازجمله روش‌های فتوگرامتری، سنجش از دور ماهواره‌ای، نقشه برداری زمینی و لیدار برای تولید نقاط بهینه‌ی مورد استفاده برای تولید DSM وجود دارد. با توجه به شرایط مختلف مانند وسعت منطقه، دقت و کیفیت نهایی مورد نظر، تجهیزات و امکانات موجود روش مناسب برای تهیه DSM انتخاب می‌گردد. هر چه وسعت منطقه بیشتر باشد کاربرد روش‌های زمینی کمتر شده و روش-های دیگر بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگر چه به طور کلی دقت روش‌های نقشه‌برداری بیشتر است اما در وسعت زیاد از نظر هزینه و زمان مقرون به صرفه نیستند. لیزر اسکنرها، جزء تکنولوژی‌های نوین می‌باشند که به دلیل مزایای متعدد آن‌ها، کاربرد بسیاری در تهیه مدل‌های رقومی پیدا کرده‌اند. لیزر اسکنرها را می‌توان جزء روش‌های نقشه‌برداری بدون تماس دانست که بدون استفاده از رفلکتور، قابلیت ثبت موقعیت هندسی هزارن نقطه را در مدت زمان بسیار کوتاه دارا می‌باشند (Axelsson, 1999). از جمله محصولات این لیزر اسکنرها می‌توان نقشه‌های توپوگرافی زمین و مدل‌های سه بعدی شهری را نام برد. هزینه بالای تکنولوژی، مشکل ذخیره-سازی، زمان زیاد مورد نیاز برای پردازش نقاط، عدم توجه به ساختار عارضه، برداشت نقاط بعضا غیرضروری و دشواری تشخیص لبه‌ها در ابر نقاط تولید شده در مقایسه با روش فتوگرامتری استفاده از این تکنولوژی را محدود کرده است.

استفاده از پرنده‌های بدون سرنشین (UAV[iii]) جزء روش‌های فتوگرامتری نوین برای تولید DSM است. با افزایش دسترسی به تصاویر دیجیتال و بهبود سخت افزارها و نرم افزارهای کامپیوتری با قابلیت‌های بالا، گرایش به سمت استفاده از روش‌های اتوماتیک جهت پردازش داده‌ها روز به روز درحال افزایش است. پهبادها، هواپیماهای بدون سرنشین هستند که بر اساس برنامه پروازی که از قبل برای آن‌ها طراحی شده یا با توجه به تشخیص اتوماتیک خود از محیط اطراف، در فضا پرواز کرده (Carnie, Walker, & Corke, 2006) و می‌توان آن‌ها را از راه دور به‌صورت نیمه مستقل، مستقل و یا ترکیبی از هر دو کنترل کرد. نصب انواع مختلفی از ابزار بر روی پرنده، آن را در انجام وظایف خاص در جو زمین یا فراتر از آن، برای یک مدت زمان مشخص توانا می‌کند (Kim et al., 2012).

استفاده از پهبادها توسط ایالت متحده آمریکا بعد از جنگ جهانی اول آغاز شد. آنها از هواپیماهای بدون سرنشین جهت شناسایی عوارض و پدیده‌های نظامی استفاده کردند. در حال حاضر بیش از ۱۵۵ نوع مختلف از پهبادهای بدون سرنشین در کشورهای ایالت متحده آمریکا، فرانسه، آلمان ودیگر کشورهای اروپایی و همچنین اسرائیل و کره توسعه یافته‌اند. در سال‌های اخیر، تصاویر تهیه شده توسط پهباد به صورت گسترده برای مدل‌سازی دیجیتال سطح زمین و عوارض مصنوعی روی سطح، نظارت بر آتش سوزی جنگل و مراتع، مدیریت بحران، نقشه برداری در مناطق شهری و برون شهری، نظارت بر محیط زیست، کشاورزی، منابع طبیعی، نظارت بر یخچال‌های طبیعی و امور نظامی استفاده شده است. پهبادها در بررسی میزان

خسارات و کاهش خسارات بلایای طبیعی می‌توانند نقش مهمی را ایفا کنند، به طور مثال می‌توان به نقش این پرنده‌ها در سونامی سال ۲۰۰۴ اقیانوس هند و طوفان سال ۲۰۱۳ هایان و هایتی اشاره کرد. بالاترین رزولوشن برای تصاویر بدست آمده به روش سنجش از دور ماهواره‌ای و فتوگرامتری هوایی معمول، در محدوده ۲۰cm-۵۰ است. پهبادها با قابلیت پرواز در ارتفاع خیلی پایین‌تر نسبت به دو روش قبل، اغلب قادر به تولید تصاویر با رزولوشن بالاتر در حد دسی‌متر و حتی سانتی-متر هستند (Hunt et al., 2010; Nebiker, Annen, Scherrer, & Oesch, 2008). ظرفیت ترابری محدود، عدم استفاده از دوربین‌های متریک پیشرفته مانند دوربین‌های کالیبره شده فتوگرامتری هوایی، اثرپذیری از شرایط جوی همچون باد به دلیل وزن پایین پرنده و هندسه ناپایدار از مواردی است که استفاده از تکنیک‌های فتوگرامتری کلاسیک را در پردازش تصاویر پهباد جهت بدست آوردن محصولات با وضوح بالا با مشکل روبه‌رو می‌کند (Berni, Zarco-Tejada, Suárez, & Fereres, 2009).

استفاده از الگوریتم‌ها و تکنیک‌های جدید بینایی کامپیوتر (CV[iv]) تولید محصولات خروجی با کیفیت بالاتر را ممکن می-سازد (Carnie et al., 2006). بینایی کامپیوتر یک سیستم پیشرفته است که تلاش می‌کند با استفاده از علوم هندسه، فیزیک، آمار و نظریه یادگیری، تصویر دنیای واقعی یا فیلم را به صورت اتوماتیک پردازش کرده و اطلاعات خاصی را از آن‌ها استخراج کند. با تلفیق تکنیک‌های علم بینایی ماشین و الگوریتم‌های جدید همچون SIFT[v] و SFM[vi] برای پردازش تصاویر پهباد، محصولات با رزولوشن بالا تولید می‌شود. اپراتور SIFT به عنوان آشکارساز منطقه‌ای به جای روش‌های سنتی در فتوگرامتری، برای استخراج نقاط مشترک بین دو یا چند تصویر با پوشش مشترک بکار برده می‌شود (Lingua, Marenchino, & Nex, 2009; Rathinam et al., 2007). الگوریتم SIFT برای استخراج نقاط مشترک، تحت تاثیر تغییر پارامترهای دوران، مقیاس، انتقال و اختلاف روشنایی بین تصاویر، قرار نگرفته از این رو برای پردازش تصاویر پهباد بسیار کاربردی است. با استفاده از الگوریتم SFM و با کمک نتایج حاصل شده توسط اپراتور SIFT از تصاویر پوشش‌دار، مدل سه بعدی ایجاد می‌شود. برنامه‌های کاربردی بینایی کامپیوتر به طور همزمان باید حجم عظیمی از داده‌ها را پردازش کنند بخاطر همین نیاز به پردازنده و سیستم‌های قوی برای این منظور دارند.

راسینام[۴] و همکاران (۲۰۰۷) روشی پیشنهاد دادند که از پهباد مجهز به دوربین ثابت می‌توان برای تهیه نقشه و نظارت بر راه-ها، رودخانه‌ها، پل‌ها، جاده‌ها و سازه‌های بزرگ استفاده کرد. با تلفیق تکنولوژی تصویربرداری پهباد و روش‌های بینایی کامپیوتر می‌توان برای ردیابی و شناسایی اشیاء در یک منطقه استفاده کرد. برنی[۵] و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از داده‌های GPS/IMU نصب شده بر روی پهباد، پارامترهای توجیه خارجی را برای دوربین در تصاویر مختلف ارزیابی و تصاویر کالیبره شده را با استفاده از نرم افزارهای مربوط به فتوگرامتری سنتی پردازش کرده و تصویر موزاییک منطقه را بدست آوردند. چندین شرکت و گروه تحقیقاتی به نتایج قابل قبولی در مورد تولید مدل رقومی ارتفاع به صورت اتوماتیک دست یافتند و بسته‌های نرم افزاری را برای تولید اتوماتیک مدل‌های سه بعدی سازی توسعه دادند. دقت مدل رقومی تولید شده به عوامل مختلفی از جمله ارتفاع پرواز، درصد پوشش تصاویر، وضوح دوربین و ... بستگی دارد. در تحقیقات ناگای[۶] و همکاران (۲۰۰۹) و هودزیتز[۷] و ساریپالی (۲۰۱۱) اثرات هر یک از این پارامترها در مدل رقومی ارتفاع تولید شده، بررسی و تجزیه و تحلیل شده است. ژانگ[۸] و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی نشان دادند که پارامتر همپوشانی بین تصاویر مجاور، بر کیفیت و دقت مدل رقومی ارتفاعی تولید شده اثرگذار است. نتایج تحقیق بیانگر این موضوع بود که پوشش ۷۰-۶۰ درصد بین تصاویر متوالی برای تولید مدل رقومی الزامی است. نمونه‌های تحقیقاتی متعددی در سال‌های اخیر توسط دانشگاه کونکوک،

1- Rathinam
2- Berni
3- Nagai
4- Hudzietz
5- Zhang

دانشگاه پوسان، دانشگاه چانگ بوک و دانشگاه‌های چین، استرالیا و سنگاپور روی پردازش تصاویرUAV از جمله پردازش مربوط به تشخیص لبه، تصویر آستانه، طبقه‌بندی ساختمان-های شهری و الگوریتم تناظریابی SIFT انجام شده است (Carnie et al., 2006; Chao-jian & San-xue, 2011; Hausamann, Zirnig, Schreier, & Strobl, 2005; J.-N. Lee & Kwak, 2014; Lingua et al., 2009; Moranduzzo & Nagai, Melgani, 2014; Wang, Shi, Zhang, & Liu, ;2008 Zhang, ;Chen, Shibasaki, Kumagai, & Ahmed, 2009 .(Qu, Ma, Yang, & Kong, 2012

با توجه به اهمیت مدل رقومی سطح در زمینه‌های مختلف و مزایایی استفاده از فناوری UAV در این زمینه، به بررسی و تجزیه و تحلیل روش تولید مدل رقومی سطح با استفاده از تصاویر با وضوح بالا بدست آمده از این فناوری با دوربین دیجیتال غیرمتریک پرداخته شده است.

## مواد و روش

### داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش برای تولید مدل رقومی سطح منطقه، از ۴ تصویر پرنده بدون سرنشین استفاده شده است. برای زمین مرجع کردن و ارزیابی دقت در مراحل مختلف از نقاط کنترل برداشت شده از منطقه استفاده شده است. برای پردازش تصاویر در این پژوهش از بسته نرم افزار عددی Agisoft PhotoScan استفاده شده است. مشخصات مربوط به داده‌های مورد استفاده در جدول (۱)، تصاویر مورد استفاده در شکل (۱)، مشخصات نقاط کنترل در جدول (۲) و موقعیت نقاط در منطقه، در شکل (۲) نشان داده شده است.

جدول (۱): مشخصات داده‌های مورد استفاده در پژوهش

| جزییات | پارامتر | شماره |
|---|---|---|
| ۴ | تعداد تصاویر | ۱ |
| ۱۰/۵Cm/pixel | رزولوشن زمینی | ۲ |
| ۸۰٪ | پوشش طولی تصاویر | ۳ |
| ۶۰٪ | پوشش عرضی تصاویر | ۴ |
| ۱۷۳۱۰×۱۱۳۱۰ | سایز تصاویر | ۵ |
| ۱۳ عدد | نقاط کنترل زمینی | ۶ |
| UTM زون ۴۰ شمالی | سیستم مختصات | ۷ |
| دیتوم | سطح آب‌های آزاد | ۸ |

شکل(۱) : تصاویر مورد استفاده در پژوهش

شکل (۲): موقعیت نقاط کنترل در منطقه

جدول (۲): مشخصات نقاط کنترل استفاده شده در پژوهش

| شماره نقاط کنترل | East. est(m) | North. est(m) | Alt. est(m) |
|---|---|---|---|
| ۸۰۰۰۱۳۸۴ | ۵۲۳۰۲۲/۱۳۴۸ | ۴۱۴۵۵۸۶/۱۳۳ | ۱۲۷۸/۸۱۷۳ |
| ۸۰۰۰۱۲۹۷ | ۵۲۱۶۹۱/۱۸۹۹ | ۴۱۴۵۰۷۰/۴۸۳ | ۱۲۸۱/۹۳۹۵ |
| ۶۰۰۰۵۲۰۶ | ۵۲۲۸۸۰/۴۴۶۲ | ۴۱۴۵۲۲۷/۴۲۶ | ۱۲۸۲/۶۶۶ |
| ۳۰۰۰۲۳۴۹ | ۵۲۲۴۶۳/۶۷۵ | ۴۱۴۵۴۷۱/۳۳۱ | ۱۲۸۰/۲۳۷ |
| ۸۰۰۰۱۳۰۰ | ۵۲۱۶۱۰/۱۴۲۹ | ۴۱۴۵۰۶۲/۵۶۳ | ۱۲۸۱/۷۳۱۷ |
| ۱۱۰۰۰۰۲۱۰ | ۵۲۱۷۲۲/۹۰۴ | ۴۱۴۵۷۶۸/۰۹۴ | ۱۲۸۰/۶۳۸۵ |
| ۷۰۰۰۲۰۳۳ | ۵۲۱۷۴۷/۳۷۶۲ | ۴۱۴۵۱۵۸/۶۸۸ | ۱۲۸۱/۵۲ |
| ۷۰۰۰۲۳۱۲ | ۵۲۲۰۳۲/۸۱۸۴ | ۴۱۴۵۱۵۸/۶۸۸ | ۱۲۸۰/۷۵۰۹ |
| ۳۰۰۰۲۱۵۹ | ۵۲۲۱۵۴/۰۹۶۶ | ۴۵۲۳۷/۴۱۹۷۷ | ۱۲۸۰/۵۲۱۲ |
| ۷۰۰۰۲۰۷۷ | ۵۲۳۰۵۱/۷۷۶۸ | ۴۱۴۴۹۷۷/۷۳۶ | ۱۲۷۹/۰۱۱۸ |
| ۱۰۰۰۰۰۳۴۷ | ۵۲۱۵۸۵/۵۶۱۵ | ۴۱۴۵۴۳۵/۸۳۹ | ۱۲۸۱/۵۸۵۶ |

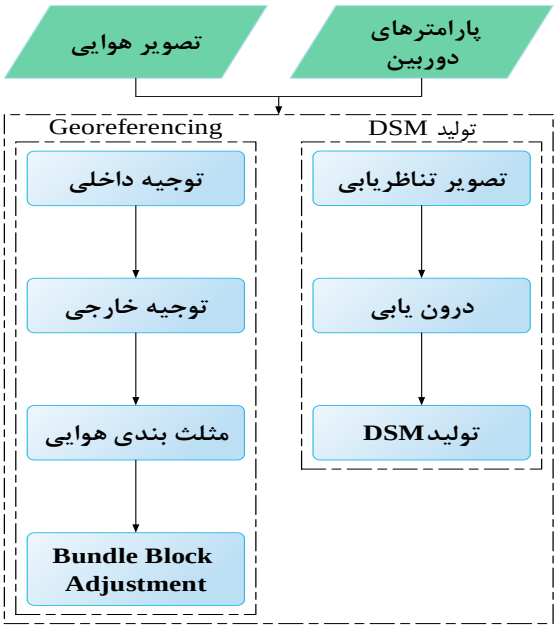
## روش تحقیق

روش تصویربرداری با استفاده از پرنده‌های بدون سرنشین، جزء روش‌های فتوگرامتری است که با فتوگرامتری هوایی سنتی از لحاظ خصوصیات و ویژگی‌های تصویربرداری متفاوت است. در جدول (۳) دو روش فتوگرامتری کلاسیک و UAV با یکدیگر مقایسه شده اند .

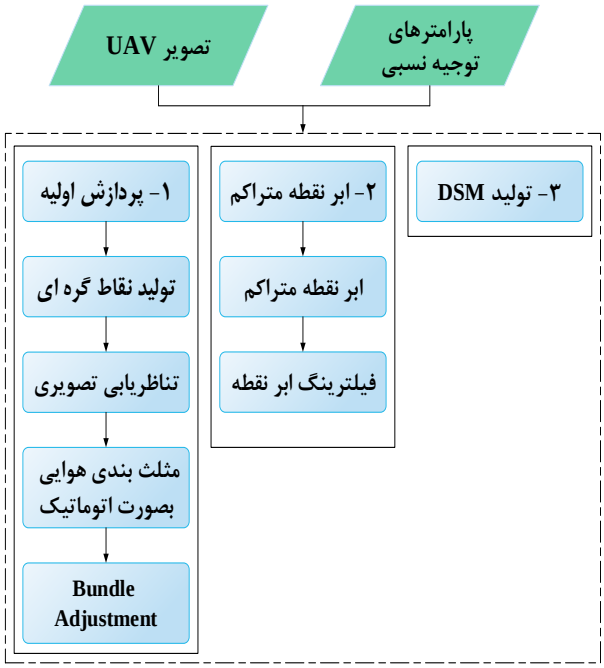
جدول (۳): مقایسه خصوصیات فتوگرامتری UAV و فتوگرامتری هوایی

| فتوگرامتری UAV | فتوگرامتری هوایی سنتی | پارامترها |
|---|---|---|
| انومانیک / دستی | دستی | جمع آوری داده |
| طرفیت ترابری محدود | هواپیمای طراحی شده با پایداری ویژه | وسیله |
| mm-cm | cm-m | رزولوشن تصویر |
| m 10 $m^2$ | 2m-5m | وضعیت و دقت GPS/INS |
| $m^2$-$km^2$ | $km^2$ | پوشش زمینی |
| دوربین‌های دیجیتال غیر پارامتریک | دوربین با کالیبره بالا | دوربین |
| ناموجود | موجود | قیدوشل مارک |
| m-km (2 km کمتر از) | 100m-10km | ارتفاع پرواز |
| ناپایدار | پایدار | هندسه تصویربرداری |
| فضای کار استاندارد ندارد | فضای فتوگرامتری استاندارد | فضای پردازش داده |
| دقت زمانی بالا | کنترل بهتر برروی کیفیت تصویر | ویژگی برجسته |

دو مدل مختلف برای تولید مدل رقومی سطح از تصاویر پهپاد وجود دارد. مدل اول مربوط به روش‌های فتوگرامتری کلاسیک و مدل دوم مربوط به تکنیک های استفاده از بینایی کامپیوتر است. متدولوژی کلی هر دو روش در شکل (۳) و (۴) نشان داده شده است.




شکل (۳): روش تولید DSM در فتوگرامتری کلاسیک

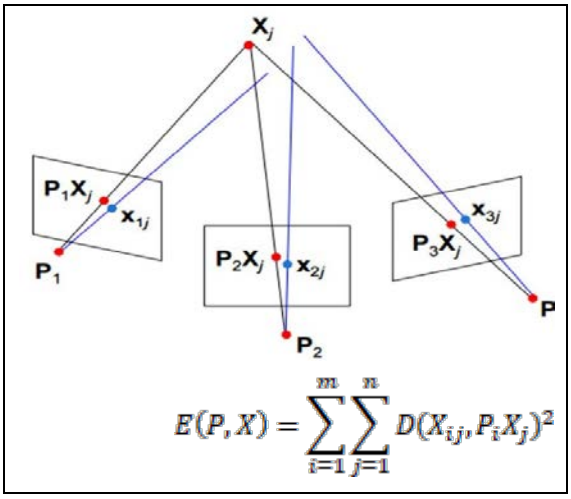



شکل (۴): روش تولید DSM در فتوگرامتری مدرن

## زمین مرجع کردن تصاویر

بسته نرم افزار عددی Agisoft PhotoScan از الگوریتم‌های بینایی کامپیوتر برای زمین مرجع کردن استفاده می‌کند Agisoftبا بهره‌گیری از اپراتور SIFT نقطه‌های مشترک را در عکس‌ها جستجو کرده و آن‌ها را با یکدیگر متناظر می‌کند و ابر نقاط پراکنده در مناطق مشترک تصاویر ایجاد می‌شود. برای هر تصویر، موقعیت دوربین، پارامترهای توجیه خارجی و هندسی مانند فاصله کانونی دوربین ($f$)، مختصات نقطه اصلی ($X_p, Y_p$) و ضرایب اعوجاج شعاعی لنز دوربین ($k_1, k_2, k_3$) را مشخص و تصحیح می‌کند. به دلیل هندسه ناپایدار، شرایط متفاوت تصویربرداری و تفاوت در پارامترهای مقیاس، دوران، انتقال و روشنایی مربوط به تصاویر، برای استخراج ابرنقاط در تصاویر استفاده از تکنیک‌های تناظریابی که به صورت سنتی در فتوگرامتری استفاده می‌شوند قابل اعتماد نیستند (B.-J. Lee, Yun, Lee, & Sung, 2012). بنابراین در چنین شرایطی نیاز به اپراتورهای شناسایی عوارض که تحت تاثیر شرایط متفاوت تصاویر قرار نگیرند می‌باشد. این نرم افزار از الگوریتمSIFT برای استخراج نقاط گرهی استفاده می‌کند (Lowe, 2004; Luhmann & Altrogge, 1986). اپراتور منطقه‌ای SIFT از سه مرحله اصلی ۱- استخراج ویژگی‌ها ۲- توصیف ویژگی‌ها ۳- تطبیق ویژگی‌ها برای استخراج نقاط مشترک بهره می‌گیرد. پس از استخراج نقاط گره‌ای، بلوک تصاویر با استفاده از الگوریتم BBA[vii] سرشکن می‌شود و پارامترهای موقعیت و جهت دوربین برای هر تصویر به طور دقیق محاسبه می‌گردد. در Agisoft موقعیت‌های تقریبی دوربین با استفاده از الگوریتم گریدی براساس پارامترهای توجیه، بعد از اجرای تکنیک‌های BA[viii] مشخص می‌شوند (Lingua et al., 2009). الگوریتم BBA خطای re-projection (شکل (۵)) را به حداقل می‌رساند و ۶ پارامتر توجیه خارجی شامل ۳ پارامتر انتقال ($X_0, Y_0, Z_0$) و ۳ پارامتر دوران (فی، امگا، کاپا) را اندازه‌گیری می‌کند. این الگوریتم از روش سرشکنی کمترین مربعات استفاده کرده و با توجه به

مشاهدات بیشتر، راه‌حل بهینه‌تر پیدا می‌شود. در این الگوریتم اشتباهات، شناسایی شده و حذف می‌شوند. همچنین نه تنها مقادیر پارامترهای توجیه نسبی اندازه‌گیری شده بلکه دقت اندازه‌گیری آنها نیز تعیین می‌شود .




شکل (۵): الگوریتم Bundle Adjustment برای خطای re-projection

با استفاده از معادلات شرط هم خطی و بهره‌گیری از مثلث-بندی هوایی به صورت خودکار، مختصات سه بعدی برای نقاط گره‌ای محاسبه می‌شود (Sheng et al., 2013). فرم کلی معادلات شرط هم خطی به صورت روابط ۱ و ۲ نشان داده شده است.

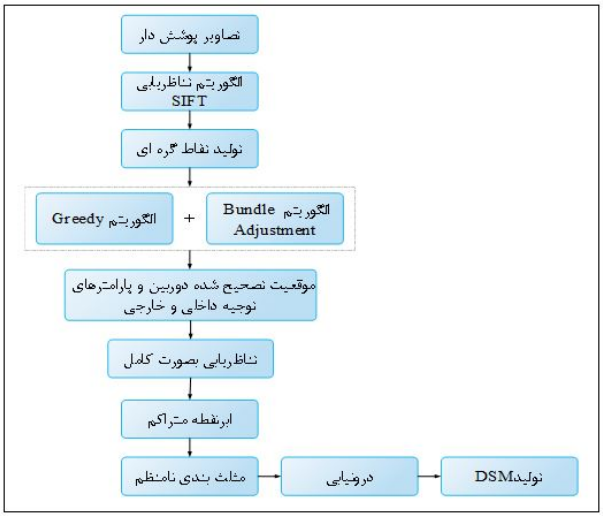
$$x_p - x_o - f\left[\frac{m_{11}(X_p-X_{o_1})+m_{12}(Y_p-Y_{o_1})+m_{13}(Z_p-Z_{o_1})}{m_{31}(X_p-X_{o_1})+m_{32}(Y_p-Y_{o_1})+m_{33}(Z_p-Z_{o_1})}\right] \quad (۱)$$

$$y_p - y_o - f\left[\frac{m_{21}(X_p-X_{o_1})+m_{22}(Y_p-Y_{o_1})+m_{23}(Z_p-Z_{o_1})}{m_{31}(X_p-X_{o_1})+m_{32}(Y_p-Y_{o_1})+m_{33}(Z_p-Z_{o_1})}\right] \quad (۲)$$

با استفاده از اطلاعات مربوط به GPS/INS که در طول اجرا پروژه جمع آوری می‌شود، توجیه مطلق بلوک تصاویر با دقت پایین (در حد متر) انجام شده سپس از نقاط کنترل زمینی برای بهینه کردن پارامترها با دقت زیاد استفاده می‌شود. نقاط کنترل زمینی برای زمین مرجع کردن دقیق ابر نقاط پراکنده تولید شده از مرحله تناظریابی تصاویر، استفاده می‌شود. این نرم افزارها یک راه نیمه اتوماتیک برای وارد کردن نقاط کنترل زمینی فراهم می‌کنند. در این مرحله تمام پارامترهای توجیه داخلی، خارجی و موقعیت صحیح دوربین برای هر تصویر مشخص و تصحیح شده و توجیه نسبی و مطلق صورت می-گیرد. در نهایت دقت زمین مرجع کردن تصاویر با استفاده از نقاط چک ارزیابی می‌شود.

## تولید DSM با استفاده از علم بینایی کامپیوتر

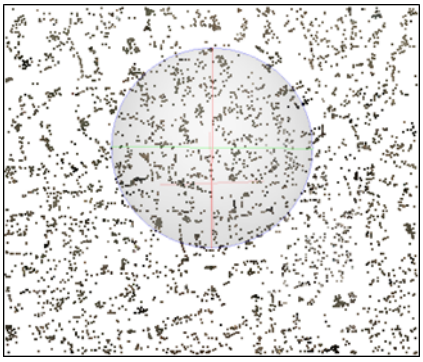
ابر نقاط پراکنده تولید شده در مرحله پردازش اولیه، فقط شامل نقاط گرهی هستند که به‌صورت موفق درچندین تصویرمتناظر شده‌اند. در این مرحله باید ابر نقطه متراکم تولید گردد تا بر اساس ابر نقطه متراکم، هندسه مدل تشکیل شود. کیفیت تعیین پارامترهای دوربین و تصویر، تراکم و دقت ابر نقطه را مشخص می‌کنند. چگالی بالاتر ابر نقطه، باعث می‌شود جزئیات سطح بیشتر حفظ شود (Hausamann et al., 2005). این مرحله بصورت خودکار در نرم افزار Agisoft انجام می‌شود. الگوریتم تناظریابی سه بعدی متراکم، از ابر نقطه تولید شده استفاده کرده و میلیون‌ها نقطه با مختصات زمینی معلوم تولید می‌کند. در ابرنقطه تولید شده ممکن است گپ-هایی وجود داشته باشد که بدلیل عدم تناظریابی موفق در آن مناطق است. از روش‌های جلوگیری از ایجاد گپ در ابرنقاط تولید شده افزایش پوشش طولی و عرضی تصاویر پوشش‌دار است با این عمل، تعداد حضور مناطق در تصاویر مختلف افزایش می‌یابد. ابر نقطه ایجاد شده در نرم افزار قابلیت ویرایش دارد. همچنین ابر نقطه متراکم تولید شده به روش شبکه نامنظم مثلثی $TIN^{ix}$ درونیابی شده و مدل دیجیتال سه بعدی سطح ایجاد می‌گردد. دقت ارتفاعی DSM تولید شده با استفاده از نقاط چک زمینی ارزیابی شده و درنهایت با استفاده از DSM ایجاد شده، تصویر ارتوموزاییک منطقه ایجاد می‌شود. الگوریتم کلی تولید DSM در نرم افزار Agisoft PhotoScan بصورت شکل (۶) نشان داده شده است.



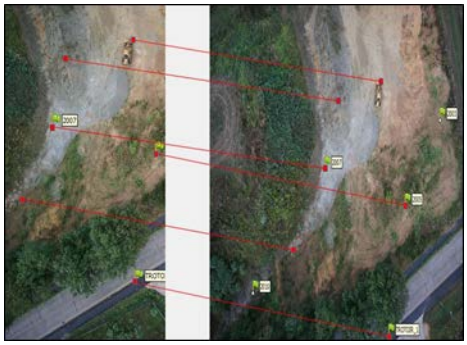

شکل (۶): الگوریتم تولید DSM در Agisoft PhotoScan

بحث و نتایج

عملگر SIFT در ۴ تصویر مربوط به منطقه، تعداد ۵۸۵۳ نقطه مشترک به عنوان نقطه گره‌ای ایجاد کرده است. همه نقاط گره ای و نمونه‌ای از این نقاط که به‌صورت اتوماتیک با استفاده از عملگر SIFT استخراج شده‌اند به ترتیب به صورت شکل (۷) و (۸) نشان داده شده است.



شکل (۷): کل نقاط گره‌ای ایجاد شده توسط عملگر SIFT



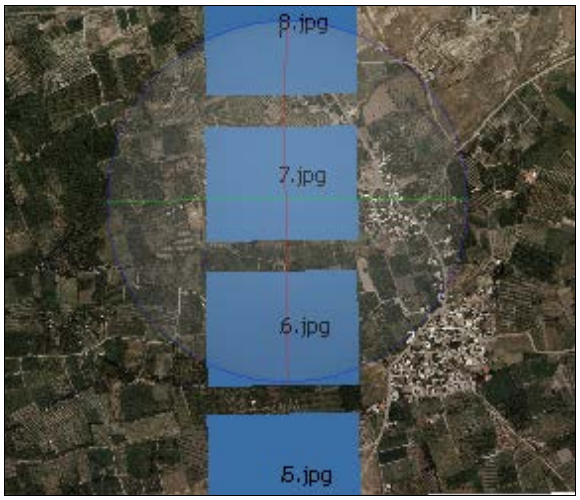
شکل (۸): نمونه‌ای از نقاط گره‌ای متصل شده در مناطق مشترک دو تصویر

با استفاده از الگوریتم‌های گریدی و BBA و به کمک ابرنقطه پراکنده ایجاد شده، موقعیت دوربین، پارامترهای توجیه داخلی و خارجی برای هر تصویر بدست آمده و تصاویر نسبت به یکدیگر توجیه نسبی شده‌اند. با استفاده از نقاط کنترل زمینی، مختصات از فضای سیستم مختصات تصویری به فضای سیستم مختصات زمینی منتقل شده است. دقت زمین مرجع کردن با کمک نقاط چک ارزیابی شده است که نتایج به‌صورت جدول (۴) نشان داده شده است.

**جدول (۴): نتایج ارزیابی دقت زمین مرجع کردن**

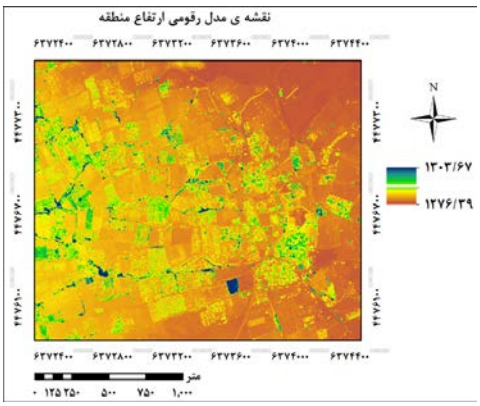
| شماره نقطه | Error in X (cm) | Error in Y (cm) |
|---|---|---|
| ۱۰۰۰۰۰۳۴۷ | ۱۵/۵ | ۱۲/۱ |
| ۷۰۰۰۲۰۳۳ | ۱۴ | ۱۷,۸ |
| ۶۰۰۰۵۲۰۶ | ۱۷/۲ | ۱۵/۹ |
| ۸۰۰۰۱۲۹۷ | ۱۸ | ۱۳,۷ |
| RMSE | ۱۶/۲۴ | ۱۵/۰۳ |

خطای کل برابر با ۲۲/۱۲ سانتی‌متر ارزیابی شده است. موقعیت دوربین در لحظه تصویربرداری از منطقه برای ۴ تصویر مورد نظر به صورت شکل (۹) است.




**شکل (۹): موقعیت پرنده در لحظه تصویربرداری از منطقه**

پس از توجیه مطلق، عملیات تناظریابی برای کل تصاویر انجام شده و ابر نقطه متراکم ایجاد شده است. درنهایت با استفاده از درونیابی به روش مثلث‌بندی نامنظم مدل رقومی سطح ایجاد می‌گردد. DSM تولید شده به‌صورت شکل (۱۰) نشان داده شده است.



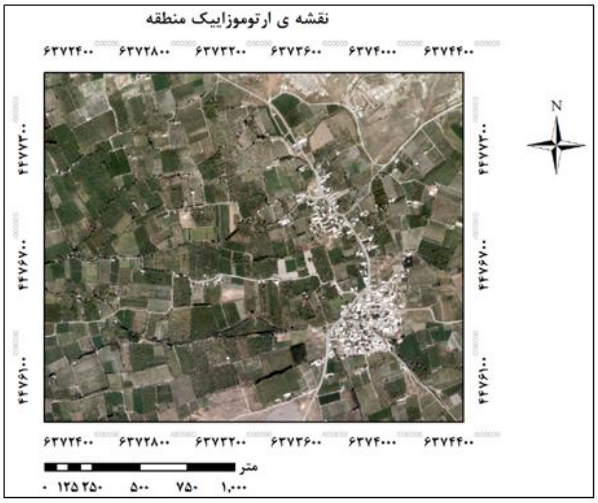

شکل ۱۰ : DEM تولید شده با استفاده از نرم افزار Agisoft Photo Scan

دقت مدل رقومی سطح ایجاد شده با استفاده از نقاط چک زمینی ارزیابی شده است که نتایج حاصل از ارزیابی دقت به صورت جدول (۵) نشان داده شده است .

جدول (۵): نتایج حاصل از ارزیابی دقت DSM تولید شده

| شماره نقاط | ۸۰۰۰۰۱۳۸۴ | ۶۰۰۰۰۵۲۰۶ | ۸۰۰۰۰۱۳۰۵ | ۹۰۰۰۰۶۵۵ |
|---|---|---|---|---|
| ارتفاع نقاط | ۱۲۷۸/۸۱ | ۱۲۸۲/۶۶ | ۱۲۸۱/۱۴ | ۱۲۷۹/۰۸ |
| ارتفاع مدل | ۱۲۷۸/۶۰ | ۱۲۸۲/۵۱ | ۱۲۸۱/۳ | ۱۲۷۸/۹۰ |
| Alt.err(m) | ۰/۲۱۷ | ۰/۱۶ | ۰/۲۰۸ | ۰/۱۸ |

دقت ارتفاعی مدل رقومی سطح ایجاد شده ۱۹/۲۵cm ارزیابی شده است. درنهایت با استفاده از DSM نهایی تولید شده، تصویر ارتوموزاییک منطقه ایجاد شده است. ارتوموزاییک تولید شده در شکل (۱۱) نشان داده شده است.




شکل (۱۰): تصویر ارتوموزاییک ایجاد شده از تصاویر پرنده بدون سرنشین

## نتیجه‌گیری

به طور کلی DSM نمایش سه بعدی از سطح زمین به همراه دیگر عوارض طبیعی و انسان ساخت است. کاربردهای مختلف در زمینه‌های مختلف از جمله پروژه‌های عمرانی، مدیریت بحران، برنامه‌ریزی شهری و منابع طبیعی و غیره دارد. تکنیک-های مختلفی ازجمله روش‌های فتوگرامتری، سنجش از دور ماهواره‌ای، نقشه برداری زمینی و لیدار برای تولید نقاط بهینه-ی مورد استفاده برای تولید DSM وجود دارد. با توجه به

شرایط مختلف مانند وسعت منطقه، دقت و کیفیت نهایی مورد نظر، تجهیزات و امکانات موجود روش مناسب برای تهیه DSM انتخاب می‌گردد. هدف از این پژوهش ارزیابی کارایی تصاویر پرنده‌های بدون سرنشین و تکنیک‌های علم بینایی کامپیوتر برای تولید مدل رقومی ارتفاع با وضوح بالا است برای این منظور از چهار تصویر پرنده بدون سرنشین و بسته نرم افزاری Agisoft PhotoScan برای پردازش تصاویر و برای ارزیابی دقت از نقاط کنترل زمینی استفاده شده است. تعداد ۵۸۵۳ نقطه گره‌ای به صورت اتوماتیک توسط عملگر SIFT استخراج و تصاویر با دقت مسطحاتی ۱۲/۲۱ سانتی‌متر زمین مرجع شدند. سپس با تولید میلیون‌ها نقطه و مثلث‌بندی نامنظم، مدل رقومی ارتفاعی با دقت ارتفاعی ۱۹/۲۵ سانتی‌متر تولید شد. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌هد که پهبادها، پلت فرم‌هایی قابل اعتماد برای تولید محصولات فتوگرامتری با وضوح بالا همچون DSM هستند ولی برای پردازش تصاویر بدست آمده از پهباد بهتر است از الگوریتم‌های بینایی کامپیوتر استفاده گردد و بدلیل هندسه ناپایدار تصویربرداری و متغیر بودن پارامترهای مقیاس، انتقال و دوران برای تصاویر، تلفیق الگوریتم SIFT با تکنیک‌های بینایی کامپیوتر در پردازش تصاویر پهباد برای استخراج نقاط گره‌ای و توجیه دقیق تصاویر ضروری است.زهمچنین تکنیک‌های تطبیق استریو متراکم، به تطبیق دقیق تصاویر و درنتیجه تولید ابرنقطه متراکم کمک می‌کنند.

محدودیت‌ها

- وابستگی به اطلاعات ارائه شده توسط منبع خارجی منجر به عدم کفایت داده و ناسازگاری داده‌ها می‌شود.
- ویرایش ابر نقاط، به دلیل عدم وجود سیستم‌های با نرم افزار و سخت افزار سطح بالا به سختی انجام می‌شود.
- استفاده از بسته‌های نرم افزاری تجاری، تغییرات در پارامترهای ورودی را محدود می‌کنند.
- تکنیک‌های شی‌گرا (به عنوان مثال: استفاده از خواص هندسی اشیاء) به منظور افزایش دقت و کیفیت DSM وجود ندارد.
- محاسبات و پردازش تصاویر پهباد برای تولید محصولات با رزولوشن بالا هزینه بالایی دارد.

**پیشنهادات**

- برای پردازش تصاویر از سیستم‌های سخت افزاری و نرم افزاری با کیفیت بالا استفاده شود. سیستم‌های با RAM>16GB ، Graphics>4GB و Hard disk>1TB برای پردازش تعداد زیادی از تصاویر پهپاد از طریق الگوریتم‌های مدرن نیاز است.
- از نقاط چک با توزیع مناسب و دقت اندازه‌گیری بالا برای ارزیابی دقت و صحت محصولات فتوگرامتری استفاده شود.
- توسعه ابزارهای منبع باز به ویژه برای پردازش تصویر پهپاد می‌تواند بسیار مفید باشد و مورد بررسی قرار گیرد.
- بدلیل ضعف الگوریتم‌های استخراج و تطبیق نقاط مشترک برای مناطق با پوشش گیاهی و درختان انبوه، استفاده از الگوریتم‌های تناظریابی بهینه می‌تواند بیشتر مورد بررسی قرار گیرد.
- استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل شی‌گرا برای افزایش دقت نهایی DSM تولید شده با استفاده از تصاویر پرنده‌های بدون سرنشین می‌تواند به‌عنوان یک پارامتر موثر بر کیفیت مورد بررسی قرار گیرد.

## منابع


Axelsson, P. (1999). Processing of laser scanner data—algorithms and applications. Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54(2), 138-147.

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

Carnie, R., Walker, R., & Corke, P. (2006). Image processing algorithms for UAV" sense and avoid". Paper presented at the Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006. Proceedings 2006 IEEE International Conference on.

Chao-jian, X., & San-xue, G. (2011). Image target identification of UAV based on SIFT. Procedia Engineering, 15, 3205-3209.

Schreier, G., & Strobl, P. ,.Hausamann, D., Zirnig, W (2005). Monitoring of gas pipelines–a civil UAV application. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 77(5), 352-360.

Hudzietz, B. P., & Saripalli, S. (2011). An experimental evaluation of 3D terrain mapping with an autonomous helicopter. Proc. Int. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVIII-1/C22, 137-142.

Hunt, E. R., Hively, W. D., Fujikawa, S. J., Linden, D. S., Daughtry, C. S., & McCarty, G. W. (2010). NIR-green-blue digital photographs from Acquisition of unmanned aircraft for crop monitoring. Remote Sensing, 2(1), 290-305.

Kim, J.-H., Jeong, J.-W., Han, D.-I., Heo, J.-W., Cho, K.-R., & Lee, D.-W. (2012). Fixed-wing UAV's image-based target detection and tracking using embedded processor. The Journal of Advanced Navigation Technology, 16(6), 910-919.

Lee, B.-J., Yun, S.-C., Lee, Y.-J., & Sung, S.-K. (2012). Implementation of Virtual Instrumentation based Realtime Vision Guided Autopilot System and Onboard Flight Test using Rotory UAV. Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, 18(9), 878-886.

Lee, J.-N., & Kwak, K.-C. (2014). A trends analysis of image processing in unmanned aerial vehicle. International Journal of Computer, Information Science and Engineering, 8(2), 2-5.

Lingua, A., Marenchino, D., & Nex, F. (2009). Performance analysis of the SIFT operator for automatic feature extraction and matching in photogrammetric applications. Sensors, 9(5), 3745-3766.

Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. International journal of computer vision, 60(2), 91-110.

Luhmann, T., & Altrogge, G. (1986). Interest-operator for image matching. IAPRS-International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 26, 3.

Moranduzzo, T., & Melgani, F. (2014). Automatic car counting method for unmanned aerial vehicle images. Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 52(3), 1635-1647.

Nagai, M., Chen, T., Shibasaki, R., Kumagai, H., & Ahmed, A. (2009). UAV-borne 3-D mapping system by multisensor integration. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 47(3), 701-708.

Nebiker, S., Annen, A., Scherrer, M., & Oesch, D. (2008). A light-weight multispectral sensor for micro UAV—Opportunities for very high resolution airborne remote sensing. The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 37(B1), 1193-1199.

Rathinam, S., Almeida, P., Kim, Z., Jackson, S., Tinka, A., Grossman, W., & Sengupta, R. (2007). Autonomous searching and tracking of a river using an UAV. Paper presented at the American Control Conference, 2007. ACC'07.

Sheng, Y., Sahli, S., and Ouyang, Y. (2013). Object detection: from optical correlator to intelligent recognition surveillance system. http://http://spie.org/x103985.xml. Lastaccessed: 2014-05-15.

Wang, J., Shi, F., Zhang, J., & Liu, Y. (2008). A new calibration model of camera lens distortion. Pattern Recognition, 41(2), 607-615.

Qu, X., Ma, S., Yang, Z., & Kong, L. (2012). ,.Zhang, S A dense stereo matching algorithm based on triangulation. J. Comput. Inform. Syst, 8(1), 283-292.

# Survey the Performance of UAV Images to Generation a Digital Surface Model

-------[9], ----------[10]*, ----------[11], ---------[12]

Received: ---------- Accepted: ----------

**Abstract**

Recently, due to the predominance in terms of the time and the cost, the drones are dramatically developing and their applications getting more widespread in various fields such as earth science, natural resources, environmental studies and urban planning. However, applying such drones suffers from several disadvantages, inter alia, the imaging unstable geometry, not using metric cameras as well as images' variable parameters. In this study, computer vision science techniques for processing prepared images of the drone were precisely investigated and the performance of these images and techniques for producing a surface Elevation model with a high spatial resolution was investigated. Due to mentioned problems for the imaging and the absence of internal and external justifying parameters, the SIFT operator was used in order to extract nodal points in the shared areas of images. The relative and absolute justification of images are performed by using nodal points and land control points, respectively. The cloud of dense points was created through a dense three-dimensional matching algorithm and by using triangulated irregular interpolation methods area digital surfaces are formed. Finally, by using land checkpoints, the accuracy of the georeferencing and the final surface digital model were assessed. 5853 nodal points were automatically extracted by the SIFT operator and images were georeferenced with a surface accuracy of 21/12 cm. Then, by creating millions of points and triangulated irregular network, the height digital model with a height accuracy of 19/25 cm was created. Results of the current study indicate that due to the imaging unstable geometry and variable parameters for images, the combination of the SIFT algorithm with computer vision techniques in processing the UAV images in order to extract nodal points and to precisely justify images, are necessary.

**Key words**: computer vision, matching, SIFT, UAV, DSM

[9]- ----------
[10]*- ----------
[11]- ----------
[12]- ----------

Email@.....

[i] Digital Surface Model
[ii] Geographic Information System
[iii] Unmanned Aerial Vehicle
[iv] Computer Vision
[v] Scale Invariant Feature Transfer
[vi] Structure From Motion
[vii] Bundle Block Adjustment
[viii] Bundle Adjustment
[ix] Triangulated Irregular *Network*