

# دقت و صحت تولید نقشه توپوگرافی در پروژه‌های خطی به روش فتوگرامتری پهپادی

مرتضی حیدری مظفر<sup>۱</sup> رضا ظرافتی جمال<sup>۲</sup>

حسین ترابزاده خراسانی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۲۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۱۰

\*\*\*\*\*

## چکیده

در نقشه‌برداری از محدوده‌های پروژه‌هایی خطی مانند: راه‌ها، کانال‌های انتقال آب، خطوط انتقال نیرو (برق و گاز)، خطوط ریلی و مشابه آن‌ها، شیوه فتوگرامتری پهپادی استفاده می‌شود. فتوگرامتری پهپادی با توجه به هزینه کمتر، قدرت تفکیک مکانی و زمانی بیشتر و انعطاف پذیری در اخذ تصاویر در مقایسه با دیگر روش‌های هوایی و فضایی، جایگزینی مناسب برای نقشه‌برداری به روش‌های مرسوم است. ارزیابی و تضمین دقت برای نقشه‌های توپوگرافی اهمیت زیادی دارد. تعداد و نحوه توزیع نقاط کنترل در سراسر محدوده پروژه و شیوه تصویربرداری بهینه در تولید این نقشه‌ها اثرگذار است. برای دستیابی به حالت بهینه تصویربرداری و بیشترین دقت در تولید نقشه‌های توپوگرافی این نوع پروژه‌ها، اثرات پارامترهای طراحی پرواز، تعداد و نحوه توزیع نقاط کنترل مورد مطالعه قرار گرفت. پردازش تصاویر بدون اطلاعات دقیق مراکز تصویر با نقاط کنترل، پردازش تصاویر با اطلاعات دقیق مراکز تصویر و بدون استفاده از نقاط کنترل و پردازش تصاویر با اطلاعات دقیق مراکز تصویر و نقاط کنترل، در دو حالت پرواز با ارتفاع-ثابت و مقیاس-ثابت مدنظر قرار گرفت. از ۲۵ نقطه‌ای که مختصات دقیق آن‌ها توسط سیستم تعیین موقعیت جهانی به صورت دیفرانسیلی اندازه‌گیری شده بود، ۱۸ نقطه کنترل زمینی و ۷ نقطه چک در نظر گرفته شد. میانگین خطای ارتفاعی کل نقاط در حالت مقیاس-ثابت در سناریوی ۳ دارای کمترین مقدار است. مقدار عددی میانگین خطا در این حالت برای نقاط کنترل برابر ۰/۰۱۰ متر و برای نقاط چک برابر ۰/۰۲۰ متر به دست آمد. دقت مدل‌های رقومی حاصل از ابرنقاط با نمونه‌برداری مجدد ۰/۵ متری نسبت به ابرنقاط ۲ و ۴ متری بیشتر می‌باشد. بیشترین اختلاف از مدل مرجع مربوط به حالتی است که از نقاط کنترل استفاده نشد. در نتیجه استفاده از نقاط کنترل زمینی، تصاویر مقیاس-ثابت و اطلاعات مراکز تصویر در فرآیند پردازش تصاویر جهت تولید نقشه‌های محدوده‌های خطی بهترین دقت ارتفاعی را نسبت به سایر حالات فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پروژه‌های خطی، پهپاد، فتوگرامتری، نقاط کنترل و چک

\*\*\*\*\*

۱- استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان (نویسنده مسئول) heidarimozaffar@gmail.com  
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان r.zerafatyjamal@eng.basu.ac.ir  
۳- استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان torabzadeh@basu.ac.ir

## ۱- مقدمه

نقشه‌برداری در احداث بزرگ‌راه‌ها، بررسی خطوط انتقال نیرو، گاز و آب و مشابه آن قابل اجرا می‌باشد. این کاربرد باعث جایگزینی پهپادها برای فتوگرامتری هوایی مرسوم شده است (Fernandez-Hernandez et al, 2014; Ferrer-Gonzalez et al, 2020; Tan and Li, 2019). با توجه به قابلیت‌های پهپاد در اخذ تصویر و جمع‌آوری اطلاعات مکانی، این روش مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. این در حالی است که اخذ داده‌های پهپاد به‌ویژه در نقشه‌برداری پروژه‌های خطی با چالش‌هایی مواجه است. گرچه امکان دستیابی به موقعیت دقیق نقاط تصویربرداری نیاز به نقاط کنترل زمینی را در روش فتوگرامتری پهپادی کاهش داده است اما ارزیابی تأثیر حداقل تعداد نقاط کنترل مورد نیاز و شیوه تصویربرداری در پروژه‌های خطی بررسی نشده است. ارزیابی دقت و صحت نقشه توپوگرافی تولیدشده با تصاویر پهپاد از اهمیت بسیاری برخوردار است. در این مقاله، به منظور آگاهی از بهینه‌ترین حالت ممکن برای تصویربرداری در دستیابی به بهترین نتایج این روش، شرایط مختلف عملیات میدانی برای پرواز با حالت ارتفاع-ثابت (ارتفاع پرنده نسبت به نقطه پرواز) و مقیاس-ثابت مورد بررسی دقیق قرار گرفته است. هدف این مقاله، بررسی قابلیت تصویربرداری پهپادی از محدوده یک پروژه خطی و ارزیابی تأثیر شیوه تصویربرداری پهپاد در دقت نقشه‌های تولیدی است. در این راستا، ارزیابی صحت و دقت مسطحاتی و ارتفاعی نقشه‌های قابل تولید در این نوع پروژه‌ها مدنظر قرار گرفت.

از اواخر سال‌های ۱۸۰۰ میلادی، فتوگرامتری به‌عنوان روشی برای تولید نقشه‌های توپوگرافی پذیرفته شده است (Wolf, 17 Dec. 2007). در پژوهشی عملکرد پهپاد چندموتوره به‌منظور تولید نقشه مورد نیاز برای طراحی جاده در یک ارتفاع خاص بررسی شده است. مطالعه آنان شامل چهار مرحله مطالعه مقدماتی، جمع‌آوری داده‌ها، پردازش داده‌ها و تجزیه و تحلیل آن‌ها بوده است. آنان نشان دادند که فتوگرامتری پهپادی می‌تواند برای نقشه‌برداری بزرگ‌مقیاس، در بازه کوتاه‌مدت در طول پروژه مورد استفاده قرار گیرد.

در سال‌های اخیر، پرنده‌های هدایت‌پذیر از دور (پهپادها) با نصب تجهیزاتی همچون دوربین‌های غیرمتریک و حمل سنجنده‌های مختلف به‌عنوان یک راه‌حل محبوب برای دستیابی به برخی اهداف نقشه‌برداری مطرح و به‌کار گرفته می‌شوند. این فناوری قابلیت انجام امور مهندسی همچون فتوگرامتری را که نیازمند درک کاملی از توپوگرافی می‌باشد داراست (Colomina and Molina, 2014; Yang et al, 2022).

تولید محصولات ضروری در پروژه‌های خطی مانند تصاویر قائم یا مدل‌های سطحی رقومی امری است که در فتوگرامتری پهپادی محقق شده است. پهپادها توانایی اخذ تصاویر مناسب، انطباق با مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف، حمل سنجنده‌های مختلف، هزینه عملیاتی پایین‌تر و همچنین قابلیت به‌کارگیری در مناطق غیرقابل دسترس و خطرناک را دارا هستند (Cevik et al, 2013; Francioni et al, 2019; Hugenholtz et al, 2013). در نقشه‌برداری با جمع‌آوری اطلاعات سه‌بعدی دقیق از سطح زمین، نقشه تهیه می‌شود. روش‌های تهیه نقشه‌های توپوگرافی به‌طور معمول شامل فتوگرامتری هوایی، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌برداری زمینی یا استفاده از تکنولوژی لیدار می‌باشد (Howard et al, 2018; Kim et al, 2017; Rock et al, 2011; Sankarasrinivasan et al, 2015; Zhang et al, 2008). اما به دلیل مشکلاتی از قبیل: هزینه، دسترسی به منطقه، وسعت محدود، زمان انجام پروژه، استفاده از تکنیک فتوگرامتری پهپادی ترجیح داده می‌شود (Ahmed and Hasan et al, 2014; Mahmud, 2022; Nex and Remondino, 2014).

فناوری فتوگرامتری پهپادی به‌طور گسترده در بررسی‌های توپوگرافی، نظارت بر محیط زیست، استخراج اطلاعات پوشش گیاهی، کشاورزی، مخاطرات طبیعی، میراث فرهنگی، برنامه‌ریزی شهری، تهیه نقشه در پروژه‌های خطی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد (Agudo et al, 2018; Giordan et al, 2017; Remondino et al, 2011; Tsouros et al, 2019). یکی از زمینه‌های پرکاربرد برای پهپادها، نقشه‌برداری محدوده‌های مربوط به پروژه‌های خطی است. این نوع

فتوگرامتری پهپادی انجام شده است. تعیین تعداد و نحوه توزیع نقاط کنترل زمینی به نحوی که دقت در یک منطقه راهرویی تأمین شود، صورت گرفته است (Aguera-Vega et al, 2017; Tahar, 2013). تعداد نقاط کنترل در سرشکنی دسته اشعه و توزیع آن‌ها، در حالات مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. آنان برای ارزیابی تأثیر تعداد و توزیع نقاط کنترل در دقت پروژه‌های خطی فتوگرامتری، ۱۳ حالت مختلف طراحی کردند. در نهایت پروژه با ۹ و ۱۱ نقطه به صورت متناوب در هر دو طرف جاده با الگوی زیگزاک و همچنین یک جفت نقطه در هر انتهای مسیر، بهترین نتیجه را از نظر تعادل دقت و عملیات میدانی به دست آورده است. جذر میانگین مربعات خطاها به ترتیب ۰/۰۲۹ و ۰/۰۲۸ متر برای خطای مسطحاتی و ۰/۰۵۷ و ۰/۰۵۵ متر برای خطای ارتفاعی در این دو حالت به دست آمده است (Ferrer-Gonzalez et al, 2020). دقت عملکرد فتوگرامتری پهپادی به عنوان تابعی از تعداد و موقعیت نقاط کنترل زمینی، در سال ۲۰۱۸ مورد ارزیابی قرار گرفته است. زمین مرجع نمودن و کیفیت هندسی حاصل از این روش، با محاسبه دقت و به کارگیری ترکیب‌های چندگانه نقاط کنترل زمینی، توسط آنان مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه، پروژه شامل ۲۵۰۰ عکس و ۱۰۲ نقطه کنترل زمینی، که مساحتی به وسعت ۱۲۰۰ هکتار را پوشش می‌دهد، مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج تحقیق آنان نشان می‌دهد که اگر تعداد کمی از نقاط کنترل زمینی استفاده شود، مقدار جذر مربع میانگین خطا در نقاط چک حدود ۵ برابر میانگین ابعاد زمینی یک پیکسل در پروژه خواهد بود. با معرفی تعداد بیشتری از نقاط کنترل زمینی (بیش از ۲ نقطه کنترل در هر ۱۰۰ عکس) مقدار جذر مربع میانگین خطا به مقدار تقریباً دو برابر میانگین ابعاد زمینی یک پیکسل می‌رسد. مشابه فتوگرامتری کلاسیک، خطای مؤلفه ارتفاعی ۲/۵ برابر خطای مؤلفه‌های مسطحاتی خواهد بود. این مطالعه اثبات می‌کند که نقاط کنترل زمینی باید به‌طور مساوی در سراسر منطقه مورد مطالعه (به‌طور ایده‌آل در حالت یک

پس از انجام آزمایش‌های مختلف، آنان به این نتیجه رسیدند که این نوع فتوگرامتری برای استخراج راه با دقت اطمینان قابل قبول استفاده شود (Zulkipli and Tahar, 2018). در مطالعه آقای مارتینز و همکارانش (۲۰۱۸)، ارزیابی دقت نقشه‌برداری فتوگرامتری پهپادی براساس تغییر نقاط کنترل زمینی صورت گرفته است. آنان تأثیر تعداد و حالات مختلف توزیع نقاط کنترل برای بهینه‌سازی محصولات حاصل از فتوگرامتری پهپاد را مدنظر قرار داده‌اند. یکی از زمان‌برترین و محدودکننده‌ترین کارها از نظر دسترسی به منطقه، تعیین موقعیت نقاط کنترل است. بهترین نتایج برای دقت‌ها با در نظر گرفتن نقاط کنترل در اطراف محدوده هدف نقشه‌برداری به دست می‌آید. همچنین انتخاب نقاط کنترل در درون محدوده با توزیع مناسب برای بهینه‌سازی دقت ارتفاعی ضروری است. به این ترتیب خطای کل به حداقل می‌رسد. نتایج تحقیق آنان نشان می‌دهد، نقاط کنترل زمینی بایستی در پیرامون محدوده نقشه‌برداری برای کاهش خطاهای مسطحاتی انتخاب شوند. همچنین آنان توصیه کردند که یک توزیع طبقه‌بندی شده درون محدوده با تراکم حداقل ۱ نقطه کنترل در هر هکتار ایجاد شود تا خطاهای ارتفاعی نیز به حداقل ممکن برسد. ترکیب این دو توزیع کل خطای به دست آمده را به کمترین مقدار خود می‌رساند. در پژوهش دیگری (Rehak and Skaloud, 2015)، استفاده از پهپاد بال ثابت برای نقشه‌برداری محدوده‌های خطی مدنظر قرار گرفته است. آنان مطالعات موردی برای نقشه‌برداری دقیق بدون نقاط کنترل زمینی در حالت محدوده‌های بلوکی و خطی انجام دادند. آنان سیستمی از قبل کالیبره شده همراه با مشاهدات دقیق وضعیت و موقعیت پهپاد در حالتی که از نقاط کنترل زمینی استفاده نمی‌کرد را مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. آنان دقت‌ها را با مدل رقومی زمین ارزیابی کرده و نشان دادند که دستیابی به دقت نقشه‌برداری دقیق امکان‌پذیر بوده اما برای تعیین نقشه راهرویی به کنترل دقیق موقعیت و وضعیت تصویربرداری نیاز است. تحقیقات دیگری نیز، با هدف ارزیابی تولید نقشه با روش

## ۲- داده و روش:

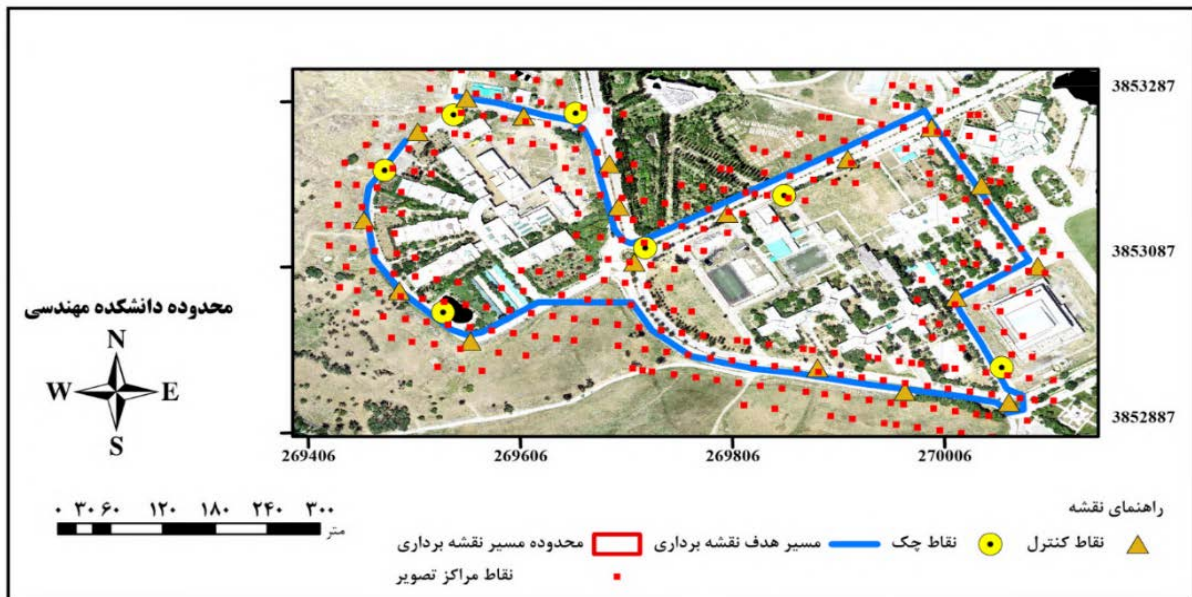
محوطه دانشکده مهندسی دانشگاه بوعلی سینا واقع در شهر همدان، به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شد. این محدوده در دامنه کوه الوند و دارای توپوگرافی غیرمسطح است. اختلاف ارتفاع در مسیری به عرض ۱۰۰ متر که مورد آزمایش قرار گرفت، تقریباً ۲۵ متر است. این مسیر پیرامون جاده‌ای که در داخل محوطه دانشگاه وجود دارد، انتخاب شد. در طول مسیر، شرایط عوارض مختلف توپوگرافی، حالت شهری و نیمه‌شهری نیز به نحوی برقرار است. با توجه به هدف مقاله، محدودیت‌ها، شرایط و ویژگی‌های مدنظر در آن، تارگت‌های لازم نصب و پرواز پهپاد در حالات مختلفی انجام شد. تعداد و موقعیت قرارگیری نقاط کنترل زمینی و نقاط چک در محدوده مدنظر برای زمین مرجع نمودن تصاویر و ارزیابی دقت در مراحل مختلف انجام آزمون‌ها، در نگاره ۱، نشان داده شده است.

## ۲-۱- آماده‌سازی تارگت زمینی و تعیین مختصات نقاط کنترل زمینی

طراحی تارگت عامل مهمی در کاهش خطای اندازه‌گیری مختصات عکسی است. بنابراین شکل و اندازه تارگت‌ها باید به صورت دقیق انتخاب شود. در تعیین اندازه تارگت‌ها، هندسه عکس، فاصله‌ی دوربین تا عارضه، قدرت تفکیک عکس باید مدنظر قرار بگیرد. برای طراحی تارگت زمینی، استانداردهای موجود سازمان نقشه‌برداری و همچنین انجام محاسبات به منظور تعیین اندازه، شکل، جنس و رنگ‌های مورد استفاده مدنظر قرار گرفت. پس از آماده‌سازی تارگت‌ها، عملیات زمینی برای نصب تارگت‌ها در موقعیت‌های از پیش تعریف شده انجام شد. مطابق نگاره ۲، الگوی نقطه کنترل شامل یک صفحه به ابعاد  $10 \times 10$  سانتی‌متر از جنس ورق گالوانیزه می‌باشد که روی آن ۴ مربع کوچک  $4 \times 4$  سانتی‌متر در نظر گرفته شد. همچنین یک دایره به شعاع ۲۰ سانتی‌متر به مرکزیت تارگت نصب شده توسط شابلون طراحی و رنگ‌آمیزی شد.

شبکه مثلث‌بندی) توزیع شوند. در این صورت حداکثر فاصله هر نقطه کنترل تا سایر نقاط کنترل به حداقل ممکن می‌رسد. نتایج آنان نشان می‌دهد برای تعداد معینی از نقاط کنترل، دقت به دست آمده با استفاده از یک توزیع بهینه، دو برابر بهتر از حالتی است که نقاط کنترل توزیع نامناسبی داشته باشند. در نهایت، در پروژه‌های با وسعت زیاد، تنها با تعداد متوسط و یا زیاد نقاط کنترل (یعنی بیشتر از ۳ نقطه کنترل در هر ۱۰۰ عکس) می‌توان به دقت مطلوبی رسید. حتی معرفی تصاویر مایل به مجموعه داده قائم یا استفاده از هم‌پوشانی‌های زیاد یا نوارهای متقاطع ممکن است در صورت استفاده از تعداد ناکافی نقاط کنترل به دقت قابل قبولی نرسد (Sanz-Ablanedo et al, 2018). بررسی تأثیر تعداد و موقعیت قرارگیری نقاط کنترل زمینی در دقت به دست آمده برای نقشه تهیه شده به روش فتوگرامتری پهپاد منبنا توسط عباس پور و همکارانش (۲۰۱۸)، انجام شده است. آنان برای توجیه مطلق و همچنین بهینه‌سازی پارامترهای توجیه نسبی مدل با استفاده از سه مجموعه نقاط کنترل با تعداد و پراکندگی مختلف، به صورت جداگانه بررسی‌های خود را انجام دادند. با در نظر گرفتن نقاط کنترل به تعداد محدود در گوشه‌های بلوک فتوگرامتری می‌توان از لحاظ مسطحاتی به دقت مناسبی رسید. اما دقت ارتفاعی به تغییرات ارتفاع در سطح بلوک وابسته است و نمی‌توان با این روش به دقت ارتفاعی قابل قبولی رسید و در صورت تهیه نقشه توپوگرافی، بایستی نقاط کنترل کامل یا ارتفاعی در سطح و مرکز بلوک نیز در نظر گرفته شوند.

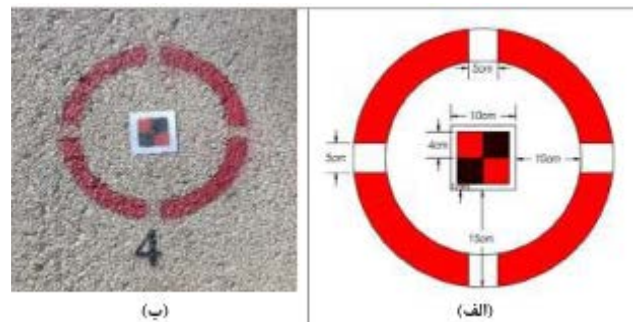
با وجود انجام تحقیقات گوناگون در این زمینه، تأثیر شیوه تصویربرداری بر دقت نقشه‌های توپوگرافی به صورت مستقیم مورد بررسی و آزمون قرار نگرفته است. در این مقاله، شرایط آزمایش شیوه‌های تصویربرداری فتوگرامتری پهپادی در دو حالت ارتفاع- ثابت و مقیاس- ثابت در نظر گرفته شد. همچنین، تأثیر استفاده از تجهیزات تعیین موقعیت دقیق مراکز تصویر بر کاهش تعداد نقاط کنترل مورد نیاز نیز مورد بررسی قرار گرفته است.



نگاره ۱: منطقه مورد مطالعه

۲-۲- برنامه‌ریزی و آماده‌سازی پرواز  
 پس از آماده‌سازی شرایط تصویربرداری، از پهپاد فانتوم ۴ پرو مجهز به ماژول پس‌پردازشی حرکتی<sup>۲</sup> (مدل AGNSS L1/L2 محصول شرکت TEOKIT) برای اخذ تصاویر منطقه استفاده شد. دوربین این پهپاد DJI FC6310 می‌باشد که مشخصات اصلی آن به همراه اطلاعات کالیبراسیون، در جدول ۱ ارائه شده است. طراحی پرواز در دو حالت کلی پرواز با ارتفاع ثابت و مقیاس ثابت انجام شد. در حالت ارتفاع ثابت، موقعیت ارتفاعی تصویربرداری نسبت به نقطه شروع پرواز در یک ارتفاع ثابت انتخاب می‌شود. در حالت مقیاس ثابت، با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی<sup>۳</sup> که از نقشه ۱:۲۵۰۰۰ منطقه تولید شده بود، ارتفاع پرنده در هر نقطه تصویربرداری متغییر بوده و به نحوی مقیاس تصاویر ثابت نگه داشته می‌شود. پارامترهای ارتفاع از نقطه پرواز، پوشش‌های طولی و عرضی تصاویر، تعداد تصاویر، محوط پروازی، تعداد پرواز لازم برای پوشش وسعت منطقه، محل فرود و برخاست نیز تعیین شد. جدول ۲، مشخصات کلی پروازها را نشان می‌دهد.

در این مقاله، از ۱۸ نقطه کنترل و ۷ نقطه چک برای بررسی دقت و صحت استفاده شد. مختصات دقیق نقاط کنترل و چک به روش RTK<sup>۱</sup> و دریافت تصحیحات از سامانه شمیم اداره ثبت اندازه‌گیری شد. برای کنترل مختصات ارتفاعی نقاط از روش ترازیبی مستقیم هندسی نیز استفاده شد. میزان دقت و خطای موجود در اندازه‌گیری‌های ارتفاعی با توجه به شیوه ترازیبی مدنظر قرار گرفت. برای ارزیابی دقت نتایج، میزان خطا و صحت کار انجام شده عملیات ترازیبی به صورت رفت و برگشتی میان تمامی نقاط کنترل و چک انجام شد.



نگاره ۲: (الف) الگوی طراحی شده و (ب) الگوی ایجاد شده در محل، به عنوان نقطه کنترل و چک زمینی از نمای نزدیک

2- Post-Processing Kinematic (PPK)

3- Digital Elevation Model (DEM)

1- Real Time Kinematic

جدول ۱: مشخصات اصلی و نتایج حاصل از کالیبراسیون دوربین پهپاد مورد استفاده

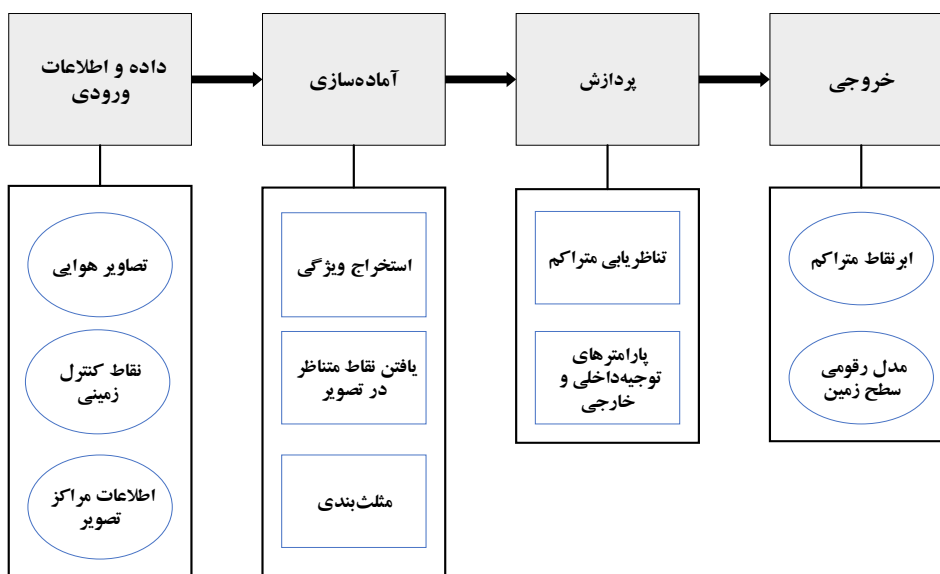
Sensor size: 13.2 mm		Model type: Perspective			Image dimensions: 5472x3078 pixels				
Calibration Results									
	Focal Length [mm]	Focal Length Equivalent 35 mm [mm]	Principal Point X [pixels]	Principal Point Y [pixels]	K1	K2	K3	P1	P2
Previous Values	8.73227	23.8153	2755.02	1540.91	-0.00246793	-0.0095914	0.0101246	0.00292394	-0.000276685
Optimized Values	8.7322	23.8151	2755.26	1541.29	-0.00278373	-0.00973929	0.0116118	0.002951	-0.000282148
Difference Previous / Optimized	-7.00E-05	-0.0002	0.23	0.38	-0.0003158	-0.00014789	0.0014872	2.71E-05	-5.46E-06

جدول ۲: مشخصات حالات مختلف تصویربرداری

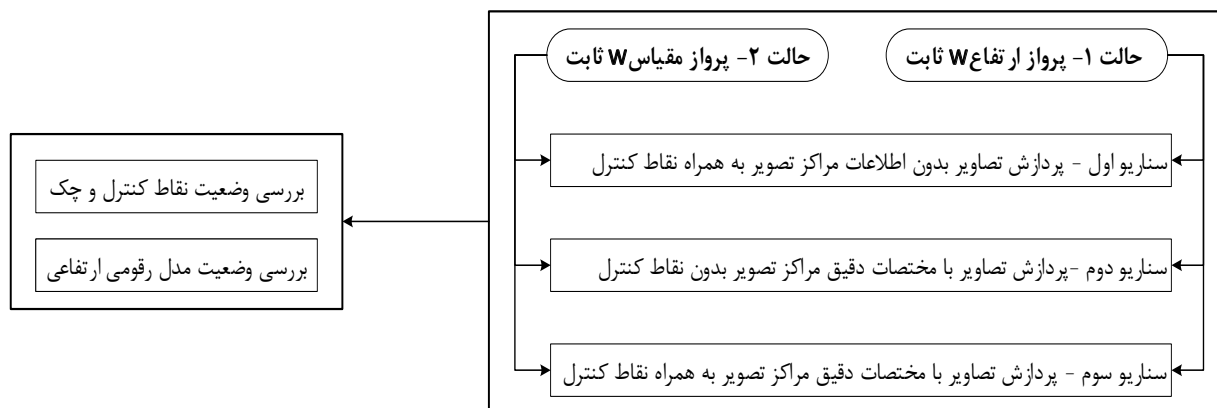
تعداد پرواز	تعداد تصاویر	پوشش طولی-عرضی*	ارتفاع از سطح زمین در هر تصویر	ارتفاع از نقطه شروع (متر)	پارامتر / حالت پروازی
۳	۳۲۶	٪۷۷ - ٪۷۷	متغیر	۸۰	ارتفاع - ثابت
۳	۲۸۹		تقریباً ثابت و برابر ۸۰ متر	۸۰	مقیاس - ثابت

\* با توجه به عرض محدوده مسیر انتخابی و ارتفاع پرواز برای پوشش بهتر و مناسب و همچنین مدیریت زمان پروازها این مقادیر انتخاب شدند.

۲-۳- پردازش تصاویر و تولید نقشه: مراحل کلی اخذ تصویر قائم و ایجاد مدل سه بعدی زمین در زمینه فرآیند تولید تصویر قائم با استفاده از تصاویر با استفاده از الگوریتم‌های استخراج سطح، اطلاعات ناوبری اخذ شده در ارتفاع پایین، تحقیقات بسیاری انجام شده است. تصاویر و نقاط کنترل زمینی در نگاره ۳ نشان داده شده است.



نگاره ۳: فرآیند کلی پردازش تصاویر و تولید ایرنقاط متراکم به منظور تهیه نقشه



نگاره ۴: شرایط و حالات مختلف مورد بررسی برای ارزیابی دقت و صحت فتوگرامتری پهبادی

مثلث‌بندی هوایی نیز در نظر گرفته شدند. نگاره ۴، شرایط و حالات مختلف مورد بررسی را با توجه به سه سناریوی پردازشی و شرایط پروازی در این مقاله نشان می‌دهد. برای ارزیابی تأثیر شیوه طراحی پرواز بر مؤلفه دقت، استفاده یا عدم استفاده از نقاط کنترل، تأثیر مختصات دقیق مراکز تصویر و نحوه پرواز پهباد مورد بررسی قرار گرفت.

برای ارزیابی میزان دقت و صحت شیوه فتوگرامتری پهبادی در تولید نقشه‌های توپوگرافی مربوط به پروژه‌های خطی، معیار جزر میانگین مربعات خطاها<sup>۱</sup> برای نقاط کنترل و چک استفاده می‌شود. علاوه بر محاسبه این معیار برای نقاط کنترل و چک، مدل رقومی سطح زمین تهیه شده نیز مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. با توجه به مطالعات گذشته (Aguera-Vega et al, 2017) و در بررسی مدل‌های رقومی تولید شده، مدل به دست آمده از دقیق‌ترین حالت به عنوان مدل مرجع در نظر گرفته شد.

این مدل از نظر دقت نقاط کنترل و چک دارای کمترین خطا بوده و داده‌های موجود در این حالت دقیق‌ترین مدل را ارائه می‌دهد. میزان اختلاف مدل‌ها با مدل مرجع به عنوان معیار دیگر برای مقایسه و ارزیابی مدنظر قرار گرفت.

با استفاده از اطلاعات مراکز تصویر و نقاط کنترل زمینی در پروسه پردازش تصاویر، ابرنقاط مترکم از محدوده مورد مطالعه تولید می‌شود. سه سناریو مختلف برای هر کدام از حالت‌های پروازی، در پردازش تصاویر در نظر گرفته شد:

**۱- پردازش تصاویر بدون اطلاعات مراکز تصویر به همراه نقاط کنترل:** در این سناریو پردازش تصاویر خام اولیه بدون استفاده از اطلاعات دقیق مراکز تصویر صورت گرفت. نقاط کنترل و چک زمینی نیز در فرآیند پردازش، برای تولید ابرنقاط مترکم، مورد استفاده قرار گرفتند. نقاط کنترل و چک مشاهداتی در هر تصویر در پردازش‌ها تعریف و مثلث‌بندی هوایی انجام شد.

**۲- پردازش تصاویر با مختصات دقیق مراکز تصویر بدون نقاط کنترل:** در این سناریو پردازش تصاویری که موقعیت مراکز آن‌ها با ماژول پس‌پردازشی حرکتی به دست آمده بود، انجام شد. به عبارتی، برای مثلث‌بندی، از تصاویر زمین مرجع در پردازش استفاده شد و ارزیابی با نقاط چک صورت گرفت.

**۳- پردازش تصاویر با مختصات دقیق مراکز تصویر به همراه نقاط کنترل:** در این سناریو نیز، از تصاویری که موقعیت مراکز آن‌ها با ماژول پس‌پردازشی حرکتی محاسبه شده بود، استفاده شد. نقاط کنترل و چک در فرآیند

1- Root Mean Square of Errors (RMSE)

### ۳- بحث و یافته‌های تحقیق

مستقیم در بیشتر نقاط اختلاف داشته و در بازه‌ی (۰/۰۳۷) - (۰/۰۰۲) متر متغیر است. بیشترین مقدار اختلاف با اندازه ۰/۰۳۷ متر مربوط به نقاط ۱۳ و ۲۱ می‌باشد. این میزان اختلاف می‌تواند ناشی از دلایل گوناگونی همچون خطای اپراتور در قرائت شاخص، خطا در وارد کردن ارتفاع دستگاه GPS، عدم دریافت تصحیحات حین محاسبه مختصات و غیره باشد. دو حالت کلی پرواز با ارتفاع - ثابت و مقیاس - ثابت انجام شد. پس از انجام پردازش و مثلث‌بندی هوایی تصاویر در سه سناریو، قدرمطلق خطاهای به دست آمده در نقاط کنترل در جدول ۴ ارائه شده است.

برای بررسی و ارزیابی نتایج این پژوهش، در حالات مختلف، داده‌های حاصل از پژوهش موردنظر به صورت جداول و نمودارها ارائه شده است. نتایج در مورد بهینه‌ترین شیوه تصویربرداری پهبادی به منظور تولید نقشه توپوگرافی در پروژه‌هایی که به صورت خطی هستند، ارزیابی و مقایسه شد. وضعیت نقاط کنترل و چک در حالت ارتفاع - ثابت و مقیاس - ثابت و سناریوهای مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. همچنین مدل رقومی ارتفاعی به دست آمده در محدوده پروژه خطی نیز بررسی شد.

### ۳-۱- بررسی وضعیت نقاط کنترل و چک

مطابق جدول ۴، در حالت ارتفاع ثابت، در نقاط ۱، ۲، ۳، ۶، ۷، ۱۸ و ۱۹ اندازه خطای ارتفاعی در سناریو ۱ نسبت به سناریو ۳ بیشتر و میزان این اختلاف قابل توجه می‌باشد. در سایر نقاط اندازه خطا در سناریوی ۳ نسبت به سناریوی ۱ بیشتر است. همچنین در دو نقطه ۱۰ و ۲۱ میزان اختلاف خطای ارتفاعی در هر دو سناریوی ۱ و ۳ تقریباً برابر است. با مقایسه نتایج به دست آمده از سناریوهای مختلف و محاسبه میانگین خطا برای نقاط، مشخص شد که

به منظور بررسی میزان دقت و صحت در برآورد مؤلفه‌ی ارتفاعی نقاط زمینی، اختلاف بین ارتفاع نقاط حاصل از گیرنده چندفرکانسه و ترازبندی زمینی محاسبه و در جدول ۳ ارائه شده است.

با توجه به وسعت محدود منطقه و مطابق جدول ۳، مقادیر اختلاف ارتفاع اندازه‌گیری شده بین روش RTK و ترازبندی

جدول ۳: اختلاف بین ارتفاع حاصل از GPS نقاط با میانگین ارتفاع تصحیح شده نقاط حاصل از ترازبندی

شماره نقطه	میانگین ارتفاع تصحیح شده (متر)	ارتفاع GPS (متر)	اختلاف ارتفاع (متر)	شماره نقطه	میانگین ارتفاع تصحیح شده (متر)	ارتفاع GPS (متر)	اختلاف ارتفاع (متر)
۱	۱۸۷۱/۹۶۱	۱۸۷۱/۹۵۵	۰/۰۰۶	۱۶	۱۸۵۹/۹۸۰	۱۸۵۹/۹۴۸	۰/۰۳۲
۲	۱۸۷۱/۲۹۹	۱۸۷۱/۲۹۵	۰/۰۰۴	۱۷	۱۸۶۲/۴۱۳	۱۸۶۲/۳۸۷	۰/۰۲۶
۳	۱۸۶۲/۷۴۱	۱۸۶۲/۷۳۱	۰/۰۱	۱۸	۱۸۶۱/۹۱۶	۱۸۶۱/۹۰۸	۰/۰۰۸
۶	۱۸۶۲/۳۴۹	۱۸۶۲/۳۱۷	۰/۰۳۲	۱۹	۱۸۶۱/۴۸۷	۱۸۶۱/۴۹	-۰/۰۰۲
۷	۱۸۵۹/۹۸۸	۱۸۵۹/۹۵۹	۰/۰۲۹	۲۰	۱۸۶۰/۹۹۸	۱۸۶۰/۹۴۷	۰/۰۲۴
۸	۱۸۵۷/۳۲۱	۱۸۵۷/۲۹۹	۰/۰۲۲	۲۱	۱۸۶۲/۳۷۳	۱۸۶۲/۳۳۶	۰/۰۳۷
۹	۱۸۵۷/۰۷۹	۱۸۵۷/۰۶۲	۰/۰۱۷	۲۲	۱۸۶۳/۳۵۱	۱۸۶۳/۳۲۷	۰/۰۲۴
۱۰	۱۸۵۶/۰۵۶	۱۸۵۶/۰۴۳	۰/۰۱۳	۲۳	۱۸۶۴/۱۹	۱۸۶۴/۱۶۷	۰/۰۲۳
۱۱	۱۸۵۲/۴۷۹	۱۸۵۲/۴۴۶	۰/۰۳۳	۲۴	۱۸۶۶/۴۱۷	۱۸۶۶/۳۸۸	۰/۰۲۹
۱۲	۱۸۵۲/۶۳۹	۱۸۵۲/۶۱	۰/۰۲۹	۲۵	۱۸۶۹/۰۰۴	۱۸۶۸/۹۸۴	۰/۰۰۲
۱۳	۱۸۵۳/۲۸۵	۱۸۵۳/۲۴۸	۰/۰۳۷	۲۶	۱۸۷۲/۰۲۲	۱۸۷۲/۰۱۳	۰/۰۰۹
۱۴	۱۸۵۵/۹۳۳	۱۸۵۵/۹۰۶	۰/۰۲۷	۲۷	۱۸۷۲/۸۵۴۸	۱۸۷۲/۸۵۴	۰/۰۰۰۸
۱۵	۱۸۵۸/۱۲۹	۱۸۵۸/۰۹۸	۰/۰۳۱				



جدول ۴: قدرمطلق خطای مسطحاتی و ارتفاعی نقاط کنترل زمینی (اعداد بر حسب متر)

نقاط	ارتفاع - ثابت						مقیاس - ثابت					
	سناریوی ۱			سناریوی ۳			سناریوی ۱			سناریوی ۳		
	$\Delta z$	$\Delta y$	$\Delta x$	$\Delta z$	$\Delta y$	$\Delta x$	$\Delta z$	$\Delta y$	$\Delta x$	$\Delta z$	$\Delta y$	$\Delta x$
۲	۰.۰۳۱	۰.۰۳۱	۰.۱۲۷	۰.۰۱۷	۰.۰۲۰	۰.۰۴۶	۰.۰۰۷	۰.۰۰۵	۰.۰۰۷	۰.۰۰۱	۰.۰۰۴	۰.۰۰۵
۳	۰.۱۱۴	۰.۰۵۲	۰.۲۴۱	۰.۰۰۲	۰.۰۱۶	۰.۰۲۶	۰.۰۰۵	۰.۰۱۹	۰.۰۱۵	۰.۰۰۵	۰.۰۱۵	۰.۰۰۸
۶	۱.۲۸۰	۰.۳۲۴	۰.۳۹۰	۰.۰۰۴	۰.۰۱۲	۰.۰۲۹	۰.۰۱۴	۰.۰۲۳	۰.۰۰۹	۰.۰۲۹	۰.۰۲۹	۰.۰۲۸
۷	۰.۲۷۱	۰.۰۲۵	۰.۲۰۵	۰.۰۰۴	۰.۰۲۶	۰.۰۰۱	۰.۰۰۲	۰.۰۱۵	۰.۰۱۱	۰.۰۱۰	۰.۰۰۵	۰.۰۰۴
۸	۰.۰۲۶	۰.۰۱۷	۰.۰۸۴	۰.۰۰۱	۰.۰۱۰	۰.۰۲۸	۰.۰۰۱	۰.۰۰۲	۰.۰۱۳	۰.۰۱۹	۰.۰۱۷	۰.۰۰۱
۱۰	۰.۰۲۶	۰.۰۰۹	۰.۰۵۰	۰.۰۰۲	۰.۰۱۵	۰.۰۵۰	۰.۰۰۸	۰.۰۰۲	۰.۰۱۱	۰.۰۲۹	۰.۰۱۱	۰.۰۲۱
۱۱	۰.۰۱۶	۰.۰۰۲	۰.۰۱۵	۰.۰۰۱	۰.۰۱۴	۰.۰۶۶	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱	۰.۰۰۳	۰.۰۱۹	۰.۰۱۰	۰.۰۰۲
۱۲	۰.۰۰۸	۰.۰۰۲	۰.۰۰۴	۰.۰۰۱	۰.۰۱۱	۰.۰۷۵	۰.۰۰۵	۰.۰۰۶	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۴	۰.۰۱۵
۱۳	۰.۰۰۷	۰.۰۰۱	۰.۰۰۵	۰.۰۰۰	۰.۰۰۸	۰.۰۵۰	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۲۲	۰.۰۰۵	۰.۰۱۵
۱۴	۰.۰۰۸	۰.۰۱۱	۰.۰۰۴	۰.۰۰۱	۰.۰۱۲	۰.۰۲۷	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱	۰.۰۱۵	۰.۰۰۴	۰.۰۲۰
۱۶	۰.۰۳۳	۰.۰۲۱	۰.۰۱۲	۰.۰۰۱	۰.۰۱۲	۰.۰۲۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۰	۰.۰۱۶	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲
۱۸	۰.۰۱۸	۰.۰۲۲	۰.۰۰۷۲	۰.۰۰۸	۰.۰۱۳	۰.۰۰۸	۰.۰۰۳	۰.۰۰۸	۰.۰۰۵	۰.۰۰۴	۰.۰۰۷	۰.۰۱۰
۱۹	۰.۰۶۶	۰.۰۰۶	۰.۰۰۷۲	۰.۰۰۱	۰.۰۰۵	۰.۰۲۲	۰.۰۰۹	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۱۶	۰.۰۰۲	۰.۰۰۵
۲۱	۰.۰۱۸	۰.۰۲۲	۰.۰۰۲۲	۰.۰۰۸	۰.۰۰۵	۰.۰۲۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۳	۰.۰۰۷	۰.۰۰۳
۲۲	۰.۰۰۸	۰.۰۰۲	۰.۰۱۵	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲	۰.۰۲۳	۰.۰۰۰	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۵	۰.۰۱۱	۰.۰۰۴
۲۴	۰.۰۱۶	۰.۰۰۴	۰.۰۰۷۵	۰.۰۰۷	۰.۰۰۶	۰.۰۷۱	۰.۰۰۰	۰.۰۰۲	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۱۶	۰.۰۲۰
۲۶	۰.۰۲۷	۰.۰۲۱	۰.۰۰۳	۰.۰۰۶	۰.۰۱۳	۰.۱۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۵	۰.۰۰۲	۰.۰۰۹	۰.۰۱۲
۲۷	۰.۰۱۶	۰.۰۰۳	۰.۰۰۱	۰.۰۰۳	۰.۰۰۳	۰.۰۷۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۴	۰.۰۰۳	۰.۰۰۷	۰.۰۱۱	۰.۰۰۸
جدول میانگین مربعات خطاها	۰.۰۳۱	۰.۰۲۹	۰.۱۲۸	۰.۰۱۰	۰.۰۱۲	۰.۰۵۱	۰.۰۰۵	۰.۰۱۴	۰.۰۱۴	۰.۰۱۴	۰.۰۱۶	۰.۰۱۳
میان خطاها	۰.۰۰۸	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۵	۰.۰۰۸	۰.۰۰۰	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰	۰.۰۱۰	۰.۰۰۳	۰.۰۰۲
بیشترین اندازه خطا	۱.۲۸۰	۰.۳۲۴	۰.۳۹۰	۰.۰۰۴	۰.۰۱۲	۰.۰۲۹	۰.۰۱۴	۰.۰۲۳	۰.۰۰۹	۰.۰۲۹	۰.۰۲۹	۰.۰۲۸
کمترین اندازه خطا	۰.۰۰۷	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰	۰.۰۰۳	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۱
متوسط اندازه خطا	۰.۱۱۵	۰.۰۳۴	۰.۰۷۸	۰.۰۰۸	۰.۰۱۱	۰.۰۳۳	۰.۰۰۳	۰.۰۰۸	۰.۰۰۳	۰.۰۱۲	۰.۰۰۶	۰.۰۱۰

مقادیر خطای بزرگ‌تر ۰/۳ متر / مقادیر خطای بزرگ‌تر ۰/۱ متر

مطابق جدول ۴، در حالت مقیاس - ثابت، درحالی‌که سناریوهای ۱ و ۳ نتایج مشابهی از نظر دقت مسطحاتی برای بیشتر نقاط داشتند، اما اندازه خطای ارتفاعی برای نقاط ۲، ۳، ۶، ۷ و ۸ در سناریو ۱ نسبت به سناریو ۳ بیشتر است. برای بقیه نقاط اندازه خطای ارتفاعی در سناریوی ۱ در مقایسه با سناریوی ۳ کمتر است. بیشترین اختلاف موجود

بهترین دقت محاسبات مثلث‌بندی در سناریوی ۳ به دست می‌آید. مقدار عددی متوسط خطای ارتفاعی در سناریوی ۳ برای نقاط کنترل برابر ۰/۰۴۴ متر می‌باشد. به عبارتی استفاده از اطلاعات مراکز تصویر و مختصات نقاط کنترل زمینی در مثلث‌بندی هوایی برای حالت ارتفاع- ثابت، دقت بهتری را نتیجه می‌دهد.

جدول ۵: قدرمطلق خطای مسطحاتی و ارتفاعی نقاط چک زمینی (اعداد بر حسب متر)

نقاط	ارتفاع - ثابت									مقیاس - ثابت								
	سناریو ۱			سناریو ۲			سناریو ۳			سناریو ۱			سناریو ۲			سناریو ۳		
	Δz	Δy	Δx	Δz	Δy	Δx	Δz	Δy	Δx	Δz	Δy	Δx	Δz	Δy	Δx	Δz	Δy	Δx
۱	۰.۰۸۷	۰.۱۱۰	۰.۰۵۹	۰.۷۷۲	۰.۲۳۶	۱.۵۳۱	۰.۱۰۰	۰.۰۳۳	۰.۱۴۵	۰.۰۵۲	۰.۰۶۱	۰.۰۳۴	۱.۰۰۴	۰.۲۹۵	۰.۸۸۹	۰.۰۶۴	۰.۰۵۴	۰.۰۰۹
۹	۰.۶۰۲	۰.۱۲۲	۰.۰۹۰	۱.۳۲۶	۰.۷۲۷	۰.۳۱۴	۰.۰۰۰	۰.۰۵۹	۰.۰۶۶	۰.۰۲۹	۰.۰۳۵	۰.۰۲۴	۱.۳۲۳	۰.۷۸۲	۰.۲۵۹	۰.۰۰۷	۰.۰۰۲	۰.۰۰۸
۱۵	۰.۰۰۱	۰.۰۰۵	۰.۰۰۹	۰.۴۵۳	۰.۱۵۰	۳.۰۲۵	۰.۰۲۶	۰.۰۱۶	۰.۰۹۳	۰.۰۰۱	۰.۰۰۹	۰.۰۱۳	۰.۳۳۴	۰.۱۹۶	۲.۵۰۹	۰.۰۰۵	۰.۰۲۶	۰.۰۴۵
۱۷	۰.۰۴۶	۰.۰۷۱	۰.۰۶۰	۰.۲۱۱	۰.۰۲۶	۳.۲۰۲	۰.۰۴۳	۰.۰۰۲	۰.۰۱۷	۰.۰۲۰	۰.۰۰۳	۰.۰۱۹	۰.۳۴۵	۰.۰۷۹	۲.۶۹۹	۰.۰۵۵	۰.۰۰۲	۰.۰۰۰
۲۰	۰.۲۸۶	۰.۰۰۳	۰.۰۱۸	۰.۵۶۴	۰.۷۵۷	۲.۰۷۶	۰.۰۲۱	۰.۰۲۴	۰.۰۲۱	۰.۰۲۲	۰.۰۲۸	۰.۰۵۵	۰.۶۱۴	۰.۷۵۴	۱.۶۸۶	۰.۰۱۲	۰.۰۱۹	۰.۰۱۲
۲۳	۰.۱۳۴	۰.۰۱۰	۰.۰۰۳	۱.۰۳۲	۰.۶۵۸	۱.۰۴۴	۰.۰۲۳	۰.۰۰۰	۰.۰۵۲	۰.۰۳۹	۰.۰۰۲	۰.۰۲۶	۱.۱۵۶	۰.۷۵۵	۰.۴۹۲	۰.۰۱۴	۰.۰۱۵	۰.۰۱۸
۲۵	۰.۱۱۲	۰.۰۲۲	۰.۰۳۰	۱.۲۳۰	۰.۳۰۱	۰.۵۵۶	۰.۰۱۵	۰.۰۱۳	۰.۲۴۸	۰.۰۳۵	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۱.۴۲۷	۰.۴۰۸	۰.۱۹	۰.۰۰۵	۰.۰۲۸	۰.۰۴۹
جدول میانگین مربعات خطاها	۰.۲۶۳	۰.۰۶۹	۰.۰۴۹	۰.۸۸۶	۰.۴۹۴	۱.۹۸۴	۰.۰۲۶	۰.۰۴۶	۰.۱۱۹	۰.۰۳۲	۰.۰۲۹	۰.۰۲۹	۰.۹۸۱	۰.۵۴۱	۱.۵۸۲	۰.۰۳۳	۰.۰۲۷	۰.۰۲۷
میان خطاها	۰.۰۸۷	۰.۰۰۳	۰.۰۰۹	۰.۵۶۴	۰.۱۵۰	۱.۵۳۱	۰.۰۰۰	۰.۰۱۳	۰.۰۲۱	۰.۰۲۲	۰.۰۰۳	۰.۰۰۱	۰.۶۱۴	۰.۱۹۶	۰.۸۸۹	۰.۰۰۵	۰.۰۱۵	۰.۰۱۲
بیشترین اندازه خطا	۰.۶۰۲	۰.۱۲۲	۰.۰۹۰	۱.۳۲۶	۰.۷۵۷	۳.۲۰۲	۰.۰۴۳	۰.۰۱۰	۰.۲۴۸	۰.۰۵۲	۰.۰۶۱	۰.۰۵۵	۱.۴۲۷	۰.۷۸۲	۲.۶۹۹	۰.۰۶۴	۰.۰۵۴	۰.۰۴۹
کمترین اندازه خطا	۰.۰۰۱	۰.۰۰۳	۰.۰۰۳	۰.۲۱۱	۰.۰۲۶	۰.۳۱۴	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۱۷	۰.۰۰۰	۰.۰۰۱	۰.۰۱۳	۰.۳۳۴	۰.۰۷۹	۰.۰۱۹	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۰
متوسط اندازه خطا	۰.۱۸۱	۰.۰۴۹	۰.۰۳۸	۰.۷۹۸	۰.۴۰۸	۱.۶۷۸	۰.۰۳۳	۰.۰۳۰	۰.۰۹۲	۰.۰۳۰	۰.۰۲۸	۰.۰۲۵	۰.۸۸۶	۰.۴۶۷	۱.۲۲۲	۰.۰۲۳	۰.۰۲۱	۰.۰۲۰
	مقادیر خطای بزرگتر ۰/۱ متر									مقادیر خطای بزرگتر ۰/۰۳ متر								

در اندازه خطای ارتفاعی در دو سناریو ۱ و ۳ مربوط به نقطه ۶ می‌باشد. در برخی نقاط مانند ۱۱،۲۱ و ۲۲ میزان اختلاف خطا در هر دو سناریوی ۱ و ۳ اختلاف قابل توجهی مشاهده نشد و می‌توان آن‌ها را برابر دانست. با توجه به نتایج و محاسبه میانگین خطای نقاط کنترل در سناریوها، میانگین خطا در سناریوی ۳ برای نقاط کنترل کمترین مقدار است. مقدار عددی میانگین خطا برای نقاط کنترل برابر ۰/۰۱۰ متر می‌باشد.

مطابق جدول ۵، در حالت مقیاس - ثابت مشابه ارتفاع - ثابت، خطای مؤلفه ارتفاعی همه نقاط چک به استثناء نقطه ۲۵ در سناریوی ۲ نسبت به دو سناریوی ۱ و ۳ بیشتر است. عدم استفاده از نقطه کنترل در فرآیند مثلث‌بندی هوایی منجر به بروز این میزان از خطاها شده است. گرچه در مقایسه با حالت ارتفاع - ثابت خطاهای مربوط به نقاط چک کمتر است ولی همچنان اندازه خطاها به بیش از ۱ متر نیز می‌رسد. از طرف دیگر، در سناریوی ۳ مقدار این خطاها نسبت به سناریوی ۱ کمتر می‌باشد و فقط در دو نقطه ۱۵ و ۲۵ بیش از ۰/۰۳ متر بوده است. بیشترین اندازه خطای ارتفاعی در نقطه ۱۷ برای سناریو ۲ می‌باشد که دارای مقدار

مقدار ۳/۲۰۲ متر است و کمترین اندازه خطا برای نقطه ۱۵ در سناریو ۱ با مقدار ۰/۰۰۱ متر بوده است. با مقایسه نتایج سناریوها و متوسط اندازه خطا برای نقاط چک، بهترین دقت محاسبات مثلث‌بندی در سناریوی ۳ به دست آمده است. مقدار عددی متوسط اندازه خطا برای مؤلفه ارتفاعی در سناریوی ۳ برابر ۰/۰۹۲ متر به دست آمده است.

مشابه نقاط کنترل، پس از پردازش و مثلث‌بندی هوایی تصاویر در سناریوها و حالات پروازی مطرح شده قدرمطلق خطاهای به دست آمده نقاط چک در جدول ۵ ارائه شده است. مطابق جدول ۵، در حالت ارتفاع - ثابت، مقدار خطای تمام نقاط چک در سناریوی ۲ نسبت به دو سناریوی ۱ و ۳ بیشتر است. مقدار این اختلاف در اغلب موارد بیشتر از ۰/۱ متر بوده و در تهیه نقشه‌های با مقیاس بزرگ فراوان است. نتایج نشان می‌دهد که در صورت عدم استفاده از نقطه کنترل، مؤلفه ارتفاعی تحت تأثیر قرار گرفته و مقدار خطا در بیشتر نقاط به بیش از ۱ متر افزایش می‌یابد. بیشترین اندازه خطای

**فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)**

دقت و صحت تولید نقشه توپوگرافی در پروژه‌های خطی به روش ... / ۳۱

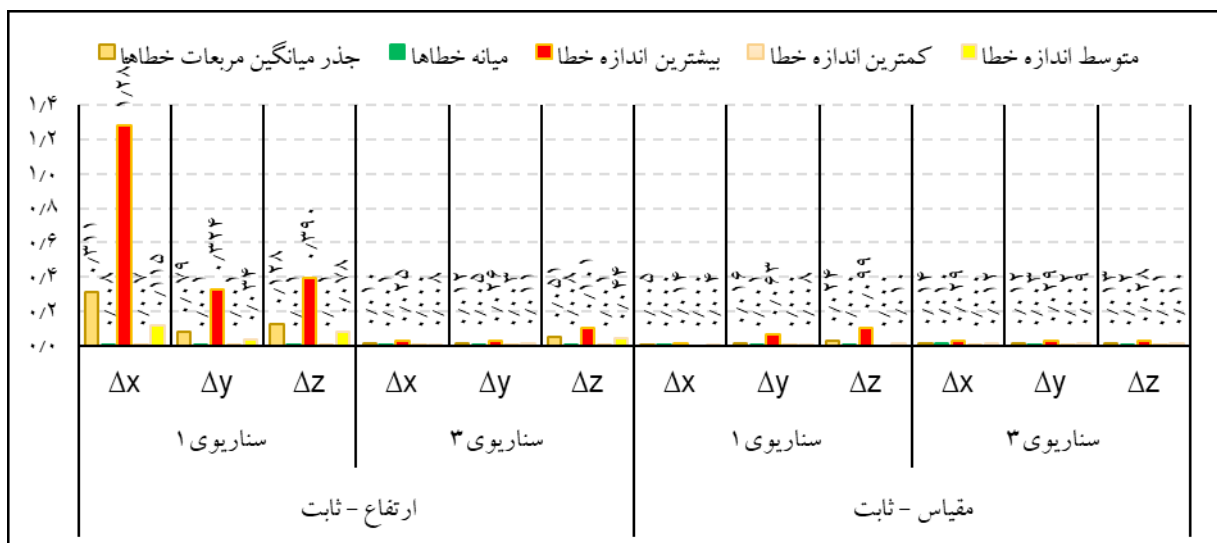
به افزایش دقت در مؤلفه‌ی ارتفاعی شده و موجب بهبودی دقت شده است.

در ارزیابی صحت نتایج مربوط به نقاط چک‌زمینی نیز، مشابه حالت کنترل زمینی معیارهای متوسط اندازه خطا، کمترین اندازه خطا، بیشترین اندازه خطاها و جذر مربعات خطاها مدنظر قرار گرفت. بیشترین مقادیر برای نقاط چک در سناریوی ۲ پردازشی و در هر دو حالت ارتفاع- ثابت و مقیاس- ثابت محاسبه شد. به عبارتی اگر نقاط کنترل در فرآیند پردازش استفاده نشوند، دقت مؤلفه ارتفاعی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. نتایج وجود خطا در برخی نقاط چک با اندازه بزرگ‌تر از ۱ متر را نیز نشان می‌دهد. همچنین بیشترین اندازه خطا در حالت ارتفاع - ثابت رخ داده است و با حالت مقیاس- ثابت نیز اختلافی برابر ۰/۵۰۳ متر دارد. کمترین اندازه خطا بین دو حالت و سناریوها تفاوت قابل‌توجهی نداشت. کمترین اندازه خطا برای سناریوی ۳ در حالت مقیاس- ثابت حاصل شده است. با توجه به نمودارهای نگاره ۶ و نگاره ۷، متوسط اندازه خطای نقاط چک، در هر دو حالت ارتفاع- ثابت و مقیاس- ثابت در سناریوی ۳ دارای کمترین مقدار است. همچنین کمترین مقدار متوسط اندازه خطا در سناریوی ۳ برای حالت مقیاس- ثابت با مقدار ۰/۰۲۰ متر است. برای نقاط

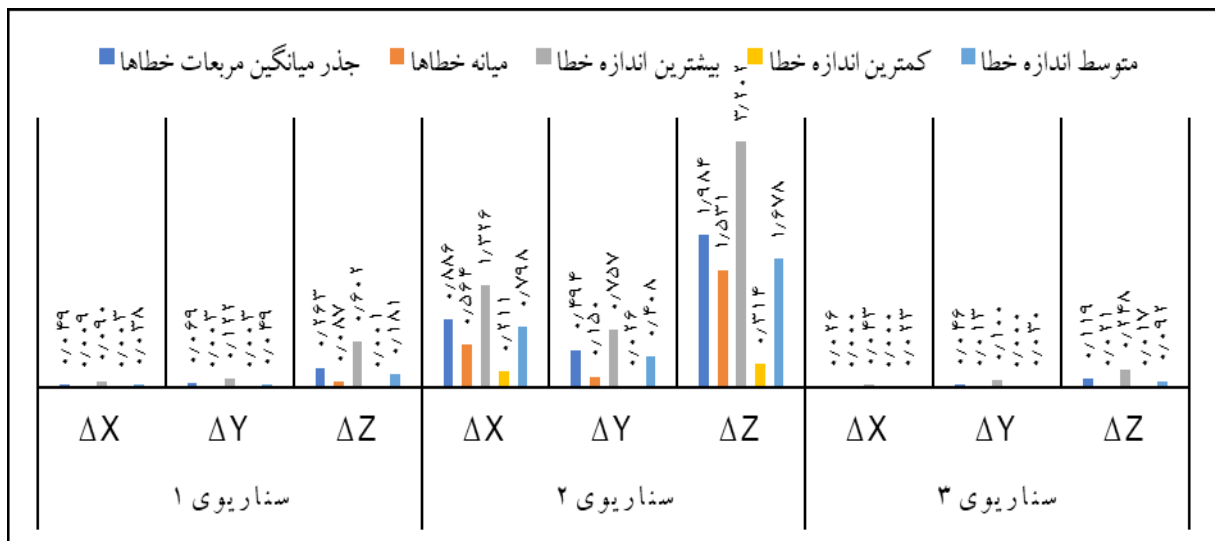
۲/۶۹۹ متر بوده است. کمترین اندازه خطا نیز مربوط به نقطه ۱۷ در سناریوی ۳ با مقدار صفر است. با توجه به نتایج سناریوهای پردازشی و متوسط اندازه خطا برای نقاط چک، کمترین حالت در سناریوی ۳ با مقدار عددی ۰/۰۲۰ متر به‌دست آمده است.

در ارزیابی دقت نتایج نقاط کنترل زمینی، در سناریوهای پردازشی مختلف و در دو حالت ارتفاع- ثابت و مقیاس- ثابت معیارهای متوسط اندازه خطا، کمترین اندازه خطا، بیشترین اندازه خطا، میان خطاها و جذر مربعات خطاها مدنظر قرار گرفت.

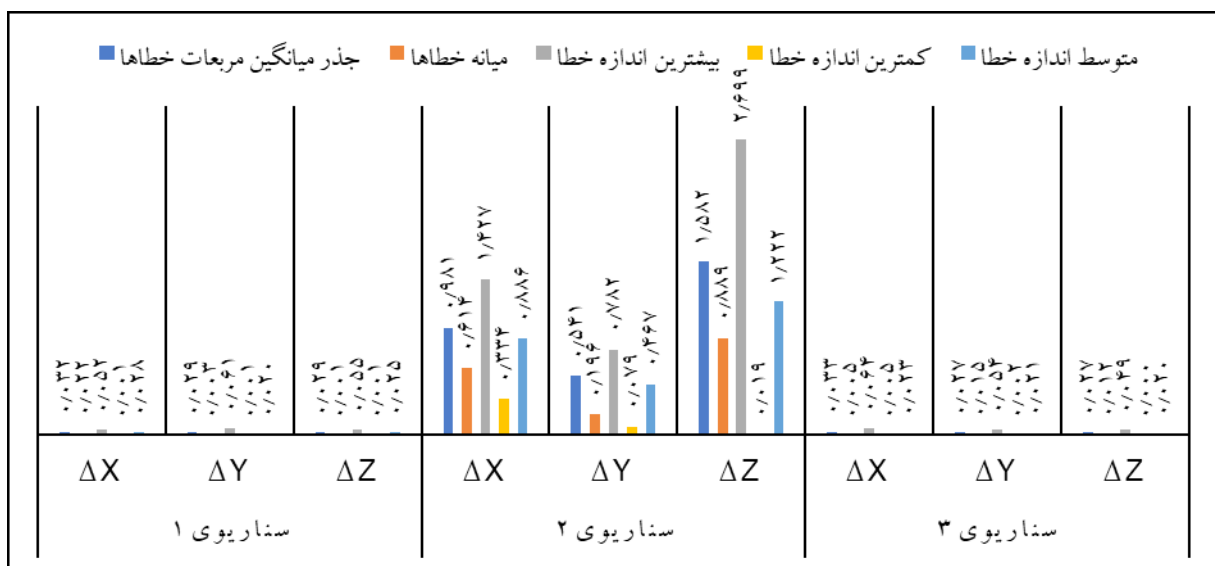
نگاره ۵، نتایج معیارهای ارزیابی دقت نقاط کنترل زمینی را به‌صورت نمودار نشان می‌دهد. بیشترین اندازه خطا برای هر دو حالت (ارتفاع- ثابت و مقیاس- ثابت) در سناریوی ۱ نسبت به سناریوی ۳ رخ داده است. کمترین اندازه خطا با مقدار صفر برای سناریوی ۱ در حالت مقیاس- ثابت می‌باشد. متوسط خطای ارتفاعی نقاط در هر دو حالت ارتفاع- ثابت و مقیاس- ثابت در سناریوی ۳ دارای کمترین مقدار است. همچنین کمترین مقدار متوسط اندازه خطا برای سناریوی ۳ در حالت مقیاس- ثابت و برابر ۰/۰۱۰ متر محاسبه و ارائه شده است. در واقع نتایج نشان می‌دهد به‌کارگیری توپوگرافی منطقه برای پرواز پهپاد منجر



نگاره ۵: نتایج معیارهای ارزیابی نقاط کنترل زمینی (اعداد بر حسب متر)



نگاره ۶: نتایج معیارهای ارزیابی نقاط چک زمینی در حالت ارتفاع - ثابت (اعداد برحسب متر)



نگاره ۷: نتایج معیارهای ارزیابی نقاط چک زمینی در حالت مقیاس - ثابت (اعداد برحسب متر)

ارتفاع - ثابت و مقیاس - ثابت) تولید شد. مدل رقومی ارتفاعی سطح زمین در هریک از شش حالت از این ابرنقاط با حذف نقاط غیرزمینی به دست آمد. با توجه به ارزیابی وضعیت نقاط کنترل و چک، مدل رقومی مربوط به حالت مقیاس - ثابت و استفاده از نقاط کنترل و موقعیت دقیق مراکز تصویر، به عنوان مدل رقومی مرجع مقایسه، انتخاب شد. برای کاهش خطاهای موجود در مدل‌ها و برای مقایسه بهتر نتایج، از دو نوع فیلتر میانگین و میانه استفاده شد. این

چک نیز همانند نقاط کنترل نتایج نشان می‌دهند، استفاده از توپوگرافی منطقه منجر به افزایش دقت مؤلفه ارتفاعی و در نتیجه دقت تولید مدل نهایی بهبود یافته است.

### ۳-۲- بررسی وضعیت مدل‌های رقومی ارتفاعی

پس از پردازش تصاویر، ابرنقاط متراکم محدوده با سه قدرت تفکیک مکانی ۰/۵ متر، ۲ متر و ۴ متر برای هرکدام از شش حالت مختلف (۳ سناریو و در دو حالت

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (س)

دقت و صحت تولید نقشه توپوگرافی در پروژه‌های خطی به روش ... / ۳۳

مقایسه مدل رقومی حاصل از روش پرواز ارتفاع - ثابت و سناریو ۱، بیشینه اختلاف مثبت و منفی به ترتیب برابر ۱۰/۵۶۸ متر و ۱/۶۸۷- مشاهده شد. با اعمال فیلترهای میانگین و میانه، این مقادیر تغییر می‌کنند. به‌عنوان نمونه، با اعمال فیلتر میانگین با ابعاد (۹×۹) پیکسل، بیشینه اختلاف مثبت و منفی به ترتیب به ۰/۵۳- و ۰/۵۱ متر کاهش پیدا کرده است. با اعمال فیلتر میانه با ابعاد (۹×۹) پیکسل نیز این مقادیر به ترتیب ۰/۶۶- و ۰/۶۵ متر به دست آمد. با توجه به مقادیر به دست آمده برای اختلاف مدل‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که اعمال فیلتر میانگین بررسی مدل‌ها نسبت به فیلتر میانه با ابعاد فیلتر مشابه بهتر عمل می‌کند.

مقادیر بیشینه اختلافات مثبت و منفی مدل‌های رقومی با قدرت تفکیک ۲ متری در حالات مختلف در مقایسه با مدل مرجع، برای هر سناریو، در دو حالت مختلف ارتفاع - ثابت و مقیاس - ثابت در جدول ۷ ارائه شده است. مطابق جدول ۷، مدل رقومی ارتفاعی در این حالت نیز، بدون اعمال فیلتر خاص بر روی مدل رقومی، مقادیر بیشینه اختلاف مثبت و منفی با مدل مرجع نسبتاً زیاد است. از فیلترهای میانگین و میانه با ابعاد مختلف، برای انجام مقایسه مدل‌های رقومی با قدرت تفکیک ۰/۵ متری در حالات مختلف در مقایسه با

فیلترها با ابعاد مختلف (۳×۳، ۵×۵، ۷×۷ و ۹×۹) پیکسل، بر روی مدل‌های رقومی هر کدام از حالت‌ها استفاده شدند. مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک ۰/۵ متر، حاصل از حالت مقیاس - ثابت و استفاده از نقاط کنترل زمینی و موقعیت دقیق مراکز تصویر به‌عنوان مرجع، با سایر حالات و در سناریوهای مختلف مقایسه شد. مدل رقومی نهایی مربوط به هر کدام از حالت‌ها با مدل رقومی مرجع (مربوط به حالت مقیاس - ثابت و استفاده هم‌زمان نقاط کنترل و موقعیت دقیق مراکز تصویر) در محدوده خطی مقایسه شد. مقادیر بیشینه اختلافات مثبت و منفی مدل‌های رقومی در حالات مختلف در مقایسه با مدل مرجع محاسبه شد.

مقادیر بیشینه اختلافات مثبت و منفی مدل‌های رقومی با قدرت تفکیک ۰/۵ متری در حالات مختلف در مقایسه با مدل مرجع، برای هر سناریو، در دو حالت مختلف ارتفاع - ثابت و مقیاس - ثابت در جدول ۶ ارائه شده است. مطابق جدول ۶، بدون اعمال فیلتر خاص بر روی مدل رقومی، مقادیر بیشینه اختلاف مثبت و منفی با مدل مرجع نسبتاً زیاد است. از فیلترهای میانگین و میانه با ابعاد مختلف، برای انجام مقایسه مدل‌های رقومی استفاده شد. به‌عنوان مثال در

مدل مرجع (اعداد بر حسب متر)

مقیاس - ثابت		ارتفاع - ثابت								نوع-ابعاد فیلتر بر حسب پیکسل
		سناریوی ۱		سناریوی ۲		سناریوی ۳		سناریوی ۴		
۱,۷۸	۴,۰۰	-۱,۳۹	۱,۶۷	-۱,۲۵	۱,۴۲	-۱,۲۳	۴,۲۷	-۱,۶۹	۱۰,۵۷	بدون اعمال فیلتر
-۱,۴۹	۳,۰۹	-۰,۸۷	۱,۶۷	-۰,۸۸	۱,۱۶	-۰,۹۹	۳,۷۰	-۱,۵۰	۴,۵۳	میانگین - ۳*۳
-۱,۴۴	۲,۸۸	-۰,۶۱	۰,۹۹	-۰,۸۰	۱,۰۵	-۰,۹۳	۳,۶۳	-۱,۴۱	۲,۶۳	میانگین - ۵*۵
-۱,۳۶	۲,۸۲	-۰,۵۴	۰,۷۸	-۰,۶۹	۰,۹۶	-۰,۸۷	۳,۴۷	-۱,۳۱	۲,۳۵	میانگین - ۷*۷
-۱,۳۴	۲,۸۰	-۰,۵۳	۰,۶۲	-۰,۵۸	۰,۹۱	-۰,۸۴	۳,۳۹	-۱,۱۹	۲,۳۰	میانگین - ۹*۹
-۱,۵۹	۳,۶۰	-۱,۰۶	۰,۵۱	-۱,۰۰	۱,۲۷	-۱,۱۰	۴,۰۵	-۱,۶۷	۲,۸۷	میانه - ۳*۳
-۱,۴۵	۳,۵۸	-۰,۸۴	۱,۱۳	-۰,۸۶	۱,۲۳	-۰,۹۴	۴,۰۵	-۱,۴۹	۲,۶۸	میانه - ۵*۵
-۱,۴۴	۳,۵۰	-۰,۶۸	۰,۹۴	-۰,۸۴	۱,۲۱	-۰,۹۲	۴,۰۲	-۱,۴۵	۲,۵۹	میانه - ۷*۷
-۱,۴۲	۳,۴۷	-۰,۶۶	۰,۶۹	-۰,۷۳	۱,۲۰	-۰,۹۰	۳,۹۷	-۱,۳۵	۲,۴۶	میانه - ۹*۹

جدول ۷: مقادیر بیشینه اختلافات مثبت و منفی مدل‌های رقومی با قدرت تفکیک ۲ متری در حالات مختلف در مقایسه با مدل مرجع (اعداد برحسب متر)

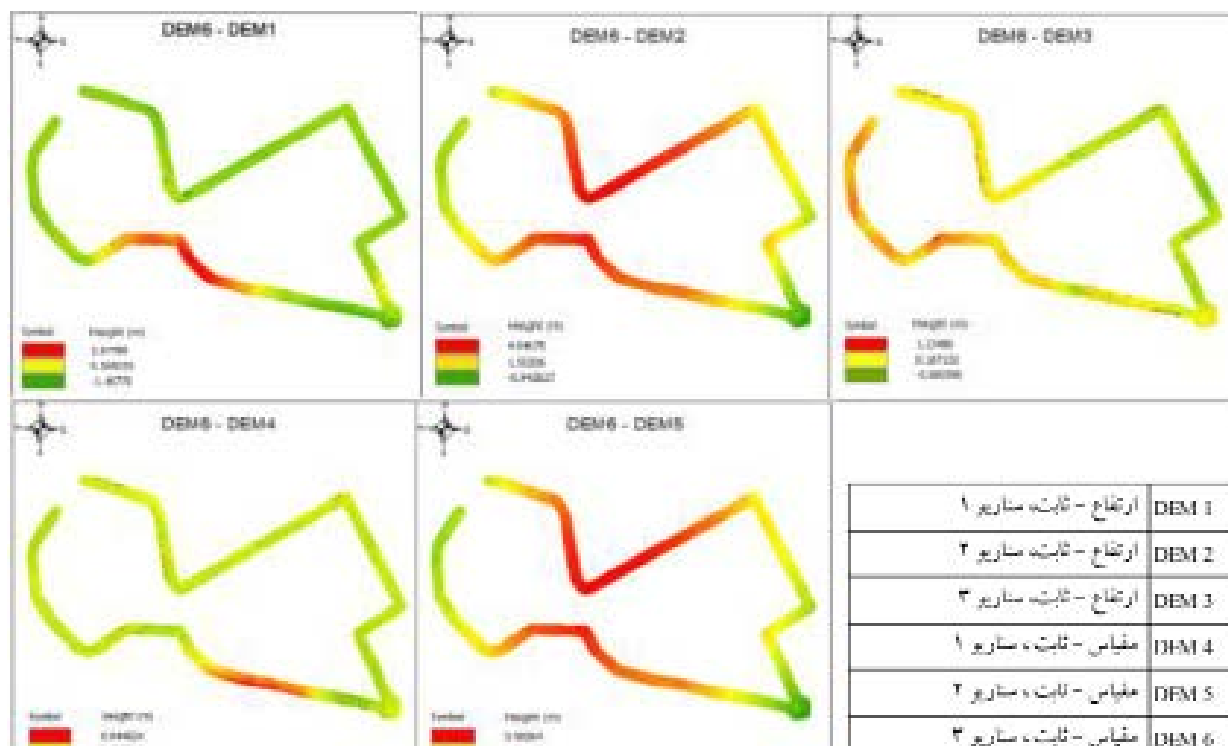
مقیاس - ثابت				ارتفاع - ثابت						نوع-ابعاد فیلتر برحسب پیکسل
سناریوی ۲		سناریوی ۱		سناریوی ۳		سناریوی ۲		سناریوی ۱		
-۱,۴۹	۳,۹۸	-۱,۶۰	۱,۴۱	-۱,۴۸	۱,۸۲	-۱,۰۹	۴,۴۸	-۱,۵۸	۹,۵۳	بدون اعمال فیلتر
-۱,۴۳	۳,۶۰	-۱,۳۶	۱,۲۵	-۱,۳۱	۱,۲۰	-۱,۰۱	۴,۰۷	-۱,۳۶	۹,۴۹	میانگین - ۳*۳
-۱,۳۹	۳,۱۵	-۱,۲۵	۱,۱۰	-۱,۱۲	۱,۰۳	-۰,۹۲	۳,۸۰	-۱,۲۶	۶,۴۶	میانگین - ۵*۵
-۱,۳۷	۳,۱۱	-۱,۱۶	۰,۹۶	-۱,۰۴	۰,۹۰	-۰,۸۷	۳,۶۶	-۱,۱۶	۳,۸۵	میانگین - ۷*۷
-۱,۳۷	۳,۱۰	-۱,۰۵	۰,۸۴	-۱,۰۰	۰,۸۰	-۰,۸۷	۳,۵۴	-۱,۰۷	۲,۷۹	میانگین - ۹*۹
-۱,۴۸	۳,۹۳	-۱,۶۰	۱,۴۱	-۱,۴۷	۱,۶۳	-۱,۰۹	۴,۳۲	-۱,۵۸	۹,۵۲	میانه - ۳*۳
-۱,۴۸	۳,۸۳	-۱,۶۰	۱,۳۳	-۱,۳۸	۱,۶۳	-۱,۰۵	۴,۲۲	-۱,۵۳	۹,۵۱	میانه - ۵*۵
-۱,۴۶	۳,۷۷	-۱,۳۳	۱,۲۰	-۱,۲۹	۱,۵۱	-۱,۰۵	۴,۰۲	-۱,۵۳	۲,۹۵	میانه - ۷*۷
-۱,۴۲	۳,۵۷	-۱,۲۹	۱,۱۲	-۱,۲۹	۱,۳۰	-۰,۹۷	۴,۰۱	-۱,۵۳	۲,۹۵	میانه - ۹*۹

استفاده شد. در این حالت نیز، با توجه به مقادیر به دست آمده برای اختلاف مدل‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که اعمال فیلتر میانگین بر روی مدل‌ها نسبت به فیلتر میانه با ابعاد فیلتر مشابه بهتر عمل می‌کند. مقادیر بیشینه اختلافات مثبت و منفی مدل‌های رقومی

با قدرت تفکیک ۴ متری در حالات مختلف در مقایسه با مدل مرجع، برای هر سناریو، در دو حالت مختلف ارتفاع - ثابت و مقیاس - ثابت در جدول ۸ ارائه شده است. مقادیر بیشینه اختلافات مثبت و منفی در مدل‌های رقومی با قدرت تفکیک ۰/۵ متری نسبت به ۲ و ۴ متری بیشتر تحت تأثیر

جدول ۸: مقادیر بیشینه اختلافات مثبت و منفی مدل‌های رقومی با قدرت تفکیک ۴ متری در حالات مختلف در مقایسه با مدل مرجع (اعداد برحسب متر)

مقیاس - ثابت				ارتفاع - ثابت						نوع-ابعاد فیلتر برحسب پیکسل
سناریوی ۲		سناریوی ۱		سناریوی ۳		سناریوی ۲		سناریوی ۱		
-۲,۰۳	۵,۴۰	-۱,۶۳	۱,۹۴	-۱,۳۸	۲,۹۹	-۱,۱۸	۵,۶۷	-۱,۷۲	۹,۳۲	بدون اعمال فیلتر
-۱,۹۹	۵,۳۳	-۱,۵۳	۱,۸۷	-۱,۲۷	۲,۹۷	-۱,۰۸	۵,۶۵	-۱,۵۶	۹,۲۹	میانگین - ۳*۳
-۱,۹۴	۵,۲۷	-۱,۳۸	۱,۸۲	-۱,۰۷	۲,۸۹	-۱,۰۶	۵,۶۳	-۱,۴۸	۹,۲۳	میانگین - ۵*۵
-۱,۸۵	۵,۲۲	-۱,۲۲	۱,۷۲	-۱,۰۶	۲,۸۵	-۱,۰۲	۵,۵۴	-۱,۴۱	۹,۰۸	میانگین - ۷*۷
-۱,۷۳	۵,۱۶	-۱,۱۸	۱,۵۴	-۱,۰۴	۲,۷۹	-۰,۹۹	۵,۴۰	-۱,۳۵	۸,۸۴	میانگین - ۹*۹
-۲,۰۳	۵,۳۷	-۱,۶۳	۱,۹۴	-۱,۳۸	۲,۹۷	-۱,۱۷	۵,۶۷	-۱,۷۲	۹,۳۲	میانه - ۳*۳
-۲,۰۲	۵,۳۴	-۱,۶۱	۱,۹۱	-۱,۳۷	۲,۹۶	-۱,۱۷	۵,۶۷	-۱,۶۴	۹,۳۱	میانه - ۵*۵
-۲,۰۲	۵,۲۹	-۱,۵۱	۱,۸۸	-۱,۲۵	۲,۹۱	-۱,۱۰	۵,۶۵	-۱,۵۰	۹,۳۰	میانه - ۷*۷
-۱,۸۸	۵,۲۷	-۱,۴۳	۱,۸۴	-۱,۱۳	۲,۸۹	-۰,۹۹	۵,۶۴	-۱,۳۶	۹,۱۰	میانه - ۹*۹



نگاره ۸: نمونه تصاویر اختلافات محاسبه شده میان مدل رقومی مرجع و مدل رقومی با قدرت تفکیک ۰/۵ متری و اعمال فیلتر میانه با ابعاد (۹×۹)

منجر به ایجاد خطا در ثبت موقعیت مراکز تصاویر می‌شود. با توجه به نگاره ۸، مقادیر بیشینه اختلافات مثبت و منفی بین مدل رقومی مرجع با مدل رقومی حالت ارتفاع - ثابت، سناریو ۲ (DEM6-DEM2) و مدل رقومی حالت مقیاس - ثابت، سناریو ۲ (DEM6-DEM5) نشان داده شده‌اند. وجود نواحی قرمز بیشتر در این تصاویر به دلیل عدم استفاده از نقاط کنترل زمینی در مثلث بندی هوایی و تولید مدل رقومی مربوط به آن‌هاست. عدم استفاده از نقاط کنترل در پردازش تصاویر موجب کاهش دقت هندسی شبکه و در نتیجه دقت مدل رقومی شده است. نتایج آزمایش حالات مختلف نشان می‌دهد که مدل رقومی حالت مقیاس - ثابت، سناریو ۱، کمترین اختلاف را با مدل رقومی مرجع دارد.

تراکم بالای درختان در برخی از قسمت‌های محدوده پروژه نیز منجر به اختلافات بیشتر شده است. احتمال تشخیص نادرست نرم افزار نقاط در این نواحی به عنوان خطای سیستماتیک قابل بررسی است. ساختمان، خیابان و

اعمال فیلترها قرار می‌گیرد. در نتیجه بیشینه اختلافات مثبت و منفی برای این مدل‌ها با مدل مرجع کمتر است. نگاره ۸، تصاویر مربوط به محاسبه اختلافات بیشینه مثبت و منفی مدل رقومی ۰/۵ متری با اعمال فیلتر میانه با ابعاد ۹×۹ و مدل رقومی مرجع را نشان می‌دهد.

با توجه به آزمایش‌های مختلف صورت گرفته، می‌توان نتیجه گرفت، دقت فتوگرامتری پهپادی به شیوه هندسه پرواز بستگی دارد. همچنین دقت ارتفاعی با پیچیدگی زمین ارتباط داشته و در اکثر نمونه‌های مورد مطالعه متأثر از آن است. اگرچه دقت مثلث بندی در حالت مقیاس - ثابت به نسبت سایر حالات و سناریوها مناسب بود اما از آنجا که مدل رقومی ارتفاعی استفاده شده برای انجام پرواز پهپاد در حالت مقیاس - ثابت، از دقت خیلی زیادی برخوردار نبود. این موضوع منجر به آن شده است که اختلاف بین مدل‌های رقومی نهایی همچنان زیاد باشد.

قرار گرفتن پهپاد در ارتفاع غیردقیق حین تصویربرداری

مقیاس - ثابت، بهترین نتیجه را در برآورد دقت ارتفاعی برای نقاط کنترل و چک نتیجه داد. به عبارتی استفاده از نقاط کنترل زمینی، اخذ تصاویر با مقیاس - ثابت و مشاهدات دقیق مراکز تصویر در مثلث بندی هوایی بهترین حالت را در تهیه نقشه های محدوده های خطی را فراهم می کند.

بررسی های کمی صورت گرفته از مقایسه مدل های رقومی نهایی در مقایسه با مدل مرجع نشان می دهد دقت مدل های حاصل با قدرت تفکیک ۰/۵ متری نسبت به ۲ و ۴ متری بیشتر است. همچنین اثرگذاری فیلترها برای اصلاح و کاهش خطا در مدل های رقومی نتیجه بهتری دارد. مقادیر بیشینه اختلافات مثبت و منفی بین مدل های رقومی مربوط به نواحی دارای پوشش گیاهی و درختان است. مناطقی که شیب تقریباً یکنواختی داشته و دور از درختان و ساختمان های بلند باشند، کمترین مقادیر خطاها را خواهند داشت.

#### ۵- پیشنهادات و راهکار

پیشنهاد می شود مطالعات مرتبط در محدوده های پروژه های خطی مختلف و با هندسه متفاوت صورت پذیرد. همچنین ایجاد یک محدوده آزمایشی دقیق با توپوگرافی معین و دقیق برای عملیات تصویربرداری می تواند در اعتبارسنجی دقت و صحت استفاده شود. راهکار کاهش خطا در مدل رقومی سطح زمین، استفاده هم زمان از نقاط کنترل و موقعیت دقیق مراکز تصویر در حالات دیگر نیز قابل آزمایش است.

#### ۶- تشکر و قدردانی

امکان انجام مشاهدات و اندازه گیری های این تحقیق با همکاری و هماهنگی شورای تأمین استان همدان، مدیریت فرودگاه همدان و حراست دانشگاه بوعلی سینا فراهم شد. به رسم ادب از تمامی کسانی که به نوعی در انجام این پژوهش نقشی ایفا کردند، قدردانی و سپاسگزاری می شود.

جدول نیز از جمله دیگر عوامل مؤثر در ایجاد اختلاف بین مدل های رقومی نهایی است. سایه ها در تصاویر و عدم ثبت کامل عوارض به دلیل وجود درختان و ساختمان های بلند نیز باعث ایجاد خطا شده اند.

#### ۴- نتیجه گیری

در این مقاله، ارزیابی تأثیر شیوه تصویربرداری پهپاد بر دقت پروژه های فتوگرامتری پهپادی در محدوده یک پروژه خطی انجام شد. سه سناریو (پردازش تصاویر بدون اطلاعات مراکز تصویر به همراه نقاط کنترل، پردازش تصاویر با مختصات دقیق مراکز تصویر بدون نقاط کنترل، پردازش تصاویر با مختصات دقیق مراکز تصویر به همراه نقاط کنترل) در دو حالت کلی پرواز (ارتفاع- ثابت- مقیاس- ثابت) مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت. ۲۵ نقطه شامل ۱۸ نقطه کنترل زمینی و ۷ نقطه چک در نظر گرفته شد. مقادیر خطاهای مؤلفه های مسطحاتی و ارتفاعی در مثلث بندی هوایی محاسبه و در همه حالات بررسی و ارزیابی شد. همچنین مدل های رقومی نهایی برای هر کدام از حالات آزمایشی، با سه قدرت تفکیک ۰/۵، ۲ و ۴ متری تولید شد. دقت مسطحاتی نقاط کنترل و چک در بیشتر حالت ها بهتر از دقت ارتفاعی بود. نتایج ارزیابی خطای ارتفاعی نقاط کنترل و چک نشان می دهد، اگر در مثلث بندی هوایی و توجیه تصاویر، مشاهدات مراکز تصویر به تنهایی استفاده شود، در نتیجه محصولات فتوگرامتری دقت مطلوبی نخواهند داشت. در پروژه های چالشی نقشه برداری محدوده های خطی که تهیه نقشه در محدوده نواری انجام می شود این موضوع بارزتر است و استفاده از تصاویر زمین مرجع به تنهایی کافی نیست. استفاده هم زمان از نقاط کنترل زمینی و تصاویر زمین مرجع موجب بهبود دقت در نتایج است. استفاده از مدل رقومی اولیه محدوده پروژه در انجام عملیات پرواز و اخذ تصاویر با مقیاس ثابت تأثیر بسزایی در افزایش دقت مؤلفه ارتفاعی ایفا می کند. در سناریو های مورد آزمایش، سناریوی ۳ مربوط به حالت



- 8- Fernandez-Hernandez, J., González-Aguilera, D., Rodríguez-González, P., Mancera-Taboada, J., (2014), Image-Based Modelling from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry: An Effective, Low-Cost Tool for Archaeological Applications, *Archaeometry*, Volume 57, Pages 128-145, <https://doi.org/10.1111/arc.12078>.
- 9- Ferrer-González, E., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., Martínez-Carricondo, P., (2020), UAV Photogrammetry Accuracy Assessment for Corridor Mapping Based on the Number and Distribution of Ground Control Points, *Remote Sensing*, Volume 12, Pages 2447. <https://doi.org/10.3390/rs12152447>.
- 10- Ferrer-González, E., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., Martínez-Carricondo, P., (2020), UAV Photogrammetry Accuracy Assessment for Corridor Mapping Based on the Number and Distribution of Ground Control Points, *Remote Sensing*, Volume 12, Pages 2447. <https://doi.org/10.3390/rs12152447>.
- 11- Francioni, M., Simone, M., Stead, D., Sciarra, N., Mataloni, G., Calamita, F., 2019, "A New Fast and Low-Cost Photogrammetry Method for the Engineering Characterization of Rock Slopes" *Remote Sensing* 11, no. 11: 1267. <https://doi.org/10.3390/rs11111267>.
- 12- Giordan, D.; Manconi, A.; Remondino, F., Nex, F., (2017), Use of unmanned aerial vehicles in monitoring application and management of natural hazards, *Geomatics, natural hazards & risk*, Volume 8, Pages 1-4, DOI:10.1080/19475705.2017.1315619.
- 13- Howard, J., Murashov, V., Branche, C. M., (2018), Unmanned aerial vehicles in construction and worker safety. *American journal of industrial medicine*, Volume 61(1), Pages 3-10, <https://doi.org/10.1002/ajim.22782>.
- 14- Hugenholtz, C., Whitehead, K., W. Brown, O., E. Barchyn, T., J. Moorman, B., LeClair, A., Riddell, K., Hamilton, T., (2013), Geomorphological mapping with a small unmanned aircraft system (sUAS): Feature detection and accuracy assessment of a photogrammetrically-derived digital terrain model, *Geomorphology*, Volume 194, Pages 16-24, ISSN 0169-555X, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013>.
- 15- Kim, H., Lee, J., Ahn, E., Cho, S., Shin, M., Sim, S.-H., (2017), Concrete Crack Identification Using a UAV

## ۷- منابع و مأخذ

- ۱- عباس‌پور، خوش‌لهجه آذر، ورشوساز؛ محمد‌مهدی، مهدی، مسعود. (آذرماه ۱۳۹۷)، تأثیر تعداد و موقعیت قرارگیری نقاط کنترل زمینی در دقت به‌دست آمده برای نقشه تهیه‌شده به روش فتوگرامتری پهپاد مینا، سومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی و بیست و پنجمین همایش ملی ژئوماتیک، تهران.
- 2- Agudo, P., Pajas, J., Pérez-Cabello, F., Redón, J., Lebrón, B., (2018), The Potential of Drones and Sensors to Enhance Detection of Archaeological Cropmarks: A Comparative Study Between Multi-Spectral and Thermal Imagery, *Drones*, Volume 2, Pages 29, <https://doi.org/10.3390/drones2030029>.
- 3- Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., Martínez-Carricondo, P., (2017), Accuracy of Digital Surface Models and Orthophotos Derived from Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry, *Journal of Surveying Engineering*, Volume 143, p. 04016025, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000206](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000206).
- 4- Agüera-Vega, F.; Carvajal-Ramírez, F.; Martínez-Carricondo, P., (2017), Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle, *Measurement*, Volume 98, Pages 221-227, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.12.002>.
- 5- Ahmed, R., Hasan Mahmud, K. (2022), Potentiality of high-resolution topographic survey using unmanned aerial vehicle in Bangladesh, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Volume 26, 100729, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.100729>.
- 6- Cevik, P., Kocaman, I. Akgul, A.S., Akca, B., (2013), The Small and Silent Force Multiplier: A Swarm UAV—Electronic Attack. *J Intell Robot Syst* 70, Pages 595-608, doi: <https://doi.org/10.1007/s10846-012-9698-1>.
- 7- Colomina, I., Molina, P., (2014), Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 92, Pages 79-97, ISSN 0924-2716, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>.

- 23- Sanz-Ablanedo, E., Chandler, J., Rodríguez-Pérez, J., Ordóñez, C., (2018), Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and SfM Photogrammetry Survey as a Function of the Number and Location of Ground Control Points Used, *Remote Sensing*, Volume 10, Pages 1606, <https://doi.org/10.3390/rs10101606>.
- 24- Tahar, K.N., (2013), An evaluation on different number of ground control points in unmanned aerial vehicle photogrammetric block, *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Volume XL-2/W2, Pages 93-98. DOI:10.5194/isprsarchives-XL-2-W2-93-2013.
- 25- Tan, Y., & Li, Y., (2019), UAV Photogrammetry-Based 3D Road Distress Detection, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Volume 8, Pages 409. <https://doi.org/10.3390/ijgi8090409>.
- 26- Tsouros, D. C., Bibi, S., Sarigiannidis, P. G., (2019), A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture, *Information*, Volume 10, ISSN 2078-2489, Pages 349, <https://doi.org/10.3390/info10110349>.
- 27- Yang, J., Li, X., Luo, L., Zhao, L., Wei, J., Ma, T., (2022), New Supplementary Photography Methods after the Anomalous of Ground Control Points in UAV Structure-from-Motion Photogrammetry, *Drones*, Volume 6, Pages 105, <https://doi.org/10.3390/drones6050105>.
- 28- Zhang, C., (2008), An UAV-based photogrammetric mapping system for road condition assessment. *Proceedings of the 2008 Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Pages 627-632.
- 29- Zulkipli, M.A., K. N. Tahar, K.N., (2018), Multirotor UAV-Based Photogrammetric Mapping for Road Design, *International Journal of Optics*, Volume 2018, Pages 7, <https://doi.org/10.1155/2018/1871058>.
- Incorporating Hybrid Image Processing. *Sensors*, 17(9), 2052. <https://doi.org/10.3390/s17092052>.
- 16- Martínez-Carricondo, P., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., Mesas-Carrascosa, F.J., García-Ferrer, A., Pérez-Porras F.J., (2018), Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 72, Pages 1-10, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.05.015>.
- 17- Nex, F., & Remondino, F., (2014). UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*, Volume 6, no. 1, Pages 1-15, doi: 10.1007/s12518-013-0120-x.
- 18- P. R. Wolf, P.R., (17 Dec. 2007), *Elements of Photogrammetry, with Air Photo Interpretation and Remote Sensing*, the University of Michigan, ISBN 0070713456, 9780070713451, Length 628 pages.
- 19- Rehak, M & Skaloud, J., (2015), Fixed-wing micro aerial vehicle for accurate corridor mapping, *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, Volume 2, Pages 23–31, <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-1-W1-23-2015>.
- 20- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., Sarazzi, D., (2011), UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling-Current status and future perspectives, *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Volume XXXVIII-1/C22, Pages 14-16, doi:10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-25-2011.
- 21- Rock, G., Ries, J. B., Udelhoven, T., (2011), SENSITIVITY ANALYSIS OF UAV-PHOTOGRAMMETRY FOR CREATING DIGITAL ELEVATION MODELS (DEM), *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XXXVIII-1/C22, Pages 69–73, <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-69-2011>.
- 22- Sankarasrinivasan, S., Balasubramanian, E., Karthik, K., Chandrasekar, U., Gupta, R., (2015), Health Monitoring of Civil Structures with Integrated UAV and Image Processing System, *Procedia Computer Science*, Volume 54, Pages 508-515, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.06.058>.

