Website: https://www.Sepehr.org Online ISSN: 2588-3879; Print ISSN: 2588-3860

Scientific - Research Quarterly

Geographical Data (SEPEHR) Vo.33,No.132, Winter 2025

P.P 07-24

Research paper

https://doi.org/10.22131/SEPEHR.2024.2020063.3051

Investigating the effect of the processing method and accurate ground control points on the quality of the digital surface model obtained from UAV images in forest areas

Havaa Hasanvand [1], Hassan Akbari [2], Shaban Shataee Jouibary*[3], Majid Lotfalian [4], Alireza Hosseinpour [5]

1- PhD student in forestry, Faculty of natural resources, Sari University of agricultural sciences and natural resources, Sari, Iran. Email: havaa.hasanvand93@gmail.com

2- Associate professor, Faculty of natural resources, Sari University of agricultural sciences and natural resources, Sari, Iran. Email: hassan_akbarivas@yahoo.com

3- (*Corresponding author) Professor, Department of forestry, Gorgan University of agricultural sciences and natural resources, Gorgan, Iran. Email: shataee@gau.ac.ir

4- Professor, Department of forestry, Faculty of natural resources, Sari University of agricultural sciences and natural resources, Sari, Iran. Email: mlotfalian@yahoo.com

5- Ph.D. in forestry, Sari of University agricultural sciences and natural resources, Sari, Iran. Email: arhoseinpour88@gmail.com

Article Info

Date of receive:

2024/01/10

Date of last review:

2024/06/14

Date of accept:

2024/06/17

Date of online publication:

2024/06/21

Keywords:

Road technical building,
UAV,
Forest,
Digital Surface Model,
Ground control points

Extended Abstract

Introduction

One of the road quality control methods is the management and planning system based on the use of UAV, which, in addition to being comprehensive, highly accurate, very low-cost, and of course fast, compared to the old methods where the road surface is measured by workers and experts technical and is done in the form of on-site and field visit, it is much more economical (Zhang et al., 2015:38). (Jafari et al., 1401:2) evaluated the accuracy of the longitudinal profile of the road using the UAV system and mapping cameras. The results of the research showed that the digital model of the surface obtained by overlapping the UAV images is capable of evaluating the accuracy of the longitudinal profile of the road and the quality of the images taken by the UAV is very high and provides better and more details and saves time. Forlani et al., 2022:13 evaluated the influence of ground and aerial control points and their quality on the accuracy of the 3D model obtained from the UAV in the southern part of the University of Parma campus. The results showed that by increasing the quality of the coordinates of the lens centers, the accuracy of the 3D point increases, and the height accuracy of the 3D model of the surface increases twice if a ground control point is added. Due to the great importance of forest roads for optimal management and exploitation of forests, new methods should be sought using remote sensing capabilities. Due to being expensive and time-consuming, traditional methods increase the measurement error and decrease the accuracy in the preparation of information and data obtained at the network and research levels. ... **Page 08**

How to Cite:

Hasanvand, H. Akbari, H. Shataee Jouibary, Sh. Lotfalian, M. Hosseinpour, A. (2025). Investigating the effect of the processing method and accurate ground control points on the quality of the digital surface model obtained from UAV images in forest areas. Scientific - Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR). 33(132), 07-24.

The use of remote sensing data and drone images with high spatial resolution reduces the cost and facilitates the monitoring of the condition of forest roads. The purpose of this research is to use the images received by Phantom 3 UAV and ground control points with different numbers and distribution as well as without ground control points to check and measure the technical and geometric characteristics of roads and also compare the effect of DSM production quality processing method on The improvement of the quality of the digital model of the earth is the result of UAV images.

Materials and Methods

UAV images in suitable weather conditions with a flight height of 100 meters from the ground, overlap length of 85% and width of 75%, and a speed of 5 meters per second by the Quadcopter Phantom 3 Pro UAV in the winter season and the condition of forest trees without leaves in January 2023 in a part of The area of Darabkola forests, about 2 km long and 200 meters wide around the road, was received in three separate flight projects during different days. In this research, first, the detailed field measurements of the depth and width of some technical specifications and geometry of forest roads (side channels, gabions, and ditches), surface defects of roads (potholes), and waterways leading to the roads were measured with precise meters and the location of the measurement points was done with DGPS. In addition, several ground control points were made for accurate georeferencing of images and preparation of accurate and integrated orthophoto mosaics of the area using differential GPS and processed using the PPK method. Digital surface models of the region in several modes in the form of processed images in two processing methods with high and medium quality, without accurate GCPs and using accurate GCPs and separate and integrated flight projects were prepared, and technical specifications were extracted from the obtained models and compared with ground observations.

Results and Discussion

The results of the whole area with quality control points (high and medium) compared to the whole area without quality control points (high and medium) showed that the square root of the average error is lower and has the best height accuracy. Ground control points should be evenly distributed throughout the study area (ideally in the form of a triangulated grid). In this case, the maximum distance of each control point to other control points will be as small as possible. For a certain number of control points, the accuracy obtained by using an optimal distribution was twice better than when the control points had an inappropriate distribution. The best results for accuracy were obtained by considering the control points in the present study. These results are with the studies of Heydari Mozafar et al. (1401:3), Ghafari Thabit et al. (2018: 6), Abbaspour et al. (2017: 4), Zhang et al. (2015: 38) and Rock et al. (2022: 34) are consistent. Also, flight plan areas 1, 2, and 3 with quality control points (high and medium) have a lower mean square root of error than flight plan areas 1, 2, and 3 without quality control points (high and medium). The dispersion of ground control points is more effective than the number of ground control points on the accuracy of the 3D surface model. These findings are in agreement with the results of some researchers, including Ruzgienė et al. (2015: 33), and Gindraux et al. (2017:16) who concluded in their studies that proper distribution of control points has a significant effect on the accuracy of the 3D model up to a certain range Is Consistent. The addition of control points of the flight plan area 1, 2, and 3 in the present study increased the accuracy of the 3D model In this regard Forlaniet al (2022:13) Adding a ground control point roughly doubles the elevation accuracy of the 3D surface model, noted.

Conclusion

The results showed that the DSM produced from UAV images could extract some technical and geometrical characteristics of forest roads. Overall, the results of the surveys showed that the DSM generated from drone imagery is capable of extracting some technical and geometrical specifications of forest roads and forest land micro topography, but requires the use of precise ground control points and high-quality image processing.

شاپای الکترونیکی: 3879-2588 / شاپای چاپی: 3860-2588
تارنمای نشریه https://www.Sepehr.org

فصلنامه علمی - پژوهشی
اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره۳۳، شماره ۱۳۲، زمستان ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی
صفحات ۲۴ - ۰۷

https://doi.org/10.22131/SEPEHR.2024.2020063.3051

بررسی اثر روش پردازش و نقاط کنترل زمینی دقیق بر کیفیت مدل رقومی ارتفاعی سطح زمین حاصل از تصاویر پهپادی در مناطق جنگلی

هوا حسنوند[۱]، حسن اکبری[۲]، شعبان شتایی جویباری*[۳]، مجید لطفعلیان[٤]، علیرضا حسین‌پور[٥]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران و بهره‌برداری جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران havaa.hasanvand93@gmail.com
۲- دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران hassan_akbarivas@yahoo.com
۳- (*نویسنده مسئول) استاد گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران shataee@gau.ac.ir
٤- استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران mlotfalian@yahoo.com
٥- دانش آموخته دکتری جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران arhoseinpour88@gmail.com

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:
۱٤۰۲/۱۰/۲۰
تاریخ آخرین بازنگری:
۱٤۰۳/۰۳/۲٥
تاریخ پذیرش:
۱٤۰۳/۰۳/۲۸
تاریخ انتشار:
۱٤۰۳/۰٤/۰۱

واژه‌های کلیدی:
ابنیه فنی جاده؛
تصاویر پهپادی؛
جنگل؛
مدل رقومی سطح زمین؛
نقاط کنترل زمینی

چکیده

با توجه به ضرورت کسب اطلاعات به روز از وضعیت پستی‌وبلندی‌های ریز جنگلی و همچنین وضعیت تخریب سطح‌رویی جاده‌های جنگلی، نیاز به مطالعه دقیق و بررسی روش‌ها و منابع نوین سنجش‌ازدوری نظیر تصاویر پهپادی و الزامات پردازش‌های مناسب تصویر وجود دارد. این تحقیق با هدف کلی بررسی قابلیت تصاویر پهپادی در تولید مدل رقومی سطح زمین در مناطق جنگلی و ضرورت استفاده از نقاط کنترل زمینی دقیق با تعداد و پراکندگی متفاوت برای استخراج مدل دقیق رقومی سطح زمین و استخراج مشخصات فنی و هندسی جاده‌ها با استفاده از تصاویر پهپادی و مقایسه اثر روش پردازش کیفیت تولید DSM انجام شده است. ابتدا تصاویر پهپادی برداشت و سپس برداشت‌های میدانی دقیق برخی مشخصات فنی و هندسی جاده‌های جنگلی (جوی کناری، گابیون و آبروها)، معایب سطحی جاده‌ها (چاله‌ها) و آبراهه‌های فرعی صورت گرفت. بعد از آن، پردازش تصاویر با استفاده از روش‌های مختلف در دو سطح با کیفیت متوسط و بالا و در دو حالتِ با و بدون نقاط کنترل زمینی انجام و مدل های رقومی سطح زمین منطقه تولید شدند. ارزیابی دقت ارتفاعی مدل‌های رقومی به‌دست‌آمده صورت گرفت. تصاویر پهپاد در فصل خزان درختان جنگلی در بخشی از جنگل‌های دارابکلای ساری در سه پروژه پروازی مجزا تهیه شدند. ابزارهای مورداستفاده در پژوهش حاضرعبارتند از: یک دستگاه پهپاد Phantom3 Pro با دوربین رقومی طیف مرئی، دو دستگاه موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی Trimble R3 برای برداشت نقاط کنترل زمینی و نقاط سطح‌رویی جاده‌ها و میکروتوپوگرافی سطح زمین داخل جنگل و متر دقیق برای اندازه‌گیری عمق و فاصله. این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار Agiosoft Photoscan به‌منظور پردازش تصویر و از نرم‌افزار ArcGIS10.8.2 برای پیاده کردن قطعات نمونه بر روی تصویر انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد که در تمامی موارد، خطای اندازه‌گیری‌های مشخصات در مدل رقومی زمین حاصل از روش پردازش با کیفیت بالا، کمتر بود. جذر میانگین مربعات خطای (RMSE) برای عرض جوی کناری با به‌کارگیری نقاط کنترل زمینی دقیق و با پردازش با کیفیت بالا ۷/٤ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۱۰/۳ سانتی‌متر بوده است، درحالی‌که برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۹/۳ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۱۱/۳ سانتی‌متر به دست آمد. به‌طورکلی نتایج بررسی‌ها نشان داد که DSM حاصل از تصاویر پهپادی، قابلیت استخراج برخی مشخصات فنی و هندسی جاده‌های جنگلی و میکروتوپوگرافی اراضی جنگلی را دارد ولی نیازمند استفاده از نقاط کنترل زمینی دقیق و پردازش تصاویر با مد پردازشی کیفیت بالا نیز هست.

استناد به این مقاله:

حسنوند، هـ؛ اکبری، ح؛ شتایی جویباری، ش؛ لطفعلیان، م؛ حسین‌پور، ع (۱٤۰۳). بررسی اثر روش پردازش و نقاط کنترل زمینی دقیق بر کیفیت مدل رقومی ارتفاعی سطح زمین حاصل از تصاویر پهپادی در مناطق جنگلی. فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر) ۳۳ (۱۳۲)، ۲٤-۰۷.

مقدمه

احداث جاده‌های جنگلی به‌عنوان شریان حیاتی مدیریت و برنامه‌ریزی جنگل هیرکانی، استفاده از خدمات مختلف آن، اجرای عملیات حفاظت و احیاء جنگل‌ها و حمل‌ونقل محصولات چوبی و غیرچوبی یک نیاز اساسی بوده و در افزایش درآمد ملی کشور نقش ویژه‌ای دارد (Salmalian et al., 2018:37). جاده جنگلی در محیط طبیعی و تحت‌تأثیر شرایط اقلیمی، باران شدید و برف سنگین با احتمال تخریب بسیار بالا قرار دارد. به‌منظور عملکرد درست و پایدار شبکه جاده‌های جنگلی و حفظ سرمایه اولیه ساخت این شبکه، لازم است مدیریت جنگل به امر نظارت و نگهداری منظم جاده‌های جنگلی توجه ویژه داشته باشد (Mustafa 26: Görkem Ciritcioğlu and Ender Buğday, 2022). اگر جاده جنگلی به‌خوبی طراحی و توزیع شود کمترین تخریب و صدمه به توده بیولوژیکی و رویشگاه وارد می‌شود و جنگل ازنظر مدیریت بهینه در مطلوب‌ترین شرایط خود قرار می‌گیرد (Mostofa-Amin et al., 2017: 25). ساخت جاده موجب به‌هم خوردن مسیر آب‌های طبیعی، باعث ایجاد سطح نفوذناپذیر، ایجاد رواناب توسط جوی کناری، آبروهای عرضی، دامنه‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی می‌شود (Naghdi et al., 2017:26). چاله‌ها را در سطح جاده ایجاد می‌کند (Nasiri et al., 2012:27).

جوی کناری که یکی از اجزای بسیار مهم راه‌های جنگلی است به‌منظور حفاظت از ساختمان راه و زهکشی جریانات سطحی، در یک یا دو طرف جاده ساخته می‌شود (Cao et al., 2021:9). آبراهه‌ها از مهم‌ترین پارامترهای هیدرولوژی حوضه آبخیز هستند. توپوگرافی‌ها در توزیع جریان آب در مناطق طبیعی نقش مهمی دارند؛ بنابراین، ارزیابی کمی این فرآیند با شکل توپوگرافی منطقه ارتباط نزدیکی دارد. در روش سنتی، برای تعیین شبکه آبراهه‌ها از انحنای خطوط توپوگرافی آبراهه‌ها در نقشه‌های توپوگرافی استفاده می‌شود. امروزه می‌توان با به‌کارگیری مدل‌های رقومی ارتفاعی به روش‌های مختلف، به تهیه شبکه آبراهه پرداخت (Kiani et al., 2021:18). برخورد قطرات باران به سطح روسازی جاده موجب ازهم‌پاشیدگی ذرات خاک شده که

یکی از روش‌های کنترل کیفیت جاده، سیستم مدیریت و برنامه‌ریزی مبتنی بر بهره‌گیری از پهپاد است که علاوه بر جامعیت و دقت زیاد، بسیار کم‌هزینه و البته سریع است و در مقایسه با روش‌های قدیمی که سطح راه‌ها توسط کارگران و کارشناسان فنی و با حضور در محل مورد بازدید میدانی قرار می‌گیرند، بسیار مقرون‌به‌صرفه‌تر است (Podobnikar et al., 2020:29). در کشورهای مختلف از پرنده‌های بدون سرنشین (UAV)[1] به‌طور گسترده‌ای بهره‌برداری شده است (Prisacariu et al., 2017:30). این پرنده‌ها ویژگی‌هایی دارند که کاربردشان را در عرصه‌های جنگلی توجیه می‌کند. از آن جمله می‌توان به انعطاف‌پذیری در برنامه‌ریزی پرواز، کیفیت و تراکم زیاد داده‌ها (Yang et al., 2022:36) و امکان استفاده از الگوریتم‌های خودکار در پردازش‌ها اشاره کرد (Mlambo et al., 2017:23). امروزه استفاده از پهپاد یکی از روش‌های فتوگرامتری نوین برای تولید مدل رقومی سطح (DSM)[2] است. به‌طورکلی مدل رقومی سطح نمایش سه‌بعدی از زمین به همراه دیگر عوارض طبیعی و انسان‌ساخت است. مدل رقومی سطح دقیق با وضوح بالا در انواع مختلف فعالیت‌ها ازجمله مدل‌سازی و شبیه‌سازی‌های مربوط به ارتفاع در سطح زمین، محاسبات مربوط به خاک‌برداری و خاک‌ریزی، نقشه‌برداری زمین و محاسبات حجم در مهندسی عمران، تولید منحنی میزان‌ها با کیفیت بالا، تولید ارتوفتو، ارزیابی کیفیت داده‌ها و تهیه نقشه‌های توپوگرافی در نقشه‌برداری و فتوگرامتری و غیره کاربرد دارد. دقت و صحت DSMهای تولیدشده توسط فتوگرامتری به پارامترهای هندسی و فیزیکی مانند مقیاس تصویر، نسبت فاصله پایه به شیء استریو، هندسه شبکه دوربین (نادیرال، متقاطع، نوارهای مایل)، درصد همپوشانی نوارها (طولی و عرضی)، دقت و توزیع نقاط کنترل زمین (GCP)[2] کالیبراسیون دوربین، شرایط نور، ضریب شکست هوا، کیفیت حس‌گر (نسبت سیگنال به نویز

1- Unmanned Aerial Vehicle
2- Digital Sourfase Model
2- Ground Controul Point

و محدوده دینامیکی)، وضوح تصویر (بدون تاری)، تطبیق تصویر، نویز ابر نقطه و الگوریتم‌های حذف نقاط پرت بستگی دارد *(Cevik et al., 2023:10)*. امروزه در بین فناوری‌های نقشه‌برداری هوایی و زمینی فتوگرامتری پهپاد تبدیل به یکی از برداشت‌های مکانی با توجه به ملاحظات هزینه، زمان، کیفیت و تنوع خروجی داده‌ها شده است *(Senkal et al., 2021:38)*. در سال‌های اخیر استفاده از پهپادها، به محبوبیت قابل‌توجهی رسیده است، زیرا پهپادها می‌توانند به سرعت و با یک چرخه تکرار کوتاه، تصاویر با وضوح بالا و داده‌های سه‌بعدی را در سطح درختان تهیه نمایند و اغلب می‌توانند پایین‌تر از ابرها پرواز کنند و با محدود کردن تأثیر ابرها، به کاربران این امکان را می‌دهند که داده‌های موردنیاز را با وضوح مکانی بالا تهیه نمایند *(Hao et al., 2021:17)*. پیشرفت‌های اخیر سنجش‌ازدور به‌طور قابل‌توجهی تصاویر رنگ طبیعی را با هزینه کم و جمع‌آوری تصاویر را با وضوح زیاد (محدوده کمتر از ۱۰ سانتی‌متر) ممکن کرده که با توجه به نوع و ارتفاع پرواز سکوهای پهپادی، دقت‌های مکانی متفاوتی دارد *(تقی‌پور و همکاران، ۱۳۹۷:۲)*.

در این راستا عباسپور و ورشوساز (۱۳۹۷:۵) در شمال غربی شهرستان قزوین در راستای تأثیر پراکندگی و تعداد نقاط کنترل بر روی دقت مدل سه‌بعدی حاصل از تصاویر فتوگرامتری پهپاد مطالعه‌ای انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد اضافه شدن نقاط کنترل در مرکز بلوک باعث افزایش دقت ارتفاعی شده و تأثیر کمتری بر روی دقت مسطحاتی دارند.

غفاری ثابت و همکاران (۱۳۹۸: ۷) ارزیابی تصاویر پهپاد در تهیه نقشه و بازنگری راه‌های روستایی در خسبان طالقان البرز را با و بدون نقاط کنترل زمینی بررسی کردند. نتایج نشان داد دقت خروجی اندازه‌گیری‌ها با نقطه کنترل زمینی ۰/۰۷ سانتی‌متر و بدون نقاط کنترل زمینی ۰/۰۸ سانتی‌متر است.

جعفری و همکاران (۱۴۰۱:۳) با استفاده از سامانه پهپاد و دوربین‌های نقشه‌برداری به ارزیابی دقت پروفیل طولی جاده پرداختند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که مدل رقومی سطح حاصل از هم‌پوشانی تصاویر پهپادی، قابلیت ارزیابی دقت پروفیل طولی جاده را دارد و کیفیت تصاویری که توسط پهپاد اخذ می‌شوند بسیار بالاست و جزئیات بیشتری ارائه می‌دهند و در زمان صرفه‌جویی می‌شود.

(Raczynsk, 2017: 31) تأثیر پارامترهای ارتفاع پرواز، پوشش طولی و عرضی تصاویر همچنین سرعت پرنده در ایستگاه‌های عکس را بر روی کیفیت هندسی مدل سه‌بعدی مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد به‌طورکلی افزایش ارتفاع، باعث کاهش دقت می‌شود.

(Rieckermann,2018: 33) پژوهشی را انجام داد که در آن تأثیر پارامترهای ارتفاع پرواز و پوشش طولی و عرضی تصاویر روی کیفیت هندسی ارتوفتو مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد همیشه افزایش ارتفاع منجر به مقادیر بالای جذر میانگین مربعات خطا نمی‌شود. علاوه بر این، افزایش میزان همپوشانی باعث افزایش استحکام، دقت و اعتمادپذیری در نتایج می‌شود.

(Senkal et al., 2021:38) در اسکی شهیر ترکیه که در آن پارامترهای نقاط کنترل زمینی و هوایی، پوشش تصویربرداری و ارتفاع پرواز را بر روی کیفیت مدل سه‌بعدی سطح مورد ارزیابی قرار دادند؛ نتایج این تحقیق نشان داد اختلاف ارتفاع نقاط کنترل تأثیر کمتری نسبت به پارامترهای ارتفاع پرواز و پوشش‌های تصویربرداری بر روی دقت مدل سه‌بعدی سطح دارند.

(Forlani et al., 2023:12) در قسمت جنوبی پردیس دانشگاه پارما تأثیر نقاط کنترل زمینی و هوایی و کیفیت آنها بر روی دقت مدل سه‌بعدی حاصل از پهپاد را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد با افزایش کیفیت مختصات مراکز عدسی دقت نقطه سه‌بعدی افزایش یافته و دقت ارتفاعی مدل سه‌بعدی سطح در صورت اضافه شدن یک نقطه کنترل زمینی دو برابر افزایش می‌یابد.

(Gerke and Przybilla, 2023:15) کیفیت هندسی مدل سه‌بعدی سطح حاصل سه یخچال طبیعی را در کوه‌های

آلپ سوئیس در طول زمستان، تابستان و پاییز با توجه پارامتر نقاط کنترل ارزیابی کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد در صورت پراکندگی مناسب نقاط کنترل، افزایش تعداد نقاط کنترل تا یک محدوده مشخص تأثیر معناداری روی دقت مدل سه‌بعدی دارند. با توجه به اهمیت بسیار زیاد جاده‌های جنگلی برای مدیریت و بهره‌برداری بهینه از جنگل‌ها و لزوم کنترل وضعیت فنی و میزان خسارت‌های احتمالی بر جاده‌های احداث‌شده و همچنین کسب اطلاعات از وضعیت توپوگرافی جنگل و اطراف جاده‌های جنگلی باید به دنبال روش‌های نوین با استفاده از قابلیت‌های سنجش‌ازدور به‌خصوص سنجش‌ازدور هوایی بود. در روش‌های سنتی، برداشت و ارزیابی خرابی‌های جاده‌ها توسط افراد مجرب، انجام می‌پذیرد. این برداشت‌ها با پیاده‌روی به‌دست می‌آیند که ازجمله معایب این روش علاوه بر کند و زمان‌بر بودن می‌توان به خطرناک بودن برداشت به دلیل سرعت بالای ترافیک، عدم قابلیت برداشت مجدد، هزینه بالا، خطای اندازه‌گیری و دخیل بودن طبع و نظر برداشت کننده، انجام عملیات تکراری و کسل‌کننده اشاره نمود که موجب کاهش دقت در تهیه اطلاعات و داده‌های به‌دست‌آمده در سطوح شبکه و پژوهش می‌شود. از طرفی به دلیل عدم برداشت کامل در کل شبکه جاده، در چند مقطع تصادفی صورت گرفته و با روش‌هایی به کل مقاطع تعمیم داده می‌شود که از دقت کمی برخوردار بوده و نتایج غیرواقعی و غیردقیق را به همراه دارد. استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و تصاویر پهپادی با قدرت تفکیک مکانی زیاد سبب کاهش هزینه و تسهیل پایش وضعیت جاده‌های جنگلی می‌شود. همچنین استفاده از تصاویر پهپاد برای تهیه نقشه‌های توپوگرافی با دقت و صحت موردنظر نیاز به اندازه‌گیری و استفاده از نقاط کنترل زمینی دارد. اخذ نقاط کنترل زمینی دقیق، زمان‌بر و پرهزینه در عملیات فتوگرامتری پهپاد است؛ بنابراین محققان در تلاش هستند تا روش‌هایی توسعه دهند که بتوان بدون استفاده از این نقاط و یا با حداقل تعداد نقاط به دقت و صحت و قابلیت اطمینان در نقشه تهیه‌شده رسید. هدف اصلی این تحقیق استفاده از تصاویر پهپاد و نقاط کنترل زمینی با تعداد و پراکندگی متفاوت و همچنین بدون نقاط کنترل زمینی برای بررسی و اندازه‌گیری مشخصات فنی و هندسی جاده‌ها و توپوگرافی سطح زمین مناطق جنگلی و همچنین مقایسه اثر روش پردازش کیفیت تولید DSM بر بهبود کیفیت مدل رقومی زمین حاصل از تصاویر پهپاد است.

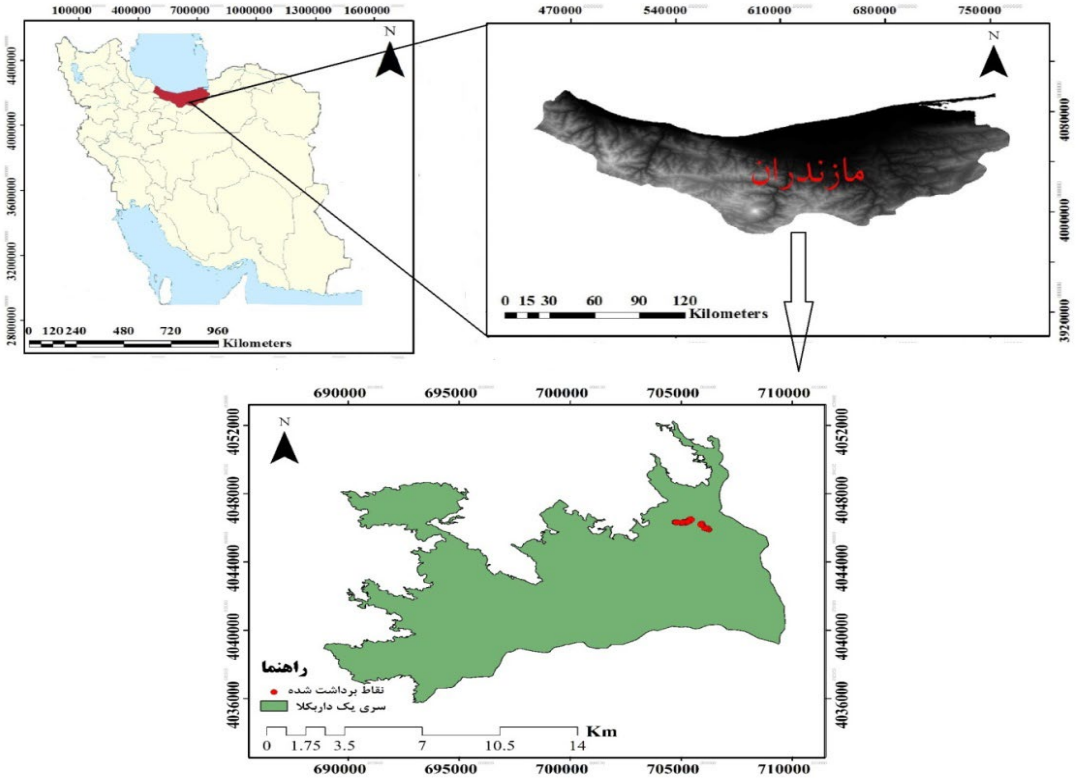
مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

پژوهش پیش‌رو در جنگل‌های سری یک دارابکلا در حدود ۱۵ کیلومتری شرق شهرستان ساری با مساحت ۲۶۱۲ هکتار در حاشیه رشته‌کوه‌های البرز و در قسمت مرکزی آن و در ارتفاعات پایین‌بند تا میان‌بند حوضه آبخیز ۷۴ انجام شد. منطقه انتخاب شده، در محدوده جغرافیایی ″۰۰ ′۲۳ °۳۶ تا ″۰۰ ′۳۳ °۳۶ عرض شمالی و ″۰۰ ′۳۱ °۵۲ تا ″۰۰ ′۲۰ °۵۲ طول شرقی قرار گرفته است. حداقل ارتفاع عرصه موردنظر از سطح دریای آزاد ۱۶۰ متر و حداکثر ۷۱۰ متر و بیش‌ترین پراکنش سطوح آن در میانگین ارتفاعی ۵۰۰ متر قرار دارد. این جنگل‌ها از شمال به روستای دارابکلا، از جنوب به جنگل‌های بخش ۵ نکا - ظالم رود، از شرق به بخش یک نکا چوب و از غرب به سری دو دارابکلا محدود است که با احتساب اراضی بدون پوشش محاط در آن و عرصه‌هایی که به‌صورت مصنوعی و از طریق جنگل‌کاری احیاء شده‌اند مجموعاً سطحی حدود ۲۶۱۲ هکتار را در بر می‌گیرد. تیپ این جنگل‌ها در ارتفاعات پایین بلوط- ممرز، ممرز- انجیلی و ممرز- راش و در ارتفاعات بالا (۷۰۰ متر) راش- ممرز یا راش است *(کتابچه طرح جنگلداری دارابکلا، سازمان جنگل‌ها، ۱۳۸۳: ۷)*.

داده‌های پهپاد

تصاویر پهپاد در شرایط جوّی مناسب با ارتفاع پروازی ۱۰۰ متر از سطح زمین، همپوشانی طولی ۸۵ درصد و



نگاره۱: موقعیت منطقه موردمطالعه در ایران و استان مازندران

عرضی ۷۵ درصد و با سرعت ۵ متر بر ثانیه توسط پهپاد کوادکوپتر Phantom3 Pro در فصل زمستان و شرایط بدون برگی درختان جنگلی در بهمن سال ۱٤۰۱ در بخشی از محدوده جنگل‌های دارابکلا به طول حدوداً ۲ کیلومتر جاده به پهنای ۲۰۰ متر اطراف جاده (نگاره ۱) و در سه پروژه پروازی مجزا در طی روزهای مختلف دریافت شد. این پهپاد مجهز به دوربین ۱۲/۷ مگاپیکسل Sony Exmor با فاصله کانونی ۲/۸ میلی‌متر به علت توانایی بالای تمرکز و نزدیک شدن به جاده‌ها برای بررسی دقیق‌تر، استفاده شد. دارای توانایی تصویربرداری در طول‌موج ۰/٤ الی ۰/۷ میکرومتر (باندهای آبی، سبز و قرمز) است. دوربین ۱۲/۷ مگاپیکسلی پهپاد قادر به تولید تصاویری با اندازه پیکسل ٤/۲ سانتی‌متر در ارتفاع پرواز ۱۰۰ متر بوده و با کاهش ارتفاع به ٤۰ متر، تصاویری با قدرت تفکیک مکانی ۱/٤ سانتی‌متر تولید می‌نماید.

جدول۱: مشخصات قدرت طیفی و مکانی پهپاد فانتوم پرو۳

تصاویر پهپاد	ویژگی‌های طیفی و مکانی (سانتی‌متر)	طول‌موج (میکرومتر)	ارتفاع (متر)
قدرت تفکیک طیفی	باند آبی –باند سبز–قرمز	۰/٤ –۰/۷	–
قدرت تفکیک مکانی	۲/٤	–	۱۰۰
	۱/٤	–	٤۰

تصاویر برداشت‌شده طی سه پروژه پروازی مجزا انجام و ۲۳۳۱ تصویر اخذ و ذخیره‌سازی شد. به‌منظور زمین مرجع‌سازی و تهیه ارتوفتوموزائیک منطقه در مراحل پردازش، قبل از انجام پروژه‌های پرواز، در مناطق باز منطقه شش نشانه (پریک) بر روی زمین گذاشته شد. موقعیت دقیق مرکز نمونه‌ها توسط سامانه موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی (DGPS)[1] با استفاده از دو دستگاه Trimble R3 به

1- Differential Global Positioning System

روش پردازش بعد از برداشت (PPK)[1] اخذ شد و سپس توسط نرم‌افزار (TBC)[2] مورد پردازش قرار گرفت. نگاره۲ نمونه‌ای از نقاط کنترل زمینی و DGPS تفاضلی استفاده شده را نشان می‌دهد.

نگاره۲: نقطه کنترل زمینی در عرصه (راست) و برداشت همان نقطه کنترل زمینی با DGPS (چپ)

پردازش تصاویر پهپاد

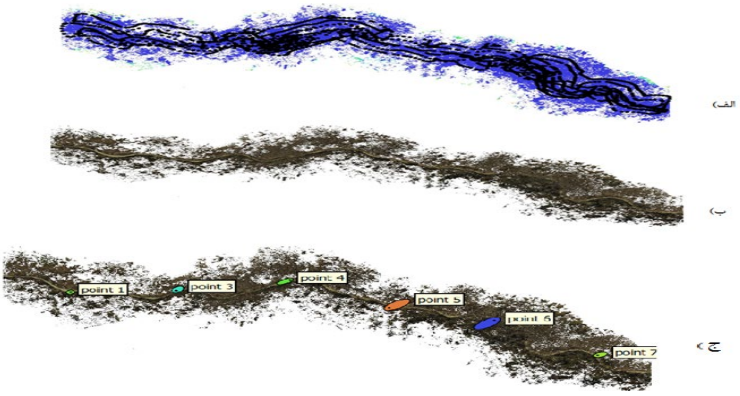
پس از اخذ تصاویر پهپاد، آماده‌سازی‌های اولیه برای بررسی کنترل کیفیت تصاویر و حذف تصاویر باکیفیت پایین انجام گرفت. ابتدا عکس‌های برداشت‌شده در عملیات پروازی، وارد نرم‌افزار Agiosoft Photoscan شدند. کیفیت عکس‌ها با استفاده از تابع برآورد کیفیت خودکار، مورد ارزیابی قرار گرفت. هرگاه مقدار عددی این تابع برابر یک باشد، نشان‌دهنده این است که تصاویر برداشت‌شده دارای بهترین کیفیت است و چنانچه کیفیت تصاویر کمتر از ۰/۵ باشد امکان اجرای پردازش‌های بعدی وجود ندارد. یک ساختار سه‌بعدی که اطلاعاتی در مورد موقعیت‌های نسبی دوربین و فاصله‌های نسبی بین دوربین و شیء نیز ارائه می‌دهد، خروجی نهایی این فرآیند خواهد بود (*Leonardi et al., 2020:19*). نرم‌افزار Agiosoft Photoscan با بهره‌گیری از اپراتور SIFT نقاط مشترک را در تصاویر پهپاد جستجو کرده و با یکدیگر متناظر می‌کند. برای این کار، به‌منظور تأثیر مد کیفیت پردازش و اثر نقاط کنترل دقیق زمینی و همچنین بررسی اثر پروژه‌های پروازی بر کیفیت مدل رقومی سطح تولیدی، تولید مدل رقومی سطح برای کل منطقه (یکپارچه‌سازی تصاویر پروژه‌های پرواز) و برای هر یک از پروژه‌های پروازی به‌طور جداگانه انجام و همچنین با نقاط کنترل زمینی دقیق اخذشده توسط DGPS و بدون نقاط کنترل دقیق تهیه شد. پردازش تصاویر در نرم‌افزار (Agisoft Metashape Professional 1.8) با دو کیفیت بالا و متوسط انجام شد و با استفاده از الگوریتم حرکت مبنا (SfM)، ابر نقاط کم‌تراکم که خروجی این مرحله است در مناطق مشترک عکس‌ها ایجاد شد. در مرحله پردازش اولیه، ابر نقاط پراکنده تولیدشده تنها از نقاط گرهی تشکیل شده و دارای تراکم کم است که برای ایجاد هندسه یک مدل سه‌بعدی مناسب، ناکافی است. در مرحله بعد با استفاده از پارامترهای دوربین و تصویر و ابر نقاط پراکنده حاصل از مرحله قبل، ابر نقاط متراکم که از میلیون‌ها نقطه تشکیل شده است برای تشکیل هندسه مدل ایجاد شد. سپس با استفاده از ابر نقاط متراکم، مدل رقومی سطح (DSM) با قدرت تفکیک ۷سانتی‌متر و ارتوفتوموزائیک پهپاد ٤سانتی‌متر به‌صورت خودکار تولید شد.

مشخصات پردازش تصاویر پهپاد در نرم‌افزار Agisoft Metashape Professional 1.8 در جدول۲ و همچنین در نگاره۳ همپوشانی تصاویر، ابر نقاط متراکم و نقاط کنترل زمینی در نرم‌افزار Agisoft photoscan قابل‌مشاهده هستند. سپس با ترسیم عارضه خطی در نرم‌افزار ArcGIS، در هر نمونه اطلاعاتی شامل عمق و عرض جوی کناری، عمق و عرض گابیون، عمق و عرض آبراهه و عمق و عرض چاله‌ها اندازه‌گیری شد.

برداشت داده‌های زمینی

موقعیت داده‌های عرصه‌ای با استفاده از دستگاه DGPS تفاضلی برداشت شد. پس از پیاده‌سازی قطعات، به‌صورت تصادفی تعداد ٤۳ نمونه با رعایت توزیع مناسب در طول مسیر جاده انتخاب شدند. نگاره ٤ موقعیت مکانی نمونه‌های برداشت‌شده اورتوموزاییک تهیه‌شده از تصاویر پهپاد را نشان می‌دهد.

1- Post Processing Kenimatic
2- Trimble Business Center

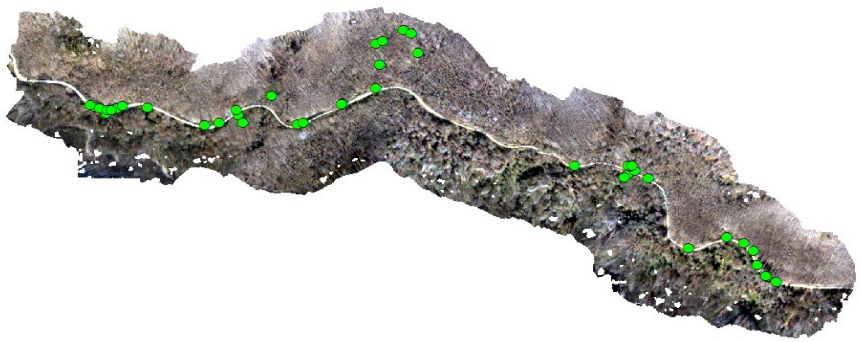


نگاره۳: الف (همپوشانی تصاویر، ب) ابر نقاط متراکم، ج) نقاط کنترل زمینی

جدول۲: مشخصات پهپاد فانتوم پرو ۳

نام کامل محصول	DJI Phantom 3 Professional
ابعاد محصول	قطر به همراه ملخ‌ها ۵۹ سانتی‌متر
وزن محصول	۱۲۱۶ گرم
خروجی تصویر	وایرلس
قابلیت ارتقاء حافظه	تا ٦٤ گیگابایت Micro SD
دوربین اصلی	۱۲/۸مگاپیکسل-قابلیت فیلم‌برداری K4
سایر امکانات دوربین	رنج ایزو ۱۰۰ تا ۳۲۰۰
جی‌پی‌اس	مجهز به GPS داخلی با دقت بالا
ارتباط USB	USB Version2
حسگرها	قطب‌نما-ارتفاع‌سنج-شتاب‌سنج-ژیروسکوپ-فراصوت-حس‌گر اولتراسونیک
باتری	٤ سلولی -٤٤٨٠ میلی‌آمپر-۱۵/۲ ولت
سایر امکانات	مجهز به سیستم کمک پرواز-سیستم Way Point- سیستم Follow me-سیستم Lock Home

منبع: *(www.dji.com)*



نگاره٤: موقعیت مکانی نمونه‌های برداشت‌شده اورتوموزاییک تهیه‌شده از تصاویر پهپاد

نگاره۵: الف) عمق و عرض چاله ب) عمق و عرض آبراهه ج) عمق و عرض جوی کناری

در هر نمونه اطلاعاتی شامل عمق و عرض جوی کناری، عمق و عرض گابیون، عمق و عرض آبراهه و عمق و عرض چاله‌ها اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از متر نواری، خط کش و دستگاه DGPS تفاضلی انجام گرفت *(Majnounian et al., 2010:20)*. در نگاره ۵ اندازه‌گیری عمق و عرض چاله‌ها، آبراهه‌ها و جوی کناری قابل مشاهده است.

ارزیابی دقت

برای ارزیابی دقت مدل‌های رقومی سطح و دقت مشخصه‌های موردبررسی، از داده‌های برداشت زمینی به‌عنوان داده‌های مبنا در تحقیق حاضر استفاده شده است. به‌این وسیله تعداد ۲۰ جوی کناری، ۱۳ آبراهه، ۵ چاله و ۵ گابیون در منطقه برداشت و با اطلاعات به‌دست‌آمده از روش موردمطالعه مقایسه شد. برای مقایسه میزان تفاوت نقاط استخراجی از مدل رقومی سطح با داده‌های مبنا از معیار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شده است (رابطه ۱).

$$RMSE\% = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2 / n}}{\bar{Y}} \times 100$$

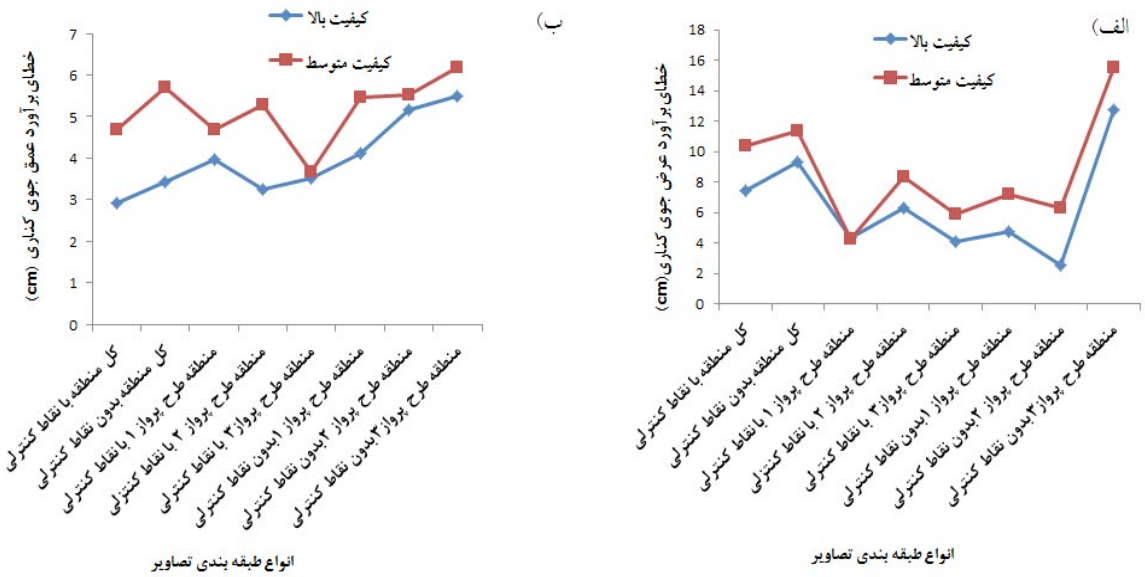
رابطه(۱)

در رابطه(۱) $\hat{y}_i$ مقدار برآورد شده، $\bar{Y}$ میانگین برآورد شده و y مقدار مشاهده‌شده و همچنین n تعداد (قطعات نمونه) است.

خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) تفاوت میان مقدار پیش‌بینی‌شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی و یک ابزار مناسب برای مقایسه خطاهای پیش‌بینی‌شده توسط یک مجموعه داده است؛ بنابراین از این عدد به‌عنوان یک شاخص مهم می‌توان استفاده نمود *(Remondino et al., 2011:32)*.

نتایج

نتایج ارزیابی خطای برآورد (RMSE) برای مشخصه عرض جوی کناری جاده جنگلی نشان داد که در حالت یکپارچه‌سازی کل منطقه پروازهای روزهای متفاوت با نقاط کنترل زمینی اخذشده توسط DGPS و با روش پردازش کیفیت بالا، مقدار آن ۷/٤ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط مقدار آن ۱۰/۳ سانتی‌متر بوده است درحالی‌که برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۹/۳ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۱۱/۳ سانتی‌متر بوده است. این نتیجه نشان



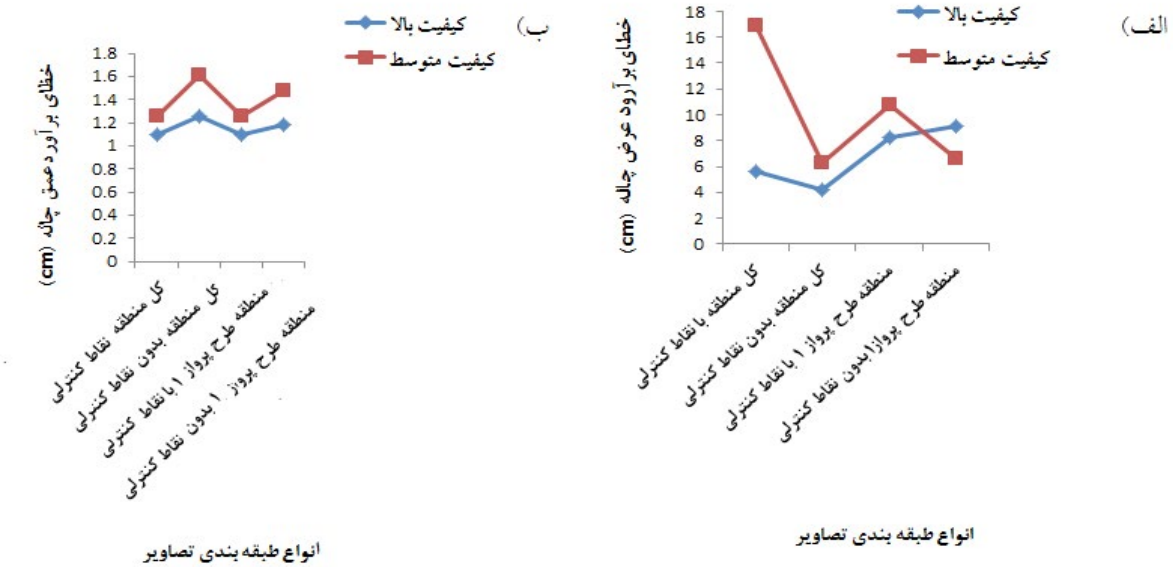
نگاره٦: مقایسه روش‌های مختلف پردازش تصاویر و طرح پرواز ازنظر خطای برآورد
الف) عرض جوی کناری، ب) عمق جوی کناری

می‌دهد که اثر نقاط کنترل زمینی دقیق در تهیه مدل رقومی سطح دقیق و با کیفیت در کاهش میزان خطا قابل‌توجه است. منطقه طرح پرواز ۱ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٤/٣ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٤/٢ سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٤/٧ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٧/١ سانتی‌متر بوده و منطقه طرح پرواز ٢ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٦/٢ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٨/٢ و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٢/٥٠ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٦/٣ سانتی‌متر بوده است. منطقه طرح پرواز ٣ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٤/٠٦ سانتی‌متر و کیفیت متوسط ٥/٨ سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ١٢/٧ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ١٥/٤ سانتی‌متر بوده است (نگاره ٦ الف). نتایج ارزیابی خطای برآورد (RMSE) برای مشخصه عمق جوی کناری نشان داد که در حالت یکپارچه‌سازی کل منطقه پروازهای روزهای متفاوت با نقاط کنترل زمینی اخذشده توسط DGPS و با روش پردازش کیفیت بالا مقدار آن ٢/٩ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط مقدار آن ٤/٦ سانتی‌متر بوده درحالی‌که برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٣/٤ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٥/٧ سانتی‌متر بوده است. منطقه طرح پرواز ١ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٣/٩ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٤/٦ سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٤/١ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٥/٤ سانتی‌متر بوده است؛ و منطقه طرح پرواز ٢ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٣/٢ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٥/٢ سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٥/١ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٥/٥ سانتی‌متر بوده است. منطقه طرح پرواز ٣ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٣/٥ سانتی‌متر و کیفیت متوسط ٣/٦ سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٥/٥ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٦/١ سانتی‌متر بوده است (نگاره ٦ ب).

نتایج ارزیابی خطای برآورد (RMSE) برای مشخصه عرض چاله جاده جنگلی نشان داد که در حالت یکپارچه‌سازی کل منطقه پروازهای روزهای متفاوت با نقاط کنترل زمینی اخذشده توسط DGPS و با روش پردازش

کیفیت بالا مقدار آن ۵/۵ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط مقدار آن ۱۶/۸ سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٤/۲ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٦/۲سانتی‌متر بوده است. منطقه طرح پرواز ۱ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۸/۲ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۱۰/۷سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۹/۱سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٦/۵ سانتی‌متر بوده است (نگاره ۷ الف). نتایج ارزیابی خطای برآورد (RMSE) برای مشخصه عمق چاله جاده جنگلی نشان داد که در حالت یکپارچه‌سازی کل منطقه پروازهای روزهای متفاوت با نقاط کنترل زمینی اخذشده توسط DGPS و با روش پردازش کیفیت بالا مقدار آن ۱/۰۹ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط مقدار آن ۱/۲٦سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۱/۲ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۱/٦سانتی‌متر و منطقه طرح پرواز ۱ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۱/۰۹سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۱/۲ سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۱/۱ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۱/٤ سانتی‌متر است (نگاره ۷ ب).

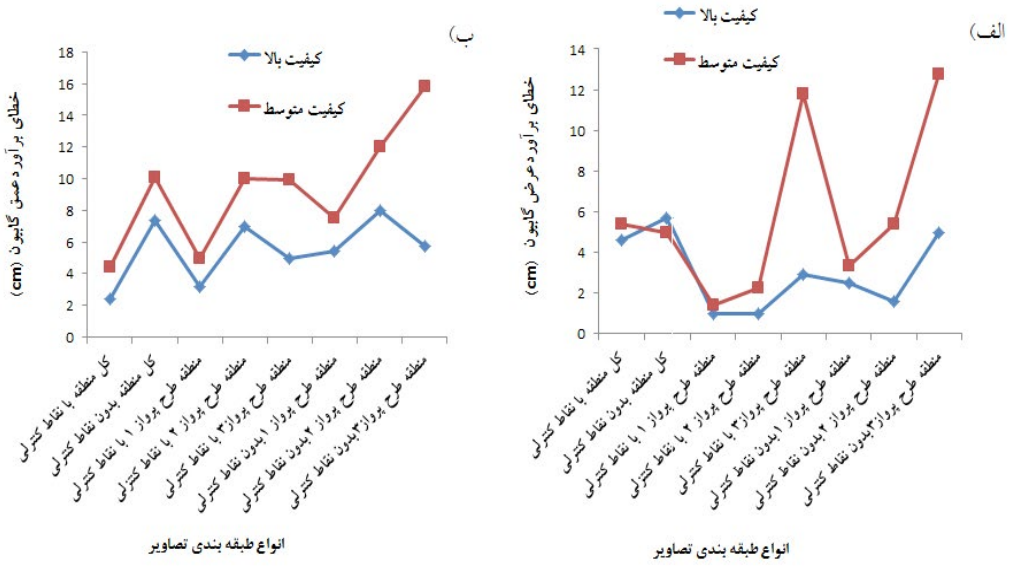
نتایج ارزیابی خطای برآورد (RMSE) برای مشخصه عرض گابیون جاده جنگلی نشان داد که در حالت یکپارچه‌سازی کل منطقه پروازهای روزهای متفاوت با نقاط کنترل زمینی اخذشده توسط DGPS و با روش پردازش با کیفیت بالا مقدار آن ٤/٦ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط مقدار آن ۵/٤ سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۵/۷ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٤/۹سانتی‌متر بوده است. منطقه طرح پرواز ۱ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۱ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۱/٤ سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۲/۵سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۳/۳ سانتی‌متر بوده است. منطقه طرح پرواز ۲ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۱ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۲/۲ سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۱/۵ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۵/۳سانتی‌متر بوده است. منطقه طرح پرواز ۳ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۲/۹ سانتی‌متر و کیفیت متوسط ۱۱/۷سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۵سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۱۲/۷ سانتی‌متر بوده است (نگاره ۸ الف). نتایج ارزیابی خطای برآورد (RMSE) برای مشخصه عمق گابیون جاده جنگلی نشان داد که در حالت یکپارچه‌سازی کل منطقه پروازهای روزهای متفاوت با نقاط کنترل زمینی اخذشده توسط DGPS و با روش پردازش با



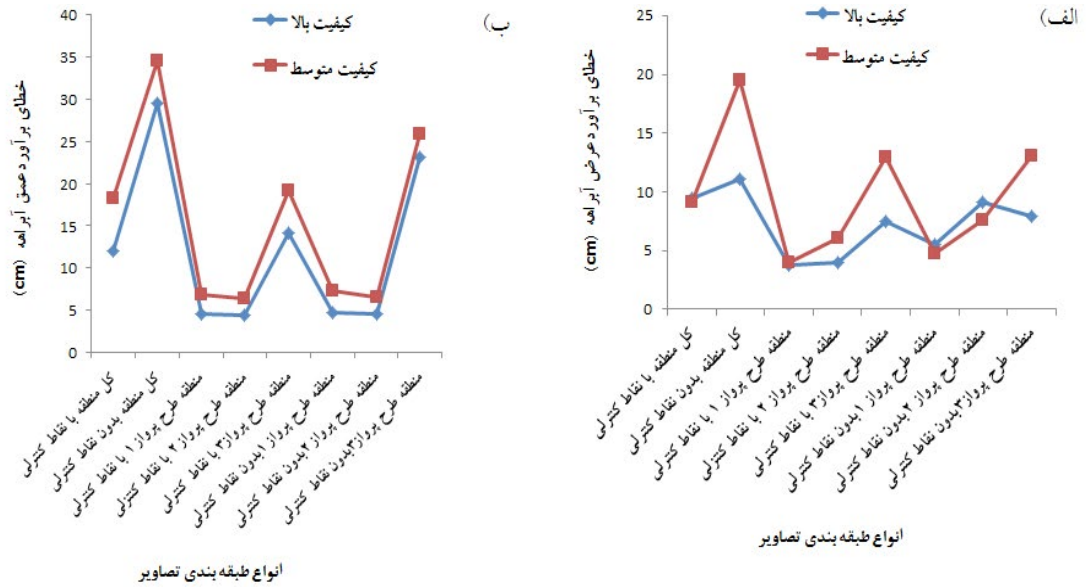
نگاره۷: مقایسه روش‌های مختلف پردازش تصاویر ازنظر خطای برآورد الف) عرض چاله، ب) عمق چاله

کیفیت بالا مقدار آن ۲/۳ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط مقدار آن ٤/٤سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۷/۳سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۱۰/۱ سانتی‌متر بوده است. منطقه طرح پرواز ۱ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۳/۱ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٤/۹ سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٤/۱ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٥/٤ سانتی‌متر بوده است. منطقه طرح پرواز ۲ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٥/۳ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۷/٥ سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۷ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۱۰ سانتی‌متر بوده است. منطقه طرح پرواز ۳ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٤/۹ سانتی‌متر و کیفیت متوسط ۹/۹سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٥/۷سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۱٥/۸سانتی‌متر بوده است (نگاره ۸ ب).

نتایج ارزیابی خطای برآورد (RMSE) برای مشخصه عرض آبراهه جاده جنگلی نشان داد که در حالت یکپارچه‌سازی کل منطقه پروازهای روزهای متفاوت با نقاط کنترل زمینی اخذشده توسط DGPS و با روش پردازش با کیفیت بالا مقدار آن ۹/٤ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط مقدار آن ۹/۱ سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۱۱/۰۹ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۱۹/٥سانتی‌متر بوده است. منطقه طرح پرواز ۱ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۳/۷ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٤سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٥/٥ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٤/۷ سانتی‌متر بوده است. منطقه طرح پرواز ۲ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٤/۰۱ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٦/۰۳ سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۹/۱سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۷/٥ سانتی‌متر بوده است. منطقه طرح پرواز ۳ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۷/٥ سانتی‌متر و کیفیت متوسط ۱۲/۹سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۷/۹ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۱۳/۳سانتی‌متر بوده است (نگاره ۹ الف). نتایج ارزیابی خطای برآورد (RMSE) برای مشخصه عمق آبراهه جاده جنگلی نشان داد که در حالت یکپارچه‌سازی کل منطقه پروازهای روزهای متفاوت با نقاط کنترل زمینی اخذشده توسط DGPS و با روش پردازش با کیفیت بالا مقدار آن ۱۲/۷سانتی‌متر و با کیفیت متوسط مقدار آن ۱۸/۳سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۲۹/٥سانتی‌متر و با کیفیت



نگاره۸: مقایسه روش‌های مختلف پردازش تصاویر ازنظر خطای برآورد الف) عرض گابیون، ب) عمق گابیون



نگاره۹: مقایسه روش‌های مختلف پردازش تصاویر ازنظر خطای برآورد الف) عرض آبراهه، ب) عمق آبراهه

متوسط ۳٤/٤ سانتی‌متر بوده است. منطقه طرح پرواز ۱ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٤/٤ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٦/۸ سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٤/۷ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۷/۳ سانتی‌متر بوده است. منطقه طرح پرواز ۲ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٦/۲ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۸/۲ سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ٤/٤ سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ٦/٤ سانتی‌متر بوده است. منطقه طرح پرواز ۳ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۱٤/۲ سانتی‌متر و کیفیت متوسط ۱۹/۲سانتی‌متر و برای همین حالت بدون نقاط کنترلی با کیفیت بالا ۲۳/۱سانتی‌متر و با کیفیت متوسط ۲۵/۹ سانتی‌متر بوده است (نگاره ۹ ب).

بحث

ابنیه فنی جاده‌ها سازه‌هایی هستند که برای بهره‌برداری از راه و حفاظت آن در برابر عوامل محیطی مانند رواناب، باد و غیره احداث می‌شوند. مهم‌ترین و هزینه‌برترین بخش جاده جنگلی، ابنیه فنی هستند. با توجه به وسعت منطقه و داشتن ویژگی‌های موجود یک سری ابنیه فنی جاده شامل جوی کناری، گابیون‌ها، همچنین پدیده‌های میکرو توپوگرافی مانند آبراهه‌ها و معایب سطح جاده‌ها مانند چاله‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این پژوهش مدل رقومی سطح زمین بخشی از منطقه جنگل‌های سری یک دارابکلای ساری که جاده‌های جنگلی را در برمی‌گیرد با استفاده از تصاویر پهپاد و با استفاده از روش‌های مختلفی به‌منظور استخراج وضعیت برخی مشخصه‌های هندسی جاده عرض و عمق (جوی کناری، گابیون، آبراهه‌ها و چاله‌ها) و میکرو توپوگرافی اطراف جاده تهیه و تولید شد. نتایج ارزیابی کل منطقه با نقاط کنترلی با کیفیت (بالا و متوسط) نسبت به کل منطقه بدون نقاط کنترلی با کیفیت (بالا و متوسط) نشان داد که جذر مربع میانگین خطای کمتر و بهترین دقت ارتفاعی را دارد. نقاط کنترل زمینی باید به‌طور مساوی سراسر منطقه موردمطالعه (به‌طور ایده آل در حالت یک شبکه مثلث‌بندی) توزیع شوند. در این صورت حداکثر فاصله هر نقطه کنترل تا سایر نقاط کنترل به حداقل ممکن می‌رسد. برای تعداد معینی از نقاط کنترل، دقت به‌دست‌آمده با استفاده از یک توزیع بهینه، دو برابر بهتر از حالتی بود که نقاط کنترل توزیع نامناسبی داشتند. بهترین نتایج برای دقت‌ها با در نظر گرفتن نقاط کنترل در مطالعه حاضر به دست آمد. این نتایج با مطالعات حیدری مظفر و همکاران (۳:۱٤۰۱)، غفاری

ثابت و همکاران (۱۳۹۸: ٦)، عباسپور و همکاران (۱۳۹۷: ٤) و Rock et al (۲۰۲۲:۳۵). سازگار هستند. نقاط کنترل زمینی بایستی در پیرامون محدوده نقشه‌برداری برای کاهش خطاهای مسطحاتی انتخاب شوند. همچنین انتخاب نقاط کنترل در درون محدوده با توزیع مناسب برای بهینه‌سازی دقت ارتفاعی ضروری است. به‌این‌ترتیب خطای کل به حداقل می‌رسد ***(Martínez et al., 2018:21)***. همچنین مناطق طرح پرواز ۱، ۲ و ۳ با نقاط کنترلی با کیفیت (بالا و متوسط) نسبت به مناطق طرح پرواز ۱، ۲ و ۳ بدون نقاط کنترلی با کیفیت (بالا و متوسط) دارای مقدار جذر مربع میانگین خطا کمتری هستند. پراکندگی نقاط کنترل زمینی بیشتر از تعداد نقاط کنترل زمینی بر روی دقت مدل سه‌بعدی سطح تأثیرگذاراست. این یافته‌ها با نتایج پژوهش برخی از پژوهشگران ازجمله Ruzgienė et al (۳٤:۲۰۱۵) که در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند پراکندگی مناسب نقاط کنترل تا یک محدوده مشخص تأثیر معناداری روی دقت مدل سه‌بعدی دارند، همخوانی دارد. خطای برآورد عمق چاله‌ها زیر ۳سانتی‌متر بود؛ موافق با نتایج تحقیق Leonardi et al.,(۲۰۲۰:۱۹) که در مطالعه‌ی خود به ثبت خودکار داده‌های سه‌بعدی برای شناسایی خرابی روسازی در سریع‌ترین زمان ممکن عملکرد یک سیستم پهپاد را در جاده‌های جنگلی کشور لهستان پرداختند. پس از پردازش تصاویر عمق چاله‌ها را با دقت زیر ۳ سانتی‌متر اندازه‌گیری کردند. همچنین کل منطقه با نقاط کنترلی با کیفیت بالا و منطقه طرح پرواز ۱، ۲ و ۳ با نقاط کنترلی با کیفیت بالا نسبت به کل منطقه با نقاط کنترلی با کیفیت متوسط و منطقه طرح پرواز ۱، ۲ و ۳ با نقاط کنترلی با کیفیت متوسط جذر مربع میانگین خطای کمتری دارد درواقع پردازش تصاویر با کیفیت بالا نسبت به تصاویر با کیفیت متوسط دارای ابر نقطه‌ای متراکم بیشتر و جزئیات عارضه با دقت بهتری دیده می‌شود. استفاده از این رویکرد با پژوهش (۲۸ Nevalainen et al(:۲۰۲۰. که با اهداف ارزیابی کیفیت ابر نقاط Agisoft Photoscan، Pix4dMapper, SURE و MicMac انجام شده، مورد تأیید است. بر اساس یافته‌ها مقدار جذر مربع میانگین خطا در منطقه بدون نقاط کنترلی، دو برابر منطقه با نقاط کنترلی بود. این نتایج نشان داد افزودن نقاط کنترل زمینی، تأثیر حالات مختلف و تعداد توزیع نقاط کنترل زمینی برای بهینه‌سازی محصولات حاصل از فتوگرامتری پهپاد باعث افزایش دقت می‌شود، دقت عملکرد فتوگرامتری پهپادی بر اساس تغییر نقاط کنترل زمینی صورت گرفته و به‌عنوان تابعی از تعداد و موقعیت نقاط کنترل زمینی است؛ موافق با نتایج عرفان زاده و همکاران (۱٤۰۰: ۵) است. اضافه شدن نقاط کنترلی منطقه طرح پرواز ۱، ۲ و ۳ در مطالعه حاضر باعث افزایش دقت مدل سه‌بعدی شد. در این راستا et al. Forlani (۲۰۲۲:۱۲) اذعان داشتند اضافه شدن یک نقطه کنترل زمینی دقت ارتفاعی مدل سه‌بعدی سطح را در حدود دو برابر افزایش می‌دهد. بر اساس نتایج مقاله حاضر DSM حاصل از همپوشانی تصاویر پهپادی، قابلیت استخراج برخی از مشخصات فنی و هندسی جاده‌های جنگلی را دارد. استفاده از تصاویر پهپاد و اعمال فنون فتوگرامتری بر روی این تصاویر سبب تهیه مدل رقومی سطح زمین و ارتوفتوموزائیک با دقت بالا می‌شود که این مزیت، این امکان را به وجود می‌آورد که در مرحله بعدی با استفاده از این تصاویر و تکنیک مربوط به پردازش تصویر، وضعیت بررسی جاده‌ها در کمترین زمان ممکن به‌صورت خودکار مورد ارزیابی قرار بگیرد و اطلاعات جامع و کامل در اختیار نهادهای مربوطه برای تعمیر و نگهداری قرار دهد. این کار با یافته‌های تقی‌پور و همکاران (۱۳۹۸: ۱) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری نهایی

در این پژوهش به بررسی اثر روش پردازش DSM و اثر نقاط کنترل زمینی بر بهبود کیفیت مدل رقومی زمین حاصل از تصاویر پهپاد در جنگل‌های سری یک دارابکلا ساری پرداخته شد. با توجه به اهداف پژوهش تصاویر پهپاد قابلیت بالایی به‌منظور تشخیص مشخصات فنی و

هندسی جاده‌های جنگلی را دارد. در این راستا با توجه به بررسی‌های میدانی، با افزودن نقاط کنترلی و نحوه توزیع آن در سراسر منطقه باعث افزایش دقت و کاهش مقدار جذر مربع میانگین خطا شد. درواقع استفاده از تصاویر دارای مختصات با استفاده از GPS تعبیه‌شده بر روی پهپاد به‌تنهایی کافی نیست. استفاده از نقاط کنترل زمینی دقیق برای زمین مرجع‌سازی تصاویر و تهیه ارتوفتوموزائیک دقیق موجب بهبود دقت در تولید مدل رقومی سطح زمین می‌شود. همچنین با توجه به اینکه پردازش تصاویر با دو کیفیت (بالا و متوسط) انجام شد، نتایج نشان داد که در پردازش تصاویر با کیفیت بالا جذر مربع میانگین خطا کمتر است. بنابراین پیشنهاد می‌شود که پردازش تصاویر در نرم‌افزار Agisoft Metashape Professional 1.8 با کیفیت بالا انجام شود. لازم به ذکر است که در این پژوهش با توجه به حساسیت و دقت اندازه‌گیری پارامترها برداشت تصاویر در فصل کاملاً خزان و بی‌برگی درختان انجام شد که جنگل فاقد تاج پوشش است. همچنین برای کاهش خطا در مدل رقومی سطح زمین، استفاده هم‌زمان از نقاط کنترل زمینی، موقعیت قرارگیری نقاط کنترلی و پراکندگی نقاط کنترلی دقیق پیشنهاد می‌شود.

تعارض منافع

در این پژوهش، حامی مالی و تعارض منافع وجود ندارد.

References

1 -Abbaspour, Mohammad Mehdi; Khoshlehjeh, Mehdi and Varshusaz, Masoud. (2018). The effect of the number and location of ground control points on the accuracy obtained for the map based on drone photogrammetry method. The Third National Conference on Spatial Information Technology Engineering and the Twenty-fifth National Conference on Geomatics, (1) 12: pp. 1-9.

2 -Bhardwaj, A., Sam, L., Martín-Torres F, J., & Kumar, R. (2016). UAVs as remote sensing platform in glaciology: Present applications and future prospects. Remote Sensing of Environment, 175: 196-204.

3 -Cao, L., Zhang, K., & Zhang, W. (2021). Detachment of road surface soil by flowing water. Journal of Catena, 76: 155-162.

4 -Cevik, P., Kocaman, I. Akgul, A.S., Akca, B., (2023). The Small and Silent Force Multiplier: A Swarm UAVElectronic Attack. J Intell Robot Syst, 70, 595–608, doi: https://doi.org/10.1007/s10846-012-9698-1

5-Erfanzadeh, Ali and Saadat Seresht, Mohammad. (2017). Analysis of the behavior and effect of drone photogrammetric network design parameters on the quality of 3D reconstruction using Monte Carlo simulation. Quarterly Scientific-Research Journal of Geographic Information, Volume 30, No. 119.

6 -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, 2447. https://doi.org/10.3390/rs1215244

7 -Forlani, G., Dall'Asta, E., Diotri, F., Cella, U., Roncella, R., & Santise, M. (2022). Quality assessment of DSMs produced from UAV flights georeferenced with on-board RTK positioning. Remote Sensing, 10(2), 311.

8 -Ghafari Sabet, Mohammad and Sadeghian, Saeed. (2019). Evaluation of drone images in map preparation and revision of rural roads in Khasban, a region of Taleghan Alborz County, using ground control points and without ground control points. Master's thesis. Surveying Engineering, Remote Sensing.

Darabkola Forestry Plan Booklet, Forests, Rangelands and Watershed Management Organization. (2004). 182 pages.

9 -García,M, & Dolores, M H. J. (2016). Accuracy analysis of photogrammetric UAV image blocks: Influence of onboard RTK-GNSS and cross flight patterns. Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation (PFG), (1), 17-30.

10 - Gerke, M., Przybilla, H. J. (2023). Accuracy analysis of photogrammetric UAV image blocks: Influence of onboard RTK-GNSS and cross flight patterns. Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation (PFG), (1), 17-30.

resolution imagery. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 64: 31-42.

20 -Mlambo, R., Woodhouse, I.H., Gerard, F., & Anderson, K. (2017). Structure from Motion (SfM) photogrammetry with drone data: a low-cost method for monitoring greenhouse gas emissions from forests in developing countries. Forests. 8(3):1-20.

21 -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.

22 -Mostofa-Amin, M., Tamie, G., Veith Amy, L., Collick Heather, S., Karsten Anthony, D., & Buda, R. (2017). Simulating hydrological and nonpoint source pollution processes in a karst watershed: A variable source area hydrology model evaluation, 180(31), 212-223 p.

23 -Mustafa, G.,&B. Ender.2022. Assessment of Unmanned Aerial Vehicle Use Opportunities in Forest Road Project (Düzce Sample). Journal of Bartin Faculty of Forestry 24(2): 247 – 257.

24 -Naghdi, R., Dalir, P., Gholami, V., & Porghasemi, H.R. (2017). Modeling of sediment generation from forest roads employing SEDMODL and its calibration for Hyrcanian forests in northern Iran. Environ Earth Sciences, 76, 1-12.

25 -Nasiri, M., Hosseini, S. A., Tafazoli, M., & Sohrab, M. (2012). The Role of Logging Operation on Rut Development in Hyrcanian Forest Roads. Journal of Applied Biological Sciences, 6 (3), 7-11.

26 -Nevalainen, O., Honkavaara, E., Tuominen, S., Viljanen, N., Hakala, T., Yu, X., Hyyppä. J., Saari. H., Pölönen, I., & Imai, N. (2020). Individual tree detection and classification with UAV-based photogrammetric point clouds and hyperspectral imaging. Remote Sensing, 9(3): 185.

27 -Podobnikar, T., Stancic, Z., & Oštir, K. (2020). Data integration for the DTM production. Paper presented at the International Cooperation and Technology Transfer, Proceedings of the Workshop, 25(3):158-362.

11 -Grigolato, S., Pellegrini, M., Cavalli, R. (2018) Temporal analysis of the traffic loads on forest road networks. iForest-Biogeosciences and Forestry, 6 (5), 255- 261.

12 -Hao, Z., Lin, L., Post, C.J., Jiang, Y., Li, M., Wei, N., Yu, K., & Liu, J. (2021). Assessing tree height and density of a young forest using a consumer unmanned aerial vehicle (UAV). New Forests. 52: 5. 843-862.

13 -Heydari Mozaffar, Morteza; Zarafati Jamal, Reza and Torabzadeh Khorasani, Hossein. (2018). Accuracy and precision of producing topographic maps in linear projects using drone photogrammetry, Quarterly Journal of Geographic Information (Sepehr) Volume 31, Issue 124.

14 -Hosseini, S., Mohammadnejad, A., Lotfalian, M., & Pourmajidian, M. (2010). Evaluating the cost of forest road operations using existing standard principles and field harvesting. Quarterly Journal of Forest and Wood Products (Iranian Natural Resources). 63(3), 240-229.

15 -Jafari, Ebrahim. (2018). Assessing the accuracy of the longitudinal profile of the road using a drone system and mapping cameras (case study: 6th street, Tehran city) Master's thesis. Civil Engineering - Transportation.

16 -Kiani, A., Ahmadi, F. F., & Ebadi, H. (2021). Correction of training process in object-based image interpretation via knowledge-based system capabilities. Multimedia Tools and Applications, 1-24.

17 -Leonardi, G., Barrile, V,. Palamara, R., Suraci, F., & Candela, G. (2020). 3D Mapping of Pavement Distresses Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) System, in International Symposium on New Metropolitan Perspectives, Springer, 13 (23): 164-171144.

18 -Majnounian, B., Abdi, E., Zobeiri, M., & Puya, K. (2010). Monitoring the conditions of the forest road network compared to the standards (case study: Namkhaneh district of Kheyrood forest). Journal of forest and wood products. 63(2), 177-186.

19 -Malambo, L., Popescu, SC., Murray, SC., Putman, E., Pugh, NA., Horne, DW., Richardson, G., Sheridan, R., Rooney, WL., & Avant, R. (2018). Multitemporal field-based plant height estimation using 3D point clouds generated from small-unmanned aerial systems high-

study: Lakobon forest, Abbas-abad, North of Iran)., 1 (4), 337-349. (In Persian)

35 -Senkal, E., G, Kaplan., & Avdan, U. (2021). Accuracy assessment of digital surface models from unmanned aerial vehicles' imagery on archaeological sites. International Journal of Engineering and Geosciences, 6(2), 81-89.

36 -Taghipour, Ali Akbar; and Rasouli, Hamid. (2018). Investigating the ability of accurate drone images in assessing asphalt erosion (case study: Alvar Sofli village, near Tabriz city). Transportation Infrastructure Engineering, fourth year, 15th consecutive issue

37 -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, 6, 105, https://doi.org/10.3390/drones6050105

28 -Prisacariu, V. (2017). The history and the evolution of UAVs from the beginning till the 70s. journal of defense resources management. 8(1): 14

29 -Raczynski, R. J. (2017). Accuracy analysis of products obtained from UAV-borne photogrammetry influenced by various flight parameters (Master's thesis, NTNU). Wallace, L. A., Lucieer, C., Watson, & Turne, D. (2012). Development of a UAV-LiDAR System with Application to Development of a UAV-LiDAR System with Application to Forest Inventory. Pages, 571-579.

30 -Remondino, F., Barazzetti, L., 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. 38 (1):22, 25–31.

31 -Rieckermann, J. (2018). Assessing the quality of digital elevation models obtained from mini unmanned aerial vehicles for overland flow modeling in urban areas. Hydrology and Earth System Sciences, 20 (4), 1637-1653.

32 -Rock, G., Ries, J. B., & Udelhoven, T. (2022). Sensitivity analysis of UAV-photogrammetry for creating digital elevation models (DEM). In Proceedings of the Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland, 14,511-615.

33 -Ruzgienė, B., Berteška, T., S, Gečyte,. Jakubauskienė, E., Aksamitauskas, V. Č. (2015). The surface modeling based on UAV Photogrammetry and qualitative estimation. Measurement, 73, 619-627.

34 -Salmalian, M., Mousavi, S. R., Erfanian, M., Hosseinzadeh, & Prioritization, O. (2018)of the influencing factors in the designing forest roads (Case

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NoDerivs 4.0 International (CC BY-ND 4.0)