دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

بررسی دقت مساحی با پهپاد بدون نقاط کنترل زمینی، RTK و PPK نسبت به GPSهای دستی رایج طرح‌های جنگلداری

علیرضا حسین پور[۱]، جعفر اولادی[۲]، حسن اکبری[۲] و محمدرضا سراجیان[۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم جنگل،دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، (نویسنده مسوول: arhoseinpour88@gmail.com)
۲- دانشیار، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
۳- استاد، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۲۳
صفحه: ۱۰ تا ۲۱

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: مساحی دقیق جنگل‌کاری‌ها دارای اهمیت فراوانی در مدیریت جنگل‌ها می‌باشد. اما از سوی دیگر مساحی زمینی جنگل‌کاری‌ها با استفاده از GPSهای رایج دستی، مشکلاتی نظیر سختی اندازه‌گیری در توپوگرافی جنگل، مزاحمت گونه‌های علفی و چوبی، دقت نسبتا پایین، هزینه و زمان زیاد استفاده از DGPS را به‌همراه دارد. پهپادها مزیت‌های فراوان نظیر انعطاف زمانی و مکانی در مساحی با تفکیک زیاد در حد سانتی‌متر دارند.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق از پهپاد عمودپرواز جهت مساحی جنگل‌کاری‌ها بدون استفاده از نقاط کنترل زمینی، سیستم (RTK) و یا (PPK) استفاده شد و دقت مساحی بدست آمده با نتایج مساحی حاصله از GPSهای رایج دستی مقایسه شد. پرنده بدون سرنشین مورد استفاده در این مطالعه پهپاد کوادکوپتر و دارای قدرت تفکیک مکانی متوسط ۲/۵ سانتی‌متر بوده است. جهت مقایسه دقت مساحی از ۷ محوطه ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ و ۴ هکتار استفاده شد و مساحی با GPS به‌روش برداشت نقطه و مسیر انجام گردید. مساحی با پهپاد در ارتفاع پرواز ۵۰ و ۷۵ متر صورت گرفت و از مساحی با تئودولیت به عنوان شاخص مقایسه دقت مساحی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج این مطالعه نشان داد که مساحی با دستگاه‌های GPS رایج دستی به روش برداشت نقطه، دقیق‌تر از مساحی به روش برداشت مسیر است و مساحی با پهپاد بدون نقاط کنترل زمینی، سیستم (RTK) و یا (PPK) دقیق‌تر از مساحی با GPSهای رایج نیست و با افزایش ارتفاع پرواز، خطای مساحی با روندی تقریبا ثابت افزایش می‌یابد اما با اعمال ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی، مساحی با پهپاد دقیق‌تر از GPSهای رایج می‌گردد و خطا به کمتر از یک درصد کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: با توجه به اینکه در ایران، این تکنیک هنوز وارد مطالعات تهیه و اجرای طرح‌های جنگلداری و پایش جنگل‌کاری‌ها و مساحی آنها نشده است، نتایج این پژوهش می‌تواند در اجرای طرح‌های جنگلداری تاثیرگذار باشد.

واژه‌های کلیدی: جنگل‌کاری، هواپیمای‌بدون‌سرنشین، تئودولیت، کوادکوپتر، ضریب تصحیح

مقدمه

جنگل‌ها نقش مهمی در زندگی انسان‌ها ایفا می‌کنند و جنگل‌کاری با گونه‌های جنگلی و عملیات‌های مراقبتی پس از آن، توسعه پایدار جنگل را به همراه خواهد داشت. مساحی جنگل‌کاری‌ها نقش مهمی در برنامه‌ریزی زمانی، مکانی و پایش دقیق آنها دارد. بسیاری از عوامل تخریب نهال‌ها نظیر برف و طوفان غیرقابل پیش‌بینی بوده و پس از کاشت، موجب آسیب رساندن به آنها می‌شوند و سطح جنگل‌کاری موفق را تغییر می‌دهند. بسیاری از اطلاعات مورد استفاده در مدیریت جنگل مبنای جغرافیایی داشته و نیازمند به‌روز شدن می‌باشند. عموماً نقشه‌هایی که از عکس‌های هواپیماهای سرنشین‌دار در گذشته تهیه شدند، چنین پتانسیلی را ندارند. سیستم موقعیت‌یاب جهانی GPS[۱] می‌تواند چنین امکانی را فراهم نمایند. امروزه استفاده از این سیستم در علوم مهندسی جنگل جهت ارزیابی عملکرد ماشین‌آلات بهره‌برداری جنگل، بهبود فعالیت‌های مهندسی (۱۰) در آماده‌سازی رویشگاه، مدیریت متمرکز جنگل‌کاری‌ها و برداشت مختصات قطعات جنگل‌کاری یا مناطق احیایی (۲) عمومیت یافته است. استفاده روزافزون از این فناوری در مدیریت جنگل و مساحی عرصه‌های منابع طبیعی برای تفکیک انفال از مستثنیات و همچنین مساحی جنگل‌کاری‌ها و عرصه‌های جنگلی باعث گردیده تا توجه متخصصین منابع طبیعی به GPS فزونی یابد. روی[۲] (۷) نخستین بار برای استفاده از GPS در محیط جنگلی آنرا به یک تیر بلند به ارتفاع ۱۰ متر بست و آنرا بالای تاج برد تا بتواند موقعیت نقطه را ثبت نماید. سنگینی تیر استفاده از آنرا دشوار می‌نمود. اسپروس[۳] و همکاران (۹) در رابطه با سرعت عمل اسکیدرها در شرایط بدون پوشش و زیر تاج پوشش جنگلی مطالعه کردند و دریافتند که دقت GPS زیر آشکوب‌های گیاهی کاهش می‌یابد. ویل[۴] و همکاران (۱۲) نشان دادند که با افزایش تراکم تاج پوشش، بی‌نظمی‌ها و انفصال‌های بیشتری در نقشه‌های تولید شده بوسیله GPS حاصل می‌شود. حبشی و همکاران (۴) طی تحقیقی در زمینه بررسی میزان دقت مساحی GPSهای مورد استفاده کارشناسان جنگل نشان دادند که دقت سیستم موقعیت‌یاب جهانی در زیر تاج پوشش متراکم در حد پایین می‌باشد که با افزایش سطح مساحی، پلی‌گون‌های دایره‌ای برداشت شده وزون‌تر خواهند شد و گیرنده گارمین مدل Etrex تنها می‌تواند برای سطح بالای ۳ هکتار با خطای ۱۰ درصد جهت مساحی عرصه‌های جنگلی کاربرد داشته باشد. به مرور زمان با توزیع بهینه ماهواره‌ها زمان دستیابی به مختصات نقاط با دقتی قابل قبول زیر تاج پوشش جنگلی کاهش یافت.

1- Global Positioning System 2- Roy 3- Spruce 4- Veal

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.1.7]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.10]

پایش زمینی جنگل‌کاری‌ها به صورت دقیق و مداوم مشکلاتی را به همراه دارد. یکی از عوامل اصلی ایجاد این مشکلات، توپوگرافی جنگل‌های شمال می‌باشد که بررسی وضعیت سلامت و رشد جنگل‌کاری‌ها و مساحی آنرا سخت، طاقت‌فرسا و زمان‌بر می‌نماید. همچنین به علت رشد سریع گونه‌های مهاجم علفی و چوبی، ورود به منطقه جنگل‌کاری بسیار مشکل و حتی در بعضی از موارد غیرممکن می‌کند و صرفاً با استفاده از هرس عبوری (که بسیار زمان‌بر و هزینه‌زا است)، مساحی را امکان‌پذیر می‌سازد. با وجود پوشش علفی و چوبی مزاحم، سطحی که نیاز به عملیات پرورشی دارد، قابل اندازه‌گیری نخواهد بود و به این ترتیب، جهت واکاری گونه‌ای که بیشترین آسیب را دیده، نمی‌توان به درستی اقدام نمود. فناوری عکس‌برداری هوایی و فضایی به علت تعدد روزهای ابری در مناطق جنگلی، هزینه بالای تهیه تصاویر ماهواره‌ای، مشکل دسترسی آنلاین و بروز به تصاویر ماهواره‌ای با قابلیت تفکیک مکانی زیاد، در ایران برای مساحی جنگل‌کاری‌ها استفاده نمی‌شود. در حال حاضر امکان استفاده رایگان از تصاویر وب‌سایت گوگل[1] و نرم‌افزار جانبی این وب‌سایت[2]، وجود دارد اما جهت استفاده از آن باید از به‌روز بودن تصاویر آن جهت مساحی نهالکاری‌های جدید، اطمینان حاصل کرد. از طرفی، تصاویر ارائه شده این سایت، از نظر قدرت تفکیک مکانی و کیفیت تصویر، دقت کمتری نسبت به تصاویر پهپاد دارد (۳). از آنجا که وسعت جنگل‌کاری‌ها نسبت به جنگل‌های اطراف آن، بسیار کمتر است، نیازی به تصویربرداری کامل جنگل‌ها جهت پایش جنگل‌کاری‌ها نمی‌باشد در نتیجه برای پایش آنها، بجای تصویربرداری از کل جنگل (برخلاف ماهواره که کل منطقه را تصویربرداری می‌کند) می‌توان از پهپاد[3] (پرنده هدایت‌پذیر از راه دور) استفاده نمود. پهپادها مزیت‌های فراوانی دارند، رنگو[4] و همکاران (۶) یکی از مزیت‌های پهپاد را انعطاف زمانی و مکانی پرواز و تصویربرداری در تمام ساعات شبانه‌روز و در شرایط جوی مختلف حتی بارندگی ملایم اعلام نمودند. هانت[5] و همکاران (۵) دقت تصویربرداری زیاد (اندازه پیکسل کمتر از ۵ سانتی‌متر) را از خصوصیات مهم آن عنوان نمودند و این موضوع اهمیت زیادی در دقت مساحی دارد.

نتایج تحقیقات باغانی و همکاران (۱) نشان داد که با استفاده از طراحی پرواز مضاعف پهپاد و بهره‌بردن از تنها ۹ نقطه کنترل زمینی با استفاده از DGPS برای مساحت حدود ۵۰۰ هکتار می‌توان به دقت مسطحاتی و ارتفاعی در حدود ۵ سانتی‌متر دست یافت و نقشه کاداستر تهیه نمود. خطای بیشینه مسطحاتی و ارتفاعی در این حالت در حدود ۱۰ سانتی متر برآورد گردید. قابل ذکر است استفاده از نقاط کنترل زمینی برای مساحی جنگل‌کاری با پهپاد و یا بهره‌گیری از DGPS در پهپاد برای مساحی این عرصه‌ها مسائل و مشکلاتی به همراه دارد. از جمله این مسائل می‌توان هزینه سنگین و زمان زیاد جهت مساحی در جنگل با توجه به سطح جنگل‌کاری، قطع ارتباط ایستگاه ارسال سیگنال با دستگاه دریافت‌کننده جهت تصحیح خطا به علت وجود یال و دره‌های عمیق را نام برد که در انتخاب و اجرای روش مساحی در جنگل تاثیری مهم دارد. نتایج تحقیقات شکری و صادقیان (۸) نشان داد که با روش فتوگرامتری پهپاد می‌توان بدون استفاده از نقاط کنترل زمینی به دقت مسطحاتی و ارتفاعی مورد نیاز به منظور تولید و بازنگری نقشه‌های بزرگ‌مقیاس رقومی دست یافت.

امروزه پهپادهای تجاری ارزان قیمت با دوربین‌هایی با کیفیت وارد بازار می‌شود و در صورت تایید قابلیت آن در مساحی قابل قبول جنگل‌کاری‌ها، از این فناوری می‌توان به صورت فراگیر در پایش جنگل‌کاری‌ها و جنگل‌ها استفاده نمود اما لازم است دقت مساحی پهپاد بدون نقاط کنترل زمینی و بدون استفاده از DGPS نسبت به مساحی با GPSهای رایج دستی در جنگل بررسی شود.

گرچه در برخی کشورها تحقیقاتی در زمینه استفاده از پهپاد در پایش جنگل‌کاری‌های وسیع و غالبا همسال صورت گرفته است (۱۱)، ولی در کشورمان، این تکنیک هنوز وارد مطالعات تهیه و اجرای طرح‌های جنگلداری و پایش جنگل‌کاری‌ها و مساحی آنها نشده است.

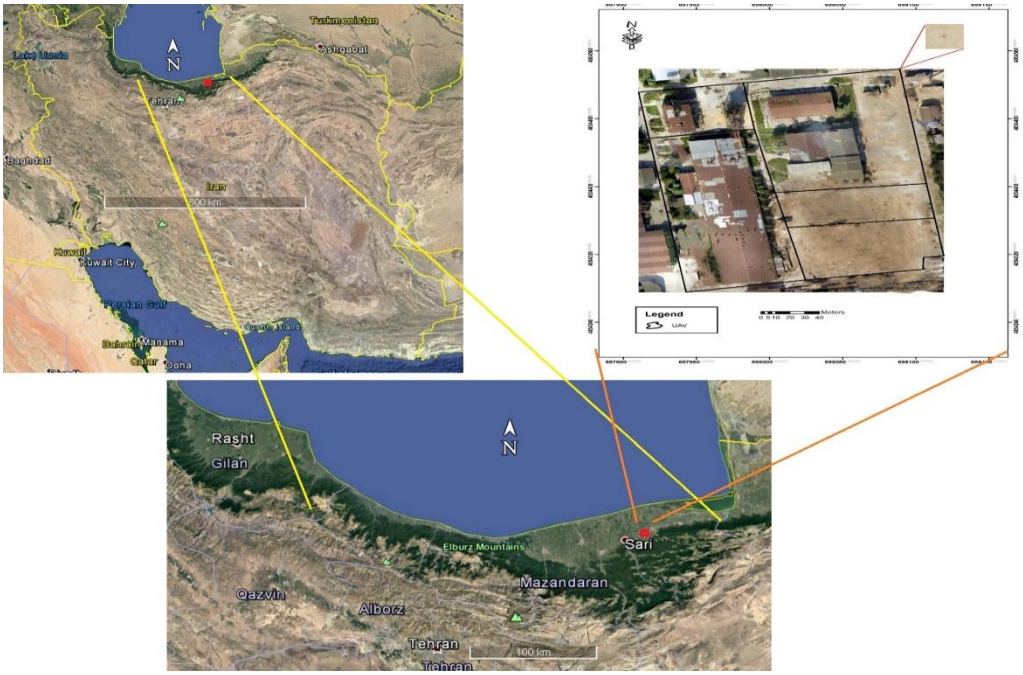
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

یارد طرح جنگلداری نکاظالمرود واقع در جنگل‌های شمال کشور در استان مازندران و شرق رودخانه تجن منطقه مورد پژوهش بوده است. این منطقه در زون شماره ۳۹ و در محدوده ۶۹۷۹۰۰ الی۶۹۸۱۵۰ شمالی و ۴۰۵۴۲۴۰ الی۴۰۵۴۵۶۰ شرقی و در ارتفاع ۳۱ متر از سطح دریا قرار دارد و منطقه‌ای جلگه‌ای و مسطح است (شکل ۱).

1- Google Map 2- Google Earth 3- UAV 4- Rango 5- Hunt

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.1.7]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.10]



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان مازندران
Figure 1. Location of the study area in Mazandaran Province

مواد و روش‌ها

از پهپاد عمودپرواز چهار موتوره مدل فانتوم ۳ پروفشنال[1] و دارای دوربین ۱۲/۷ مگاپیکسل Sony Exmor استفاده شد که توانایی تصویربرداری در طول موج ۰/۴ الی ۰/۷ میکرومتر (باندهای آبی، سبز و قرمز) را داشت و تصاویری با اندازه پیکسل ۱/۷ و ۳/۱ سانتی‌متر در ارتفاع پرواز ۵۰ و ۷۵ متر تولید نمود. نرم‌افزار Pix4dCapture جهت طراحی پرواز اتوماتیک استفاده شد و از نرم‌افزار Pix4dmapper برای تولید موزاییک تصاویر پهپاد و تصحیح هندسی استفاده شد. از نرم‌افزار ArcGIG نیز برای محاسبات و خروجی نقشه‌ها استفاده گردید. برای مساحی زمینی جنگل‌کاری‌ها از دستگاه‌های GPS مدل Garmin 60csx که دستگاه رایج در طرح‌های جنگلداری ایران است، استفاده شد. از دوربین تئودلیت برای سنجش دقت مساحی پهپاد و GPSهای رایج استفاده گردید.

روش پژوهش

برای بررسی میزان دقت مساحی، ۷ محوطه ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ و ۴ هکتار انتخاب شد. نمونه‌ها مسطح و شکل هندسی آنها به صورت چهار ضلعی انتخاب گردید. جهت مساحی نمونه‌ها با استفاده از GPSهای رایج طرح‌های جنگلداری به دو روش برداشت نقطه و برداشت مسیر اقدام شد. در روش اول مختصات مکانی محل تلاقی اضلاع با استفاده از دو دستگاه GPS برداشت شد و در نرم‌افزار ArcGIS، شکل هندسی نمونه‌ها ترسیم شد و مساحی آن انجام گرفت و در روش دوم از روش برداشت مسیر[2] جهت مساحی استفاده شد و به‌طور مستقیم در عرصه، مساحت نمونه‌ها با استفاده از GPS محاسبه شد و همچنین برای اطمینان از دقت، نتایج در نرم‌افزار ArcGIS نیز پیاده‌سازی گردید. جهت مساحی با استفاده از پهپاد، محل تلاقی اضلاع نمونه‌ها، با رنگ علامت‌گذاری شد و سپس طرح پرواز در ارتفاع ۵۰ و ۷۵ متر با پوشش مشترک طولی و عرضی۸۰ درصد، طراحی شد و پرواز و تصویربرداری انجام گرفت و در محیط نرم‌افزارهای تخصصی پهپاد نظیر Pixed4D Mapper, Agisoft PhotoScan تصاویر پهپاد در کنار هم قرار داده شد و موزاییک تصاویر تهیه شد و مساحت آن محاسبه شد. قابل ذکر است با توجه به موضوع تحقیق، نقاط کنترل زمینی با استفاده از DGPS[3] برداشت نشد و از GPS داخلی پهپاد برای ژئوتک کردن مختصات هر تصویر استفاده شد. جهت مساحی هریک از نمونه‌ها با استفاده از دوربین تئودولیت توسط اکیپ نقشه‌بردار زمینی، محل تلاقی اضلاع با میخ‌های فلزی پیکه‌کوبی شد و سپس با استفاده از دوربین، زاویه‌خوانی شاخص فلزی در محل تلاقی اضلاع صورت گرفت و با استفاده از متر فلزی ۵۰ متری، فواصل نیز به دست آمد و همچنین فواصل ۵۰ متری روی زمین با رنگ، علامت‌گذاری شد. سپس عملیات دفتری جهت تعیین مساحت‌ها صورت گرفت و این مساحی به عنوان معیار تعیین صحت مساحی استفاده شد. همچنین جهت کاهش خطای مساحی با پهپاد بدون نقاط کنترل زمینی، ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی محاسبه شد. برای این منظور، نحوه پراکنش خطای محاسبه سطح در تصاویر پهپاد بررسی شد و طول اضلاع شمالی-جنوبی، شرقی-غربی و اضلاع قطری (شمال غربی به جنوب شرقی و شمال شرقی به جنوب غربی) در قطعه نمونه به مساحت ۴ هکتار بر روی تصاویر پهپاد در ارتفاع ۵۰ و ۷۵ متر اندازه‌گیری شد و با طول متناظر آنها در

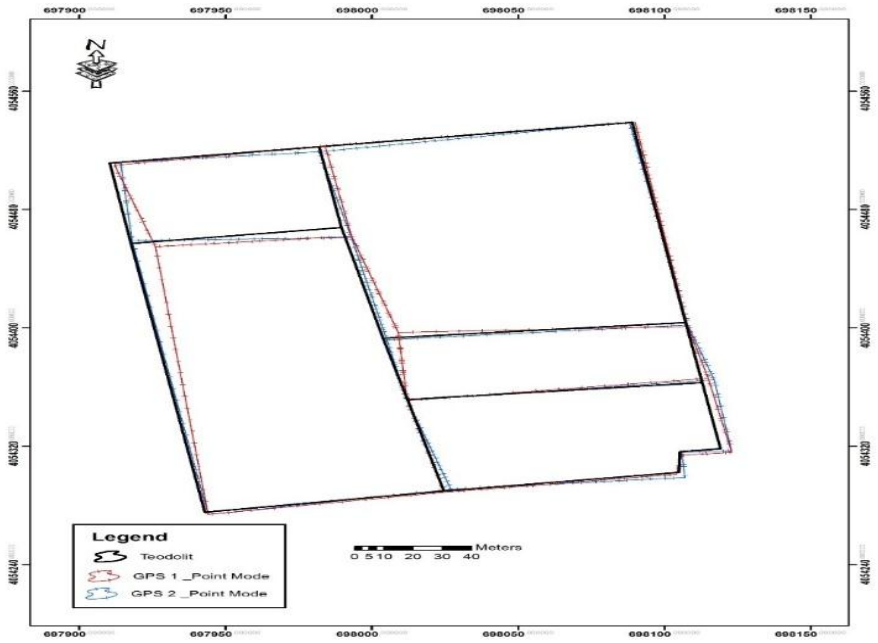
1- Phantom 3 professional
2- Track
3- Differential Global Positioning Systems

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.1.7]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.10]

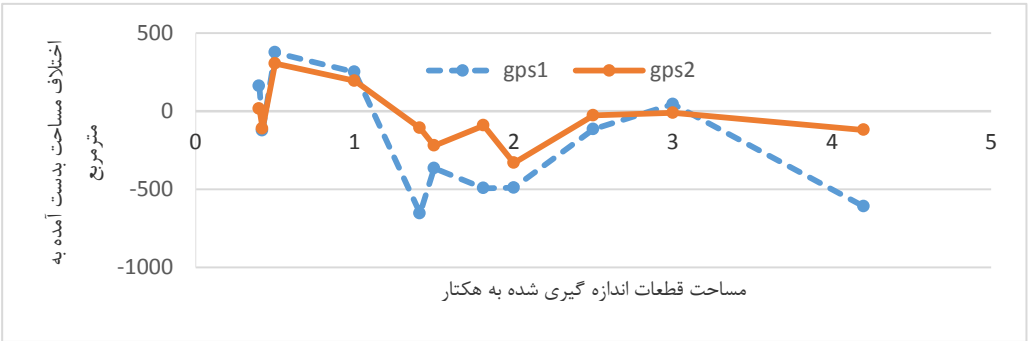
برداشت با دوربین تئودولیت مقایسه شد و ضریب تصحیح خطای مساحی با پهپاد برای هر کدام محاسبه شد و ضریب تصحیح میانگین (قطری) به عنوان ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی بر روی تصاویر پهپاد اعمال شد. دقت مساحی انجام شده با پهپاد و دستگاه GPS نسبت به مساحی با دوربین تئودلیت، با استفاده از نرم‌افزار SAS و آزمون آماری T-Test، سنجیده شد.

نتایج و بحث

محاسبات گروه نقشه‌بردار با دوربین تئودولیت نشان داد که خطای محاسبه طول برابر ۱۰ سانتی‌متر به ازای هر ۱۰۰ متر و به عبارتی ۰/۱ درصد بوده است. شکل۲ نقشه مساحی با GPS به روش برداشت نقطه و مقایسه آن با نقشه تئودولیت را نشان می‌دهد. با وجود تشابه دستگاه‌های GPS، نقشه‌های متفاوتی از هر کدام از دستگاه‌ها تولید شد (شکل ۲). با افزایش مساحت قطعات نمونه، میزان اختلاف مساحت بدست آمده از GPSها به روش برداشت نقطه نسبت به مساحت واقعی، روند ثابت و مشخصی را نشان نمی‌دهد و گاهی کاهش و گاهی افزایش می‌یابد و هر کدام از GPSها نیز مساحت متفاوتی را نشان می‌دهد. شکل ۳ نمودار اختلاف مساحی دستگاه‌های موقعیت‌یاب مکانی به روش برداشت نقطه نسبت به تئودولیت بر حسب مترمربع و شکل ۴ آنرا بر حسب درصد نشان می‌دهد.

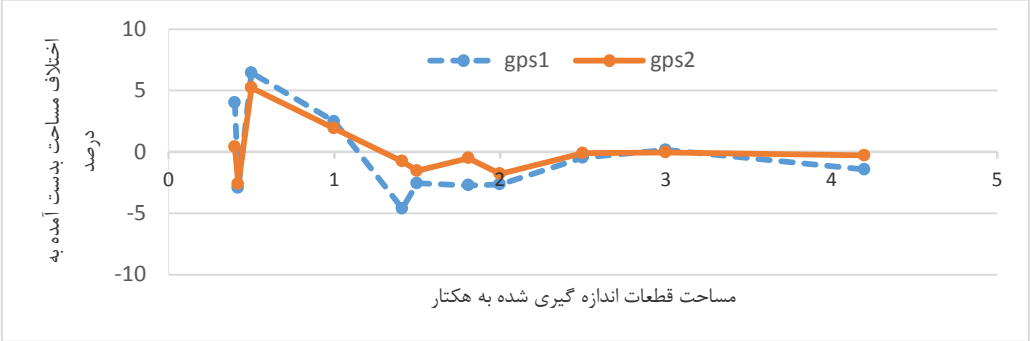


شکل۲- نقشه تهیه شده با استفاده از GPS به روش برداشت نقطه و مقایسه آن با نقشه تهیه شده با تئودولیت
Figure 2. Map prepared using GPS in point method and comparing with the map prepared with Teodolite



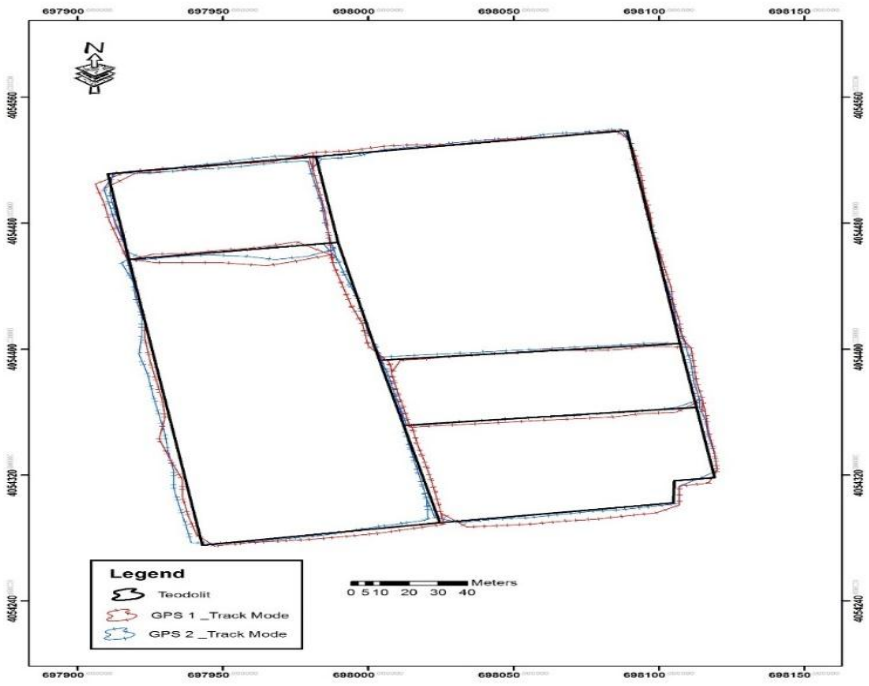
شکل۳- نمودار اختلاف مساحی GPS به روش برداشت نقطه نسبت به تئودولیت بر حسب مترمربع
Figure 3. GPS surveying difference diagram in point method rather than Teodolite in square meter

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.1.7]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.10]



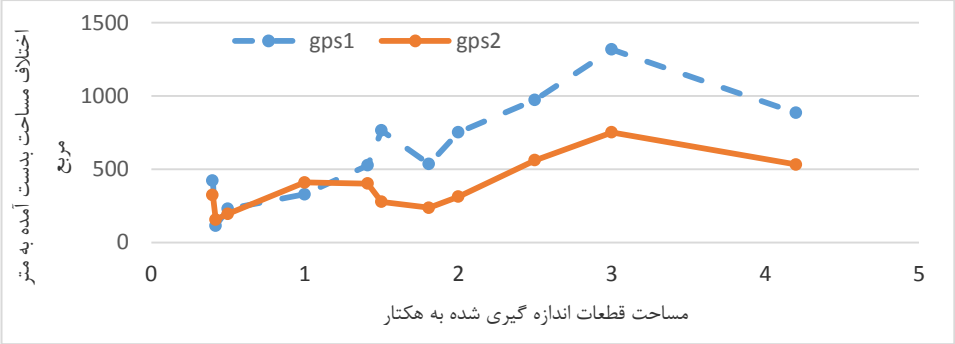
شکل۴- نمودار میزان اختلاف مساحی GPS به روش برداشت نقطه نسبت به مساحی تئودولیت بر حسب درصد
Figure 4. GPS surveying difference diagram in point method rather than Teodolite in percent

شکل ۵ نقشه تهیه شده با استفاده از GPS به روش برداشت مسیر و مقایسه آن با نقشه تهیه شده تئودولیت را نشان می‌دهد. در این مورد نیز با وجود تشابه دستگاه‌های GPS، نقشه‌های متفاوتی تولید شد. شکل۶ نمودار اختلاف مساحی GPS به روش برداشت مسیر نسبت به مساحی تئودولیت بر حسب مترمربع و شکل ۷ بر حسب درصد نشان می‌دهد.

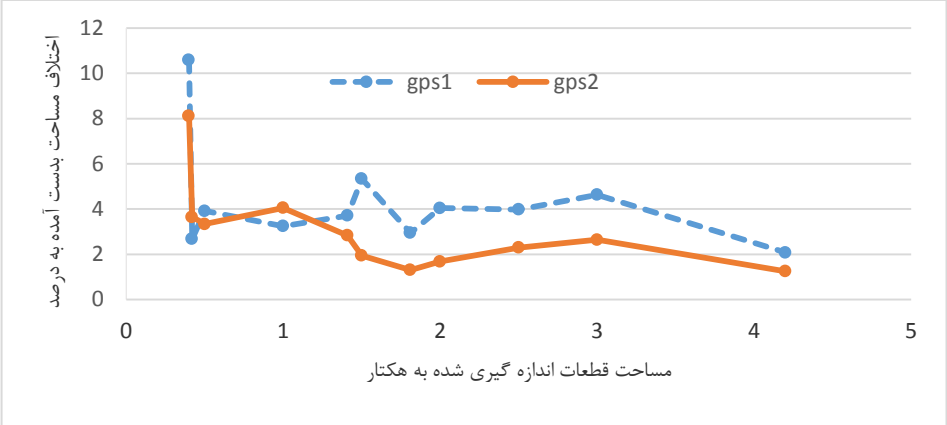


شکل ۵- نقشه تهیه شده با استفاده از GPS به روش برداشت مسیر و مقایسه آن با نقشه تهیه شده تئودولیت
Figure 5. Map prepared using GPS in track method and comparing with the map prepared with Teodolite

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.1.7]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.10]



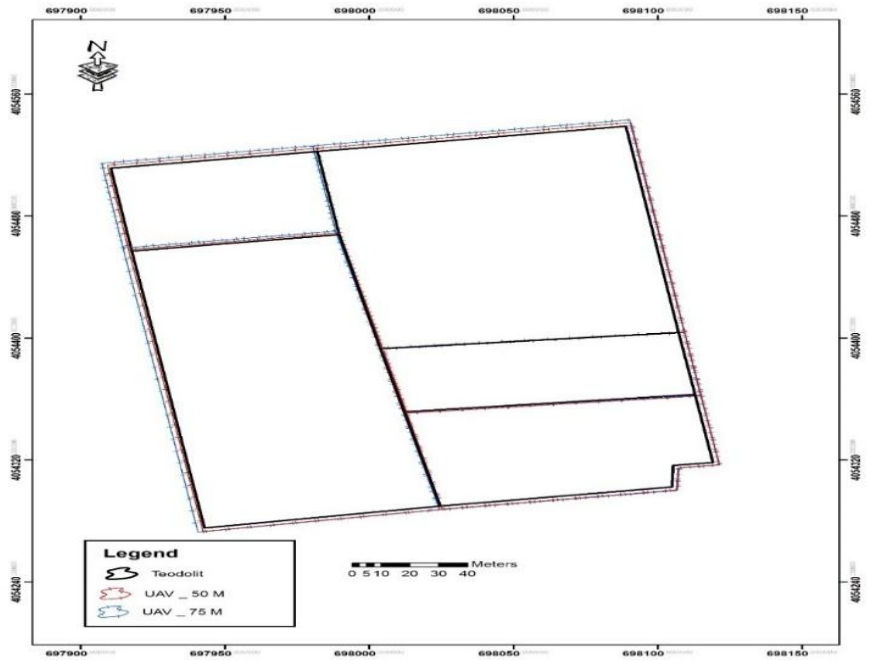
شکل۶- نمودار اختلاف مساحی GPS به روش برداشت مسیر نسبت به مساحی تئودولیت بر حسب مترمربع
Figure 6. GPS surveying difference diagram in track method rather than Teodolite in square meter



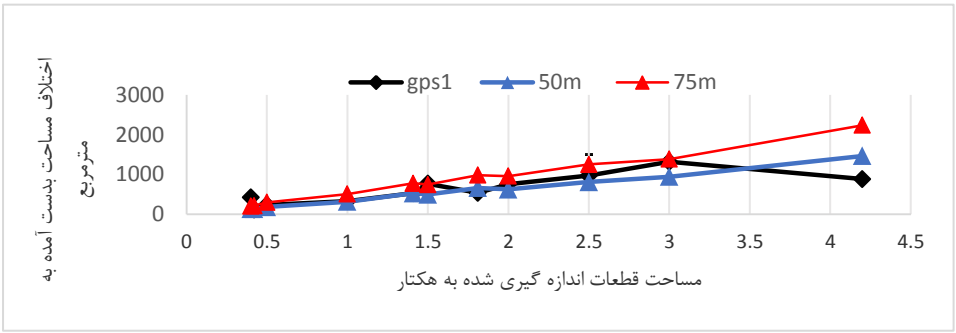
شکل ۷- نمودار اختلاف مساحی GPS به روش برداشت مسیر نسبت به تئودولیت بر حسب درصد
Figure 7. GPS surveying difference diagram in track method rather than Teodolite in percent

شکل ۸ نقشه تهیه شده با پهپاد در مقایسه با نقشه تهیه شده با استفاده از دوربین تئودولیت را نشان می‌دهد. شکل ۹ نمودار اختلاف مساحی با پهپاد را نسبت به GPS و تئودولیت بر حسب مترمربع و شکل۱۰ بر حسب درصد نشان می‌دهد.

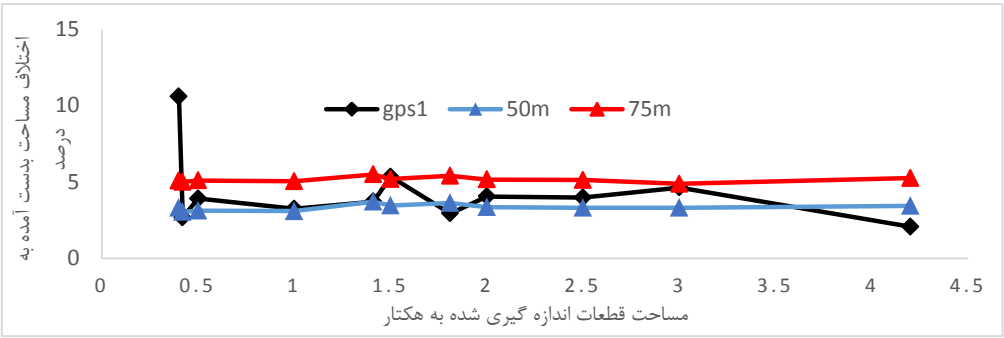
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.1.7]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.10]



شکل ۸- نقشه تهیه شده با استفاده از پهپاد و مقایسه آن با نقشه تهیه شده با تئودولیت
Figure 8. Map prepared using UAV and comparing with the map prepared Teodolite



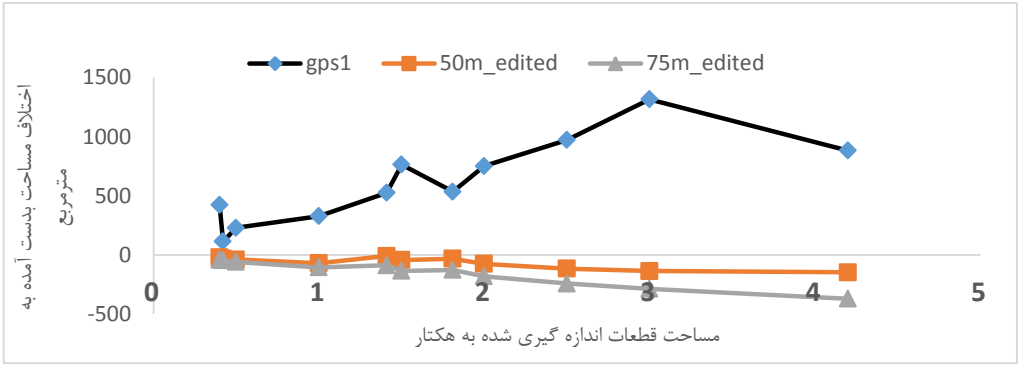
شکل ۹- نمودار اختلاف مساحی پهپاد نسبت به مساحی GPS و تئودولیت بر حسب مترمربع
Figure 9. UAV surveying difference diagram rather than GPS and theodolite in square meter



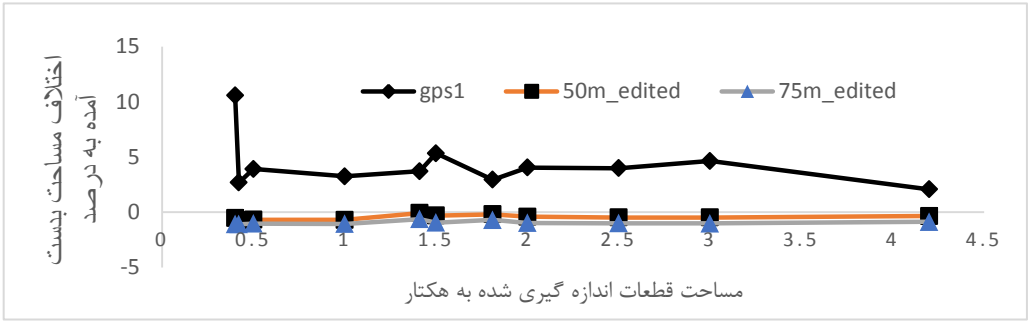
شکل ۱۰- نمودار اختلاف مساحی پهپاد نسبت به مساحی GPS و تئودولیت بر حسب درصد
Figure 10. UAV surveying difference diagram rather than GPS and Teodolite in percent

شکل ۱۱ نمودار اختلاف مساحی پهپاد نسبت به GPS به روش برداشت مسیر و تئودولیت بر حسب مترمربع پس از اعمال ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی و شکل ۱۲ بر حسب درصد نشان می‌دهد. شکل۱۳ نمودار اختلاف مساحی با پهپاد را نسبت به تئودولیت پیش از اعمال ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی و پس از اعمال ضریب تصحیح بر حسب مترمربع و شکل۱۴ بر حسب درصد نشان می‌دهد.

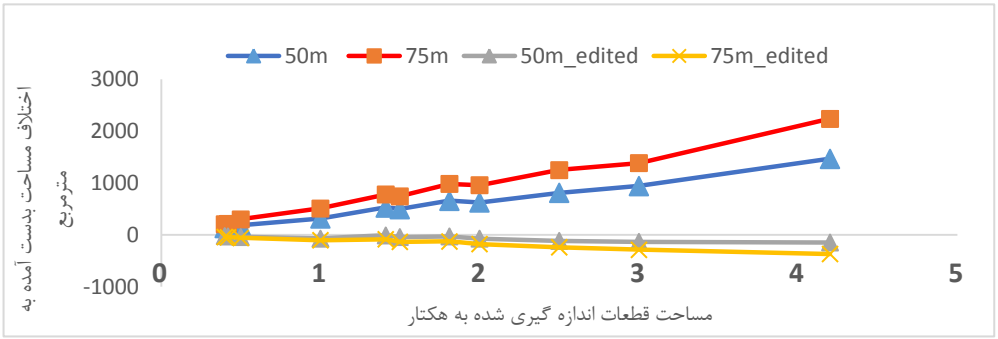
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.1.7]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.10]



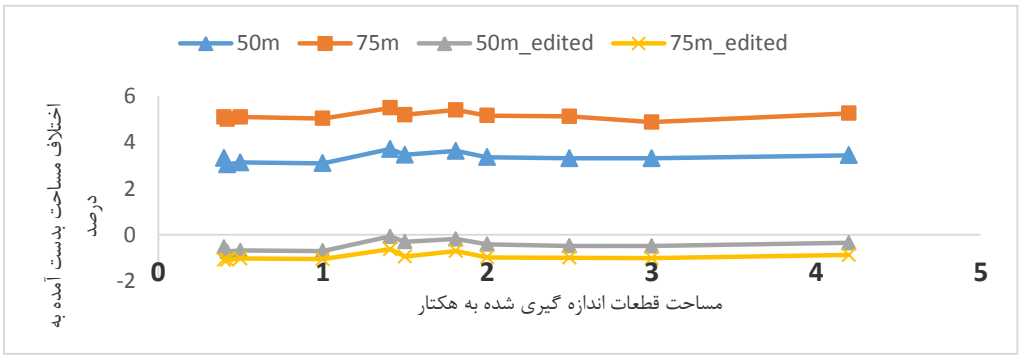
شکل۱۱- نمودار اختلاف مساحی پهپاد نسبت به GPS و تئودولیت بر حسب مترمربع پس از اعمال ضریب تصحیح
Figure 11. UAV surveying difference diagram rather than GPS and Teodolite in square meters after correction factor



شکل۱۲- نمودار اختلاف مساحی پهپاد نسبت به مساحی GPS بر حسب درصد پس از اعمال ضریب تصحیح
Figure 12. UAV surveying difference diagram rather than GPS and Teodolite in percent after correction factor



شکل۱۳- نمودار اختلاف مساحی پهپاد نسبت به تئودولیت بر حسب مترمربع پیش و پس از اعمال ضریب تصحیح
Figure 13. UAV surveying difference diagram rather than GPS in square meters before and after correction factor



شکل۱۴- نمودار اختلاف مساحی پهپاد نسبت تئودولیت بر حسب درصد پیش و پس از اعمال ضریب تصحیح
Figure 14. UAV surveying difference diagram rather than GPS in percent before and after correction factor

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.1.7]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.10]

جدول۱ نتایج آنالیز آماری مساحت‌های اندازه‌گیری شده به روش‌های مختلف مساحی را با استفاده از نرم‌افزار SAS و آزمون آماری T-test نشان می‌دهد. از بین روش های مورد استفاده، فقط روش مساحی با GPS به روش برداشت نقطه، اختلاف معنی‌داری با مساحی با دوربین تئودولیت نداشته است و تمام روش‌های دیگر دارای اختلاف معنی‌دار به احتمال ۹۹ درصد بوده‌اند.

جدول ۱- آنالیز آماری بررسی دقت مساحی به روش‌های مختلف با استفاده از آزمون T-test نرم افزار SAS
Table 1. Statistical analysis of the surveying accuracy of the different methods using SAS T-test

روش اندازه گیری	تعداد نمونه	درجه آزادی	اختلاف میانگین	اختلاف انحراف معیار	اختلاف اشتباه معیار	T اندازه گیری شده	احتمال
GPS اول به روش برداشت مسیر	۱۱	۱۰	۶۲۱/۹	۳۵۵/۶۸	۱۰۷/۲۴	۵/۸۰	**
GPS دوم به روش برداشت مسیر	۱۱	۱۰	۳۷۷/۶	۱۷۸/۳۳	۵۳/۷۶۹	۷/۰۲	**
GPS اول به روش برداشت نقطه	۱۱	۱۰	۱۸۴/۰۴	۳۶۱/۶	۱۰۹/۰۳	۱/۶۹	NS
GPS دوم به روش برداشت نقطه	۱۱	۱۰	۴۶/۲۲۳	۱۷۷/۴۶	۵۳/۵۰۷	۰/۸۶	NS
پهپاد در ارتفاع ۵۰ متر بدون ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی	۱۱	۱۰	۵۷۱	۴۰۲/۱۷	۱۲۱/۲۶	۴/۷۱	**
پهپاد در ارتفاع ۷۵ متر بدون ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی	۱۱	۱۰	۸۶۸/۸	۶۰۴/۷۷	۱۸۲/۳۵	۴/۷۶	**
پهپاد در ارتفاع ۵۰ متر با ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی	۱۱	۱۰	۶۵/۸۵	۴۸/۱۷۳	۱۴/۵۲۵	۴/۵۳	**
پهپاد در ارتفاع ۷۵ متر با ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی	۱۱	۱۰	۱۵۳/۲۷	۱۰۶/۶۹	۳۲/۱۷	۴/۷۶	**

** : اختلاف معنی‌دار به احتمال ۹۹ درصد، NS : اختلاف معنی‌دار نیست.

در این تحقیق از قطعات نمونه مسطح و به صورت اشکال هندسی تقریبا منظم جهت مقایسه دقت مساحی GPSهای رایج در طرح‌های جنگلداری و پهپاد بدون استفاده از نقاط کنترل زمینی و یا RTK[1] و یا PPK[2] استفاده شده است و لازم به ذکر است که استفاده از پهپاد با سیستم RTK یا PPK در مساحی، تولید نقشه‌هایی با خطای جابجایی مکانی کمتر از ۱۰ سانتی‌متر می‌نماید (۱) ولی پهپادهایی که به این سیستم مجهزند، بسیار گرانتر از پهپادهایی هستند که دارای سیستم GPS داخلی و بدون ایستگاه زمینی هستند و برای فراگیر کردن استفاده از پهپاد در مساحی جنگل‌کاری مناسب نیستند. از طرفی به علت وجود درختان انبوه و پستی بلندیها و کوههایی که بین ایستگاه زمینی و پهپاد دارای سیستم RTK قرار می‌گیرند، ارسال سیگنال تصحیح خطای محاسبه شده توسط ایستگاه زمینی به پهپاد ممکن است به خوبی میسر نباشد و افزایش قابل ملاحظه خطا را در پی داشته باشد که در جنگل نیاز به بررسی دارد. در این تحقیق پارامترهایی نظیر نوع پهپاد، شیب، ارتفاع از سطح دریا، فرم توپوگرافی و غیره ثابت در نظر گرفته شد.

شکل۳ نشان می‌دهد با افزایش مساحت قطعات نمونه، میزان اختلاف مساحت بدست آمده از GPS به روش برداشت نقطه نسبت به مساحت واقعی، روند ثابت و مشخصی را نشان نمی‌دهد. مساحت را گاهی بیشتر از مقدار واقعی و گاهی کمتر از مقدار واقعی محاسبه می‌کند و هر کدام از GPSها نیز مقدار متفاوتی را نشان می‌دهد که با نتایج تحقیقات حبشی و همکاران (۴) مطابقت دارد. اما همانطور که از شکل ۴ استنباط می‌شود در روش مساحی با GPS به طریق برداشت نقطه، با افزایش سطح قطعات نمونه، میزان خطای مساحی بر حسب درصد کاهش می‌یابد و از ۶ درصد به کمتر از ۲ درصد می‌رسد (باید در نظر داشت که منطقه دارای فضایی باز و بدون درخت و بدون موانع و یال و دره و بدون شیب باشد (۱۲،۹،۷) البته این روند ثابت نیست و کم و زیاد می‌شود و قابل پیش‌بینی دقیق نیست. نتایج نشان می‌دهد در صورتی که از دستگاه‌های GPS رایج به روش برداشت نقطه برای مساحی زمینهایی با سطح کم (کمتر از ۲/۵ هکتار) استفاده شود، درصد خطا ممکن است تا ۶ درصد باشد. در جنگل‌های شمال کشور تعداد جنگل‌کاری‌هایی که شکل مشخص و همچنین اضلاع کاملا مستقیم داشته باشند نسبت به سایر جنگل‌کاری‌ها اندک است به همین دلیل این روش مساحی فراگیر نیست. شکل۶ نشان می‌دهد با افزایش مساحت قطعات نمونه، میزان اختلاف مساحت بدست آمده از GPS به روش برداشت مسیر نسبت به مساحت واقعی نیز، روند ثابت و مشخصی را نشان نمی‌دهد و گاهی روند کاهشی و گاهی روندی افزایشی می‌یابد (شکل ۶) و هر کدام از GPSها نیز مقدار متفاوتی را نشان می‌دهند. در این روش، برخلاف برداشت به روش نقطه‌ای، مساحت محاسبه شده همیشه بیشتر از مقدار واقعی بوده‌است. شکل۷ نشان می‌دهد در روش مساحی با GPS به طریق برداشت مسیر، با افزایش سطح قطعات نمونه، درصد خطای مساحی کاهش می‌یابد. البته افزایش مقطعی نیز داشته و روند مشخص و قابل پیش‌بینی ندارد. درصد خطای مساحی به روش برداشت مسیر از روش مساحی به روش برداشت نقطه بیشتر است ولی با توجه به اینکه غالب جنگل‌کاری‌ها شکل هندسی مشخصی ندارند، ناگزیر کاربرد این روش بیشتر از روش برداشت نقطه‌ای است. از نتایج می‌توان استنباط نمود که مساحی زمین‌های با ارزش و بویژه در سطوح کم (کمتر از ۲/۵ هکتار) مساحی با GPSهای رایج در طرح‌های جنگلداری، خطای قابل ملاحظه‌ای دارد و متناسب با سطح، این خطا حدود ۲ الی ۴ درصد نوسان دارد و روند کاهشی یا افزایشی ثابتی نیز ندارد. البته همان‌طور که ذکر شد، طبق نتایج این تحقیق، روش

1- Real Time Kinematic
2- Post Processed

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.1.7]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.10]

برداشت مسیر همیشه مساحی را بیش از مقدار واقعی (برخلاف مساحی به روش برداشت نقطه) نشان داده است.

شکل ۹ نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع پرواز، مساحی با پهپاد بدون نقاط کنترل زمینی نسبت به تئودولیت، مساحت بیشتری را نشان می‌دهد. در یک ارتفاع پرواز مشخص، با افزایش سطح قطعه نمونه، مساحت محاسبه شده با استفاده از موزاییک تصاویر پهپاد نسبت به تئودولیت، مساحت بیشتری را نشان می‌دهد و افزایش اختلاف مساحت با میزان واقعی، با شیب و ریتم افزایشی ثابتی صورت می‌گیرد. شکل۱۰ نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع پرواز، درصد اختلاف مساحی با پهپاد نسبت به تئودولیت، افزایش می‌یابد ولی خطی افقی و فاقد شیب با عددی ثابت را برای هر یک از قطعات نمونه نشان می‌دهد به طوری که مساحت قطعات نمونه در ارتفاع پرواز ۵۰ متر تقریبا ۳/۴ درصد و در ارتفاع پرواز ۷۵ متر تقریبا ۵/۲ درصد بیشتر از میزان واقعی است و افزایش سطح قطعه نمونه تاثیری محسوسی بر این ضریب ثابت ندارد. ولی دستگاه GPS با روندی افزایشی و یا کاهشی، مساحی می‌کند. با افزایش ارتفاع پرواز و افزایش سطح قطعه نمونه، مساحی با پهپاد، همیشه مقداری بیشتر از مساحت واقعی را نشان داده و این میزان قابل پیش‌بینی به نظر می‌رسد. شکل۱۱ نشان می‌دهد پس از اعمال ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی، در یک ارتفاع پرواز مشخص، درصد اختلاف مساحی با پهپاد نسبت به تئودولیت، خطی افقی و فاقد شیب با عددی ثابت برای هر یک از ارتفاعات پرواز است ولی مقدار آن نسبت به GPS کمتر است. شکل۱۲ نیز نشان می‌دهد که پس از اعمال ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی، درصد اختلاف مساحت محاسبه شده قطعات نمونه در ارتفاع پرواز ۵۰ متر تقریبا از ۳/۵ درصد به ۰/۵ درصد و در ارتفاع پرواز ۷۵ متر تقریبا از ۵ درصد به ۱ درصد کاهش یافته است. کاهش خطای مساحی از ۵ درصد به یک درصد بدون نیاز به نقاط کنترل زمینی (۸) اهمیت بسیار زیادی در کاربرد پهپادهای سبک و ارزان قیمت در جنگل دارد زیرا جنگل همیشه هموار و بدون توپوگرافی نیست و امکان استفاده از روش‌های RTK و PPK در آن نیاز به زمان و هزینه فاحش دارد.

جدول۱ نشان می‌دهد از بین روش‌های مورد استفاده، فقط روش مساحی با GPS به روش برداشت نقطه، اختلاف معنی‌داری نسبت به برداشت با استفاده از دوربین تئودولیت ندارد و تمام روش‌های دیگر اعم از GPS به روش برداشت مسیر و پهپاد بدون ضریب تصحیح و نیز با اعمال ضریب تصحیح، دارای اختلاف معنی‌دار است. اختلاف میانگین و اختلاف انحراف از معیار و اختلاف اشتباه از معیار مساحت قطعات نمونه با استفاده از دستگاه GPS به‌روش برداشت نقطه نسبت به مساحی با تئودولیت، اختلاف کمتری نسبت به برداشت با استفاده از همان GPS به‌روش برداشت مسیر دارد. مساحی به‌روش برداشت نقطه زمانی اجرایی است که قطعات نمونه، دارای شکل هندسی مشخص و قابل مساحی با استفاده از برداشت نقاط باشد و توجه به این نکته ضروری است که در بسیاری از موارد عرصه‌های جنگل‌کاری فاقد شکل هندسی مشخص هستند و استفاده از این روش فراگیر نیست. میانگین و انحراف از معیار و اشتباه از معیار مساحت قطعات نمونه با استفاده از پهپاد بدون نقاط کنترل زمینی و با اعمال ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی در ارتفاع ۵۰ متر، نسبت به مساحی با استفاده از تئودولیت، اختلاف کمتری نسبت به مساحی با همان پهپاد در ارتفاع ۵۰ متر بدون ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی را نشان می‌دهد به گونه‌ای که خطای مساحی از حدود ۳/۵ درصد به حدود ۰/۵ درصد کاهش می‌یابد. کاهش خطای مساحی با استفاده از ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی برای ارتفاع پرواز ۷۵ متر نیز مشابه است و خطای مساحی از حدود ۵ درصد به حدود ۱ درصد کاهش می یابد. پراکنش تقریبا یکسان خطا در موزاییک تصاویر موجب می‌شود تا ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی تاثیر مهمی در کاهش خطای مساحی با این روش داشته باشد. این موضوع اهمیت اعمال ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی را در مساحی با پهپاد بدون نقاط کنترل زمینی و یا روشهای دیگر نشان می‌دهد. استفاده از نقاط کنترل زمینی با بهره‌گیری از DGPS در جنگل نیز مسائل خاص خود نظیر قیمت بسیار زیاد، زمان زیاد مورد نیاز مساحی و قطع ارتباط ایستگاه ارسال سیگنال با دستگاه دریافت‌کننده جهت تصحیح خطا به علت وجود یال و دره‌های عمیق را دارد که در انتخاب و اجرای روش مساحی تاثیری مهم دارد. میانگین و انحراف از معیار و اشتباه از معیار مساحی قطعات نمونه با استفاده از پهپاد بدون نقاط کنترل زمینی و با اعمال ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی در ارتفاع ۵۰ و ۷۵ متر، نسبت به مساحی با استفاده از تئودولیت، اختلاف کمتری نسبت به مساحی با GPS به‌روش برداشت مسیر را نشان می‌دهد. در صورتی که روش‌های مساحی با پهپاد حتی بدون استفاده از نقاط کنترل زمینی به دقت بررسی و انتخاب شود، می‌توان مساحی دقیق‌تری نسبت به GPS های رایج در طرح‌های جنگلداری انجام داد و با نتایج تحقیقات شکری و صادقیان (۸) مطابقت دارد. مساحی زمینی، مشکلاتی نظیر توپوگرافی جنگل‌های شمال، سختی ورود به منطقه جنگل‌کاری به دلیل وجود گونه‌های مهاجم علفی و چوبی و غیره دارد و با توجه به مزیت‌های فراوان پهپادها نظیر انعطاف زمانی و مکانی پرواز و تصویربرداری حتی در بارندگی ملایم (6)، دقت تصویربرداری زیاد (اندازه پیکسل کمتر از ۵ سانتی‌متر) (۵) و نیز دقت مساحی قابل قبول برای عرصه‌های جنگل‌کاری با استفاده از ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی می‌توان از پهپادهای سبک و ارزان‌قیمت نیز در مساحی جنگل‌کاری‌ها استفاده نمود بویژه در مساحی جنگل‌کاری‌هایی با سطح کمتر از ۳ هکتار (۴) که تاج پوشش جنگل سبب کاهش دقت GPS شده (۱۲،۹،۷) و استفاده از پهپادهای مجهز به سیستم RTK و PPK نیز مقرون به صرفه نیست. در این تحقیق پارامترهایی نظیر نوع پهپاد، شیب، ارتفاع از سطح دریا و فرم توپوگرافی ثابت در نظر گرفته شد و نیاز است تحقیقات بیشتری در زمینه تاثیر پارامترهای مذکور صورت پذیرد.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.1.7]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.10]

نتیجه‌گیری کلی

این تحقیق نشان داد مساحی جنگل‌کاری با استفاده از GPSهای رایج در طرح‌های جنگلداری به روش برداشت نقطه دقیق‌تر از روش برداشت مسیر است و مساحی با پهپاد بدون نقاط کنترل زمینی، سیستم RTK و یا PPK دقیق‌تر از مساحی با GPSهای رایج نیست و با افزایش ارتفاع پرواز، خطای مساحی با روندی تقریبا ثابت افزایش می‌یابد. اما با اعمال ضریب تصحیح حاصل از شاخص زمینی، دقت مساحی با پهپاد دقیق‌تر از GPSهای رایج در طرح‌های جنگلداری خواهد شد و خطای مساحی به کمتر از یک درصد کاهش می‌یابد.

منابع

1. Baghani, A., M. Valadanzoj, M. Mokhtarzadeh. 2016. Preparation of large scale cadastral maps from urban areas using a UAV photogrammetric method. The first national Conference on Geospatial Information Technology, K.N.Toosi University of Technology Faculty of Geomatics Engineering (In Persian).
2. Bilodeau, J.M., S. Gosselin, K. Lowell, G. Edwards and C. Gold. 1993. Operational integration of 5-PS into forest management activities which use a GIS to monitor forest operations, GIS 93 symposium, Vancouver British Columbia, 6 pp.
3. Cornforth, W., C. Nichol and J. Suarez. 2010. Remote sensing for practical forestry: Arboriculture to UAVs, university of Edinburgh, 24.
4. Habashi, H., M. Hoseini, R. Rahmani, J. Mohammadi and Sh. Shataei. 2006. Assessing the application of global positioning system in the field and networking of forest arenas. www.civilica.com/Paper-GEO85-GEO 85-64 (In Persian).
5. Hunt, E.R., W.D. Hively, C.S. Daughtry, G.W. McCarty, S.J. Fujikawa, T. Ng, M. Tranchitella, D.S. Linden and D.W. Yoel. 2008. Remote sensing of crop leaf area index using unmanned airborne vehicles, In: In Proceedings of the Pecora 17Symposium, Denver, CO.
6. Rango, A., A. Laliberte, J.E. Herrick, C. Winters, K. Havstad, C. Steele and D. Browning. 2009. Unmanned aerial vehicle-based remote sensing for rangeland assessment, monitoring, and management, J. Appl. Remote Sens, 3, Article No: 033542.
7. Roy, Y. 1991. Evaluation of the speed and precision of the GPS system in a wooded environment. Work done as part of the course: Integrated Surveys Project, Laval University, Geomatics Research Center.
8. Shokri. A.M. and S. Sadeghian. 2018. New developments in photogrammetric drone in 3D mapping and modeling. National Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Development. Tehran, Peace Education Institute, 10 pp (In Persian).
9. Spruce. M.D., S.E. Taylor, J.H. Wilhoit and B.J. Stokes. 1993. Using GPS to track forest machines. ASAE Technical Paper No. 93-7504. ASAE, St. Joseph, MI. 23 pp.
10. Taylor. S.E., T.P. McDonald, Veal .M.W, Grift. T.E, 2001, Using GPS to Evaluate Productivity and Performance of Forest Machine Systems. First International Precision Forestry Symposium Bell Harbor Conference Center Seattle, Washington, USA, 10 pp.
11. Tejada, P.J.Z., M.L. Guillén-Climent, R. Hernández-Clemente, A. Catalina, M.R. González and P. Martín. 2013. Estimating leaf carotenoid content in vineyards using high resolution hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle, Agricultural and Forest Meteorology, 171-172, 281-294.
12. Veal, M.W., S.E. Taylor, T.P. McDonald, D.K. Tackett and M.R. Dunn. 2001. Accuracy of tracking forest machines with GPS. Transactions of ASAE, 98-7018.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.1.7]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.10]

Surveying Precision Comparison between UAV Surveying without Ground Control Points, RTK, PPK Compared to Conventional GPS in Forestry Plans

Alireza Hosseinpour[1], Jafar Oladi[2], Hasan Akbari[2] and Mohammad Reza Serajian[3]

1- Corresponding Author, Forestry Experts, Natural Resources Faculty, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran, (Corresponding Author: archoosinpour88@gmail.com)
2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
3- Professor, Faculty of Geology and Spatial Engineering, University of Tehran, Iran
Received: Jun 18, 2018 Accepted: July 14, 2019

Extended Abstract

Introduction and Objective: Precision surveying of plantations is important for forest management. But on the other hand, terrestrial area calculation of plantations has problems such as topography, presence of herbaceous, woody intrusive species, relatively low accuracy of conventional GPS in forestry plans, the cost and time of use of DGPS. UAVs have plenty of advantages, such as time and space flexibility in surveying with precise accuracy in centimeter level.

Material and Method: In this research, a drone was used without ground control points, (RTK) system or (PPK) for surveying, and its accuracy was compared to conventional GPS in forestry. The UAV that used was a quadcopter with a spatial resolution of 2/5 centimeters. In order to compare the precision, 7 sites 0/5, 1, 1/5, 2, 2/5, 3 and 4 hectares were used. GPS tracking was done using point and track method. UAV, s flight conducted at heights of 50 and 75 m, and a surveying with theodolite was used as a precision alignment index.

Results: The results of this study showed that surveying using conventional GPS in forestry is based on point method is more accurate than track method, and UAV surveying with no ground control points or (RTK) system or (PPK) is not more accurate than the conventional GPS used in forestry and with increasing flight altitude, its error increases with a nearly constant trend, but by applying the correction coefficient obtained from the ground index, the precision of the UAV surveying is more accurate than the GPS, and the error will be less than one percent decrease.

Conclusion: Considering that in Iran, this technique has not yet entered the studies of preparation and implementation of forestry plans and monitoring of afforestation and their surveying, the results of this study can be effective in the implementation of forestry plans.

Keywords: Correction coefficient, Plantation, Quad Copter, UAV, Theodolite

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.1.7]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.10]