مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال شانزدهم، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۳
ص ۱۳۵-۱۲۱
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2023.408967.1939

ارزیابی صحت و دقت روش‌های تعیین موقعیت جهانی در نقشه‌برداری جاده‌های جنگلی (مطالعهٔ موردی: جنگل جواهرده رامسر)

ضیا باژرنگ[۱]، رامین نقدی[۲*]، اسماعیل قجر[۳] و سعید فلاحی[۴]

[۱]دانشجوی دکتری جنگلداری، گروه جنگلداری، پردیس دانشگاهی دانشگاه گیلان، رشت، ایران
[۲]استاد گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران
[۳]استادیار گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران
[۴]استادیار گروه ریاضی، دانشگاه سلمان فارسی کازرون، کازرون، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۵)

چکیده

مقدمه: جاده‌های جنگلی از ضروری‌ترین زیرساخت‌ها برای دسترسی و فعالیت‌های مدیریتی واحدهای جنگل هستند. مدیریت پایدار جاده‌ها نیازمند داشتن اطلاعات مکانی درست از شبکهٔ جاده‌هاست. در این زمینه روش‌های مختلفی از نظر صحت، دقت، کارایی و هزینه برای تهیهٔ موقعیت مکانی جاده‌ها وجود دارد. به‌دلیل قرار داشتن جاده‌های جنگلی در مناطق دوردست، کمبود ایستگاه‌های مرجع، احتمال دسترسی نداشتن به شبکهٔ آنلاین و شرایط مؤثر بر خطا، بررسی روش‌های دقیق تعیین موقعیت جاده‌ها از نظر صحت و دقت به‌منظور طراحی و اجرای دقیق آنها برای کاهش حجم عملیات خاکی، هزینه‌های مرتبط با آن و مدیریت آنها ضروری است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، صحت و دقت روش‌های تعیین موقعیت مانند PPK، RTK، بسترهای موجود آنلاین O-RTK مانند شمیم، سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی و نرم‌افزار تلفن همراه در ۵ کیلومتر از جاده‌های جنگلی ارتباطی و درجهٔ دو حوزهٔ ۳۰ رامسر بررسی شد. ابتدا از روش استاتیک سریع، مختصات به منطقهٔ پژوهش گسترش داده شد و بعد از پس‌پردازش و تعیین نقاط مرجع، مختصات دقیق همهٔ نقاط کنترل زمینی روی آکس جاده به روش مستقیم به‌دست آمد. سپس مختصات همهٔ نقاط، از روش‌های مختلف در سه نوبت اندازه‌گیری شد و برای بررسی صحت و دقت روش‌های تعیین موقعیت از آزمون‌های t تک‌نمونه‌ای، ویلکاکسون و تجزیهٔ واریانس استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج آماری بررسی صحت نشان داد که بیشترین میانگین خطا ۲/۵۳ متر و ۲/۳۸ متر به‌ترتیب برای GPS دستی و اپلیکیشن و کمترین آن ۰/۰۴۸ متر، ۰/۰۴۹ متر و ۰/۰۹۷ متر به‌ترتیب برای PPK، RTK و شمیم بوده است. مقدار RMSE نشان داد که روش‌های اندازه‌گیری سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی و اپلیکیشن، کمترین صحت و روش‌های PPK، RTK و شمیم، بیشترین صحت را دارند. براساس آزمون‌های t تک‌نمونه‌ای و ویلکاکسون، مقدار خطا (D_i) برای همهٔ روش‌های بررسی‌شده در این تحقیق برابر نیست. نتایج بررسی دقت نشان داد که روش سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی با میانگین فاصلهٔ ۱/۱۴۰۸ متر کمترین دقت و روش‌های شمیم با میانگین فاصلهٔ ۰/۰۶۲۱ و RTK با میانگین فاصلهٔ ۰/۰۶۳ متر بیشترین دقت را دارند. آزمون تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که روش‌های اپلیکیشن، شمیم و PPK، فواصل برابر بین نقاط و همگرایی بیشتر دارند.

نتیجه‌گیری: از یافته‌های این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که روش اندازه‌گیری PPK، بیشترین صحت و روش اندازه‌گیری شمیم بیشترین دقت را دارند. بنابراین برای اهدافی مانند بهینه‌سازی طرح شبکهٔ جاده‌های جنگلی یا خط پروژه که به اطلاعات مکانی درست نیاز دارند، می‌توان از این روش‌ها بهره برد.

واژه‌های کلیدی: استاتیک سریع، اطلاعات مکانی، جاده‌های جنگلی، دقت، صحت.

*نویسنده مسئول
شماره تماس ۰۹۱۱۱۳۸۰۱۰۸
ایمیل: Rnaghdi@guilan.ac.ir

مقدمه

پایه و اساس همهٔ فعالیت‌های مدیریت منابع طبیعی و جنگل، ایجاد جاده‌های ارتباطی است. در همهٔ فعالیت‌های جنگلداری مانند بهره‌برداری، احیا و توسعه، حمایت و حفاظت، جنگل‌شناسی، آبخیزداری، گردشگری و فعالیت‌های اقتصادی مرتبط به آن، وجود جاده‌های جنگلی اجتناب‌ناپذیر است. جاده‌های جنگلی از ضروری‌ترین زیرساخت‌های طرح‌های مدیریت واحدهای جنگلی هستند (Majnounian et al., 2005) و در مناطق دارای طرح مدیریتی در ایجاد دسترسی برای اعمال فعالیت‌های مدیریتی کارکرد مهمی دارند (Rahbari Sisakht et al., 2017) که ساخت و نگهداری آنها بیشترین هزینه در بخش بهره‌برداری طرح‌های جنگلداری را به خود اختصاص می‌دهند. در مدت چند دهه فعالیت تهیه و اجرای طرح‌های جنگلداری، در جنگل‌های شمال کشور ۱۰ هزار کیلومتر جادهٔ جنگلی طراحی و احداث شده است (Hosseini, 2016). مدیران جنگل برای اینکه شبکهٔ جاده‌های جنگلی عملکرد درست و پایدار داشته باشند و بتوانند سرمایهٔ سنگینی را که صرف ساخت آنها شده حفظ کنند، باید به نظارت و نگهداری منظم جاده‌های جنگلی توجه ویژه‌ای داشته باشند (Majnounian et al., 2010). داشتن اطلاعات کامل و درست از موقعیت مکانی جاده‌ها ابزاری باارزش برای پایش و اولویت‌دهی فعالیت‌های تعمیر و نگهداری از آنها به شمار می‌رود (Cissel et al., 2012). این فعالیت‌ها، مستلزم داشتن آمار درست از جاده‌هاست و تغییر و تبدیل آنها و به‌طور کلی مدیریت پایدار جاده‌ها لازمهٔ داشتن اطلاعات مکانی درست از شبکهٔ جاده‌هاست. اشتباه در طراحی و مکان‌یابی جاده‌های جنگلی ممکن است بسیار پرهزینه و همراه با آثار مخرب باشد (Javanmard et al., 2018).

روش‌های مختلفی برای تهیهٔ موقعیت مکانی جاده‌ها و نقشهٔ وضعیت افقی و ارتفاعی آنها وجود دارد. یکی از متداول‌ترین روش‌ها، سامانهٔ ناوبری ماهواره‌ای جهانی یا GNSS[1] است که دامنهٔ گسترده‌ای از کاربردها را در جنگلداری در بر می‌گیرد (Murgas et al., 2018). استفاده از این سامانه با شیوه‌ها و گیرنده‌های مختلف امکان‌پذیر است. سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی[2] و سامانهٔ اطلاعات مکانی، ابزار کارآمدی برای نشان دادن پراکنش مکانی هستند (Jaferyan et al., 2015) و اغلب در عملیات مهندسی جنگل کاربرد دارند (D'Eon, 1995; Deckert & Bolstad, 1996; Hasegawa & Yoshimura, 2003). در دهه‌های اخیر، کاربردهای GNSS در جنگلداری به‌علت سرعت و دقت برای به‌دست آوردن داده‌های مکانی توجه زیادی از کاربران را به خود جلب کرده است (Johnson, Barton, 2004; Awange, 2012). این کاربردها شامل فعالیت‌های مهندسی جنگل، آماربرداری جنگل (Valbuena et al., 2010; Abdi et al., 2012)، آماربرداری جاده، بررسی اراضی جنگل، نقشه‌برداری از مرزها برای نظارت بر ماشین‌آلات بهره‌برداری (Rodriguez et al., 2006; Abdi et al., 2012)، نمونه‌برداری و مدیریت جادهٔ جنگلی (Valbuena et al., 2010)، مدیریت منابع طبیعی و نقشه‌برداری (Ginsburg, 2002) است. تحقیقات زیادی دربارهٔ کاربرد سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی در علوم جنگل و منابع طبیعی و مقدار خطا و صحت آنها انجام گرفته است. Lee et al. (2023) در تحقیقی تأثیر درختان در محیط جنگلی بر دقت موقعیت دو نوع گیرندهٔ دستی از نوع گارمین و تریمبل و گوشی هوشمند را بررسی کردند که مشخص شد خطای موقعیت‌یابی گوشی هوشمند کمتر از گیرندهٔ دستی گارمین و بیشتر از گیرندهٔ دستی تریمبل است. Pirti (2021) دقت و عملکرد سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی را در منطقه‌ای نزدیک جنگل در فصول بهار و پاییز ارزیابی کرد. Wing et al. (2005) در بررسی صحت سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی از نوع دستی در سه محیط مختلف جنگل (تاج‌پوشش باز، جنگل جوان و تاج‌پوشش بسته) در

1. Global Navigation Satellite System
2. Global Positioning System

غرب اورگان، مقدار خطای سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی را برای این سه محیط به‌ترتیب ۵، ۷ و ۱۰ متر به‌دست آوردند. Rodriguez et al. (2007) چهار گیرندهٔ سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی را از لحاظ سهولت استفاده، صحت و قابلیت اطمینان به‌منظور تعیین مناسب‌ترین گیرنده برای تاج‌پوشش‌های مختلف جنگل ارزیابی کردند و صحت افقی بسته به مدل گیرندهٔ سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی در محدودهٔ ۴/۸ تا ۸/۸ متر به‌دست آمد. Andersen et al. (2009) صحت دو نوع گیرندهٔ سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی را در جنگل‌های درهٔ Tanana در آلاسکا بررسی کردند که مقدار خطا برای گیرندهٔ نوع دقیق دستی، ۷-۳ متر و برای نوع دقیق نقشه‌برداری کمتر از ۱ متر در شرایط مختلف جنگل به‌دست آمد. Abdi et al. (2012) صحت برداشت دو روش پیمایش و سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی نوع دستی را در برداشت نقشهٔ جاده‌های جنگلی در بخش پاتوم جنگل آموزشی خیرودکنار نوشهر در شمال ایران مقایسه کردند و میانگین صحت را برای روش سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی و پیمایش به‌ترتیب ۱۹/۶۴±۳۸/۸۶ و ۷۰/۵۵±۱۴۷/۸۹ متر به‌دست آوردند. Abdi et al. (2022) در پژوهشی در جنگل‌های هیرکانی، تأثیر فصول بر دقت تعیین موقعیت برای نقشه‌برداری جاده‌ها را با سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی بررسی کردند. همچنین در تحقیقاتی نشان داده شد که سایهٔ درختان بر دقت موقعیت‌یابی GNSS تأثیر منفی می‌گذارد، زیرا سیگنال‌های رادیویی را مسدود و منعکس کرده و توانایی گیرنده را برای تثبیت موقعیت مکانی بدتر می‌کنند (D'Eon, 1995; Deckert & Bolstad, 1996; Hasegawa & Yoshimura, 2003). افزون‌بر این اثرهای یونسفر، وضعیت جوی، اثرهای نسبیتی، خطاهای ساعت و دیگر خطاها نیز بر مشاهدات و دقت تعیین موقعیت تأثیر منفی دارند (Sigrist et al., 1999).

تعیین مؤلفه‌های مختصاتی نقاط در یک سیستم مختصات زمین- ثابت و زمین- مرکز (ECEF)[1] و با استفاده از اطلاعات معلوم ماهواره‌ها را تعیین موقعیت ماهواره‌ای می‌نامند. تعیین موقعیت ماهواره‌ای با در نظر گرفتن دیدگاه‌های مختلف انواعی دارد که عبارت‌اند از: ۱. مطلق یا نسبی؛ ۲. استاتیک و کینماتیک؛ ۳. پس‌پردازش و آنی. هر عملیات تعیین موقعیت ماهواره‌ای به‌نوعی ترکیبی از سه دسته‌بندی بالا خواهد بود. دقیق‌ترین شیوهٔ تعیین موقعیت ماهواره‌ای که به‌صورت عملیاتی سبب حذف یا کاهش خطاهای وابسته به فاصله می‌شود، روش نسبی استاتیک پس‌پردازش است که در محاسبات شبکه‌های دقیق نقشه‌برداری و ژئودزی کاربرد دارد. در این شیوه با استقرار دو گیرنده در دو انتهای یک فاصله که مختصات یک انتهای آن از قبل معلوم است، مشاهدات، همزمان ثبت می‌شود و طی پردازش‌های آتی در دفتر کار، می‌توان به دقتی در سطح چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر برای نقطهٔ انتهایی دست یافت. نیاز به مشاهدات همزمان حداقل دو گیرنده، معلوم بودن مختصات یک نقطه و رعایت فاصلهٔ بین دو ایستگاه با توجه به نوع گیرنده، از عوامل محدودکنندهٔ عملیات در این شیوه‌اند (Abdi et al., 2018). استفاده از این روش نیازمند ایجاد و گسترش شبکهٔ ایستگاه‌های مرجع و لینک‌های ارتباطی زیاد است و برای افزایش شعاع عملیاتی سامانه، ایجاد شبکهٔ ایستگاه‌های متراکم‌تر ضرورت دارد که هزینه‌های زیادی برای احداث و نگهداری شبکه ایجاد می‌کند.

با توجه به قرار داشتن جاده‌های جنگلی و کوهستانی در مناطق دوردست و خارج از شهر و کمبود ایستگاه‌های مرجع یا فاصلهٔ زیاد بین آنها، استفاده از روش‌های دیگری برای رفع این محدودیت‌ها ضروری است. همچنین در عرصه‌ها و جاده‌های جنگلی و کوهستانی عوامل توپوگرافی و تاج درختان سبب افزایش خطای تعیین موقعیت می‌شود و دسترسی به شبکهٔ آنلاین پیوسته که بتوان با استفاده از آن به‌صورت آنی مختصات نقاط را به‌دست آورد امکان‌پذیر نیست. در این پژوهش صحت و دقت روش‌های تعیین موقعیت مانند:

1. Earth-Center Earth-Fixed

PPK[1]، RTK[2]، بسترهای موجود آنلاین O-RTK[3] مانند شمیم، سامانه‌های موقعیت‌یاب جهانی دستی و اپلیکیشن تلفن همراه در مناطقی مانند جاده‌های جنگلی و کوهستانی که دسترسی به نقاط و ایستگاه‌های مرجع جز با ایجاد و توسعهٔ شبکه و صرف وقت و هزینه امکان‌پذیر نیست بررسی شد. به‌عبارتی کارایی، صحت و دقت روش‌هایی که محدودیت‌های کمتری از نظر هزینه، تعداد گیرنده‌ها، نیاز نداشتن به نقاط ایستگاهی و استفاده از بسترهای آنلاین دارند بررسی شد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

این پژوهش در سری ۷ حوزهٔ ۳۰ رامسر از جنگل‌های هیرکانی شمال کشور انجام گرفت که از نظر مختصات جغرافیایی بین ۳۶ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقهٔ عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۷ دقیقهٔ طول شرقی واقع بوده و دارای ۳۶/۸ کیلومتر جادهٔ مواصلاتی و جادهٔ درجه دو جنگلی است که به‌منظور بهره‌برداری، عملیات پرورشی، نظارت و تفرج از آنها استفاده می‌شود (شکل ۱). مساحت سری حدود ۴۴۰۳ هکتار است و از ارتفاع ۱۰۰ متر تا ۲۴۵۰ متر از سطح آب‌های آزاد گسترش دارد. مقدار بارندگی سالانه ۱۰۸۷/۹ میلی‌متر و میانگین دما ۱۱ درجهٔ سانتی‌گراد است (Anonymous, 2012).

روش‌های تعیین موقعیت

روش استاتیک

این روش اصلی‌ترین و دقیق‌ترین روش نقشه‌برداری با سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی است که برای فواصل بلند، شبکهٔ ژئودتیک یا مطالعات تکتونیک صفحه‌ای استفاده می‌شود. به‌منظور مشاهده، یک طول باز و بلند گیرندهٔ مرجع[4] روی نقطهٔ معلوم و گیرندهٔ متحرک[5] در انتهای طول باز مستقر می‌شود و حداقل زمان لازم ۱ ساعت است که با توجه به تعداد و آرایش هندسی ماهواره‌ها و طول بیس‌لاین تغییر می‌کند. پس از مشاهدات به پس‌پردازش[6] نیاز است (Julianto et al., 2018).

روش استاتیک سریع[7]

این روش برای ایجاد شبکهٔ کنترل محلی استفاده می‌شود و برای داشتن طول بازهٔ دقیق کمتر از ۲۰ کیلومتر از روش استاتیک سریع‌تر است. برای اجرای این روش به یک گیرندهٔ مرجع و یک یا چند گیرندهٔ متحرک نیاز است و پس‌پردازش نیز ضرورت دارد. از این روش می‌توان برای ایجاد شبکهٔ کنترل و مبنا در عرصه‌های جنگلی و جاده‌های جنگلی به‌منظور تعیین موقعیت دقیق استفاده کرد (Santos et al., 2000).

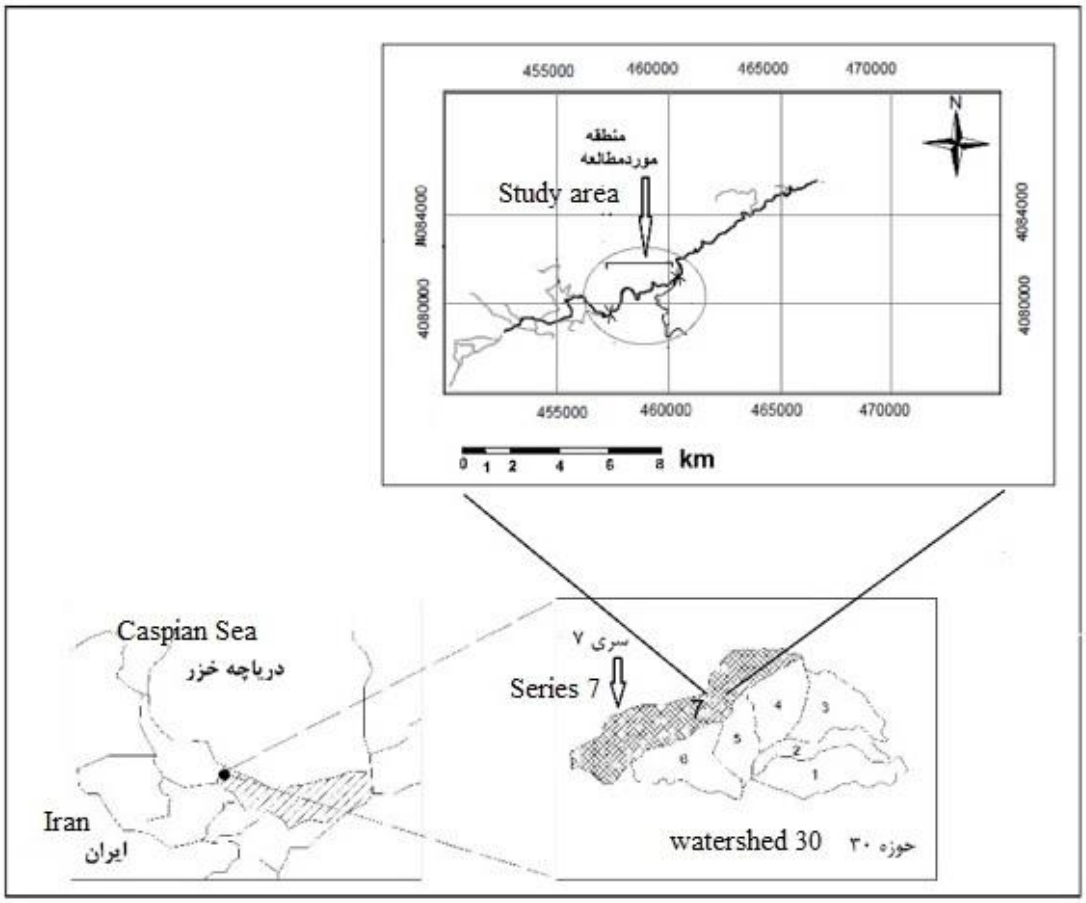
روش RTK

RTK فرایندی است که در آن تصحیحات سیگنال سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی به‌صورت آنی از یک ایستگاه گیرندهٔ مرجع با موقعیت معلوم برای گیرندهٔ متحرک مخابره می‌شود. بدین معنا که با استفاده از مشاهدات کوتاه‌مدت امکان تعیین موقعیت در حال حرکت بین ایستگاه‌ها فراهم شده و با استفاده از سیگنال‌های فاز حامل[8] موقعیت مکانی ایستگاه سیار تعیین می‌شود.

در این شیوه گیرندهٔ ثابت روی نقطه‌ای با مشخصات معلوم استقرار می‌یابد و گیرندهٔ دوم، سیگنال ایستگاه مرجع را از طریق رادیویی و سیگنال‌های ماهواره را از آنتن خود به‌طور مستقیم دریافت می‌کند. پس از اینکه گیرندهٔ دوم هر دو سیگنال ماهواره و ایستگاه مرجع را دریافت کرد، گیرنده اینیشیالایز[9] شده و ابهام فاز حل می‌شود و برای ثبت نقاط و مختصات آماده خواهد بود. تعیین موقعیت آنی روشی است که با توجه به

1. Post-Processed Kinematic
2. Real-Time Kinematic
3. Online Real-Time Kinematic
4. Base receiver
5. Rover receiver
6. Post-processing
7. Rapid static method
8. Carrier code
9. Initialize

ویژگی‌هایش، توسط نقشه‌برداران و کاربران دیگر انتخاب می‌شود (Park & Kee, 2010).



شکل ۱- موقعیت جاده

Figure 1. Location of the studied road

روش PPK

روش PPK نوعی فناوری تصحیح داده‌های GNSS است که به‌طور گسترده در نقشه‌برداری برای به‌دست آوردن داده‌های موقعیت مکانی با دقت زیاد از آن استفاده می‌شود. در این روش تنها یک گیرنده استفاده می‌شود که پس از روشن کردن دستگاه و تنظیمات اولیه برای حل مشکل ابهام فاز، در موقعیت نقطهٔ اول بیش از ۱۰ دقیقه زمان نیاز است. کاربرد این روش در مناطق فاقد ایستگاه مرجع یا دسترسی نداشتن به بستر اینترنت و سامانهٔ شمیم با یک گیرنده امکان‌پذیر خواهد بود. بعد از مشاهدات دستیابی به موقعیت دقیق مستلزم پس‌پردازش است (Pirti, 2021).

سامانهٔ شمیم

شمیم، مخفف شبکهٔ موقعیت‌یابی یکپارچه مالکیت‌هاست. این بستر توسط سازمان ثبت اسناد و املاک کشور مهیا شده و دستیابی به موقعیت دقیق نقاط توسط یک گیرنده با اتصال به این بستر از طریق اینترنت به‌صورت آنی با اصلاحات مرکزی امکان‌پذیر است. سرعت و دقت مشاهدات، نیاز نداشتن به پس‌پردازش، قابلیت استفاده در همهٔ مناطق دارای بستر اینترنت و استفاده از یک گیرنده از مزیت‌های این روش است.

سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی[1]

امروزه مدل‌های مختلفی از سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی توسط کاربران مختلف برای تعیین موقعیت استفاده می‌شود. سهولت کاربرد و راه‌اندازی، امکانات تعریف‌شده و قیمت آن سبب شده که کاربران متنوع و متعدد سازمانی و خصوصی از آن استفاده کنند.

اپلیکیشن تلفن همراه

تلفن همراه هوشمند و نرم‌افزارهای متعدد آن کاربردهای گوناگونی را برای کاربران امکان‌پذیر می‌سازند که یکی از آنها نرم‌افزارهای مختلف سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی هستند که روی گوشی همراه نصب می‌شوند و امکان تعیین موقعیت و دیگر قابلیت‌ها را دارند.

شیوهٔ اجرای پژوهش

۵ کیلومتر از جاده‌های ارتباطی منطقهٔ پژوهش با شیب طولی بین ۲ تا ۸ درصد، عرض جادهٔ ۶ متر، شیب عرضی ۲ درصد و دارای تاج‌پوشش متوسط ۲۵ درصد که بیش از سه دهه از ساخت آن می‌گذرد، تعیین شد و نقاط کنترل زمینی به تعداد ۳۴ نقطه از مناطق با تاج‌پوشش مشابه و در فواصل مختلف روی آکس جاده میخکوبی شد. برای ایجاد شبکهٔ کنترل محلی نقاطی با مختصات مشخص مربوط به شبکهٔ ژئودزی سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شد. این نقاط به روش استاتیک نسبی و شیوهٔ استاتیک سریع و با استفاده از دو گیرندهٔ ایستگاهی مولتی‌فرکانس کامناو[2]، یکی به‌عنوان مرجع روی نقطهٔ مشخص شبکه و دیگری به‌عنوان متحرک برای گسترش نقاط شبکهٔ محلی انتخاب شد و مختصات به منطقهٔ پژوهش گسترش داده شد. بعد از پس‌پردازش با استفاده از نرم‌افزار و اعمال معادلات و تصحیحات، مختصات دقیق نقاط مشخص شدند. سپس برمبنای نقاط گسترش‌یافته در منطقهٔ پژوهش، همهٔ نقاط کنترل زمینی (GCP)[3] میخکوبی‌شده روی آکس جاده، از طریق روش مستقیم با استفاده از دوربین نقشه‌برداری توتال استیشن مدل لایکا و با اعمال ضریب اشل[4] خوانده شد و مختصات آنها به‌دست آمد.

با استفاده از روش RTK و به‌کارگیری دو گیرنده، یکی به‌عنوان مرجع با استقرار روی یکی از نقاط معلوم شبکهٔ ایجادشده از روش استاتیک سریع و دیگری به‌عنوان متحرک، مختصات همهٔ نقاط کنترل زمینی روی اکس جاده، به‌صورت آنی مشاهده و ثبت شد. مختصات همهٔ نقاط کنترل زمینی با بهره‌گیری از یک گیرنده و از طریق سامانهٔ شمیم به‌صورت آنلاین با اعمال تصحیحات مرکز به‌دست آمد.

به کمک روش PPK با استفاده از یک گیرنده، پس از استقرار روی نقطهٔ اول و رعایت زمان لازم برای حل ابهام فاز مختصات، همهٔ نقاط مدنظر روی جاده با همان گیرنده ثبت و ذخیره شد و مختصات همهٔ مشاهدات در زمان دیگر با اعمال محاسبات پس‌پردازش در دفتر به‌دست آمد. همچنین مختصات همهٔ نقاط با استفاده از سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی نوع Garmin 60CSX به‌صورت آنی و بدون نیاز به پس‌پردازش به‌دست آمد و مجدداً با استفاده از اپلیکیشن Maverick نصب‌شده روی گوشی تلفن همراه مختصات همهٔ نقاط به‌دست آمد.

در این پژوهش همهٔ مشاهدات از روش‌های مختلف تعیین موقعیت در شرایط برابر زمانی و جوی بررسی شد و به‌منظور افزایش دقت و کاهش خطای اندازه‌گیری در روش‌های PPK، RTK و شمیم، از سه پایه برای استقرار روی نقاط استفاده شد. در زمان ثبت مختصات با سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی و گوشی همراه، با صرف زمان در حالت نمایش بیشترین دقت، مختصات نقاط ثبت شد.

1. Handheld GPS
2. COMNAV
3. Ground control points
4. Scale Factor

صحت روش‌های تعیین موقعیت نقاط

در هر سیستم اندازه‌گیری هرچه میانگین نتایج حاصل از دفعات مختلف اندازه‌گیری به مقدار واقعی نزدیک‌تر باشد، صحت آن بیشتر است. در این پژوهش برای بررسی صحت، مختصات همهٔ نقاطی که از شبکه ایجاد شده در روش استاتیک سریع و مشاهدات دوربین نقشه‌برداری به‌دست آمده بود، مبنا در نظر گرفته شد و مختصات هر کدام از نقاط با رعایت شرایط برابر در سه نوبت با هر یک از روش‌های RTK، PPK، Handheld GPS، Shamim، Maverick به‌دست آمد و میانگین مختصات روش‌ها با استفاده از رابطه ۱ و رابطه ۲محاسبه و با مختصات مبنا سنجیده شد.

رابطهٔ ۱ $x_{iR}= (x_1 + x_2 + x_3) / 3$

رابطهٔ ۲ $y_{iR}= (y_1 + y_2 + y_3) / 3$

در رابطه‌های ۱ و ۲ مقدار x_{iR}، y_{iR} میانگین مختصات سه مرحلهٔ برداشت برای هر موقعیت است و x_1,y_1 و x_2,y_2 و x_3,y_3 مختصات برداشت‌های نوبت‌های اول، دوم و سوم است.

برای محاسبهٔ صحت، اختلاف بین مختصات روش‌های مختلف برداشت تعیین موقعیت با مختصات مبنا، برای هر نقطه از رابطه‌های ۳ و ۴ استفاده شد (Murgas et al., 2018).

رابطهٔ ۳ $\Delta x_i = x_{iR} - x_{iT}$

رابطهٔ ۴ $\Delta y_i = y_{iR} - y_{iT}$

در رابطه‌های ۳ و ۴ x_{iR}، y_{iR} مختصات نقاط برای روش‌های مختلف و x_{iT}، y_{iT} مختصات نقطهٔ مبنا هستند.

برای هر کدام از نقاط برداشت‌شده روش‌های تعیین موقعیت، مقدار خطا (D_i) از رابطهٔ ۵ به‌دست آمد.

رابطهٔ ۵ $D_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}$

برای هر روش مقدار میانگین خطا ($\overline{\overline{D}}$) و اشتباه معیار (SE) و انحراف معیار (SD) از طریق رابطه‌های ۶، ۷ و ۸ محاسبه شد.

رابطهٔ ۶ $\overline{\overline{D}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} D}{n}$

رابطهٔ ۷ $SE = \frac{SD}{\sqrt{n}}$

رابطهٔ ۸ $SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(Di - \overline{D}\right)}{n-1}}$

شاخص ریشهٔ میانگین مربعات خطای[1] (RMSE) مختصات، برای تعیین صحت افقی روش‌های مختلف از رابطه‌های ۹، ۱۰ ، ۱۱ یا ۱۲ به‌دست آمد.

رابطهٔ ۹ $RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^2}{n}}$

رابطهٔ ۱۰ $RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} y_i^2}{n}}$

رابطهٔ ۱۱ $RMSE_{xy} = \sqrt{RMSEx^2 + RMSEy^2}$

رابطهٔ ۱۲ $RMSE_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n} D_i}{\sqrt{n}}$

برای تعیین نرمال بودن توزیع خطای موقعیت (D_i) از آزمون شاپیرو- ویلک با سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. درصورتی که توزیع خطاهای موقعیت نقاط، نرمال باشد از آزمون t تک‌نمونه‌ای و در غیر این‌صورت از آزمون ناپارامتریک ویلکاکسون استفاده می‌شود.

دقت روش‌های تعیین موقعیت نقاط

در هر سیستم اندازه‌گیری هرچه نتایج حاصل از چند نوبت اندازه‌گیری به هم نزدیک‌تر باشند دقت آن سیستم یا وسیله بیشتر است و انحراف معیار داده‌ها می‌تواند تابعی برای تعریف دقت باشد. برای بررسی دقت پنج روش تعیین موقعیت نقاط بدون توجه به موقعیت مبنا، فاصلهٔ مختصات سه اندازه‌گیری برای هر نقطه با یکدیگر مقایسه شد. همچنین فاصلهٔ مختصات سه نوبت اندازه‌گیری نسبت به یکدیگر به‌عنوان سه ضلع از طریق رابطهٔ ۵ محاسبه شد. در این تحقیق از آزمون تجزیهٔ واریانس برای بررسی اختلاف فاصلهٔ بین سه مختصات اندازه‌گیری‌شده با یکدیگر در روش‌های مختلف و همگرایی آنها استفاده شد.

1. Root-Mean-Square Error

همهٔ محاسبات و تجزیه‌وتحلیل‌های این پژوهش در محیط نرم‌افزارهای اکسل ۲۰۱۳ و SPSS 16 انجام گرفت.

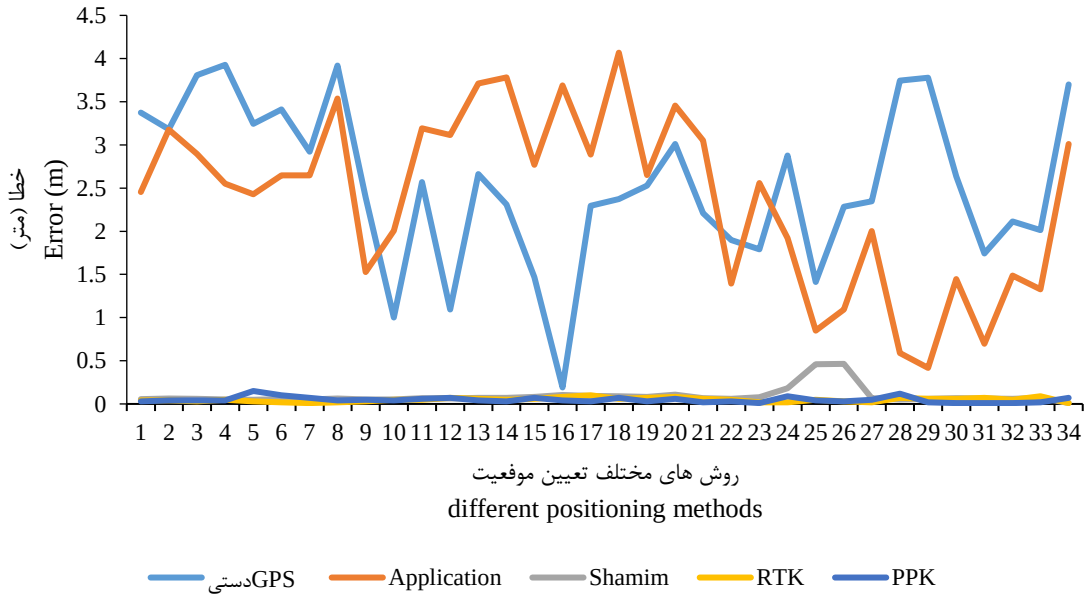
نتایج

نتایج بررسی صحت برای روش‌های مختلف تعیین موقعیت نشان داد که بیشترین میانگین فاصله از مختصات مبنا ۲/۵۳ متر و ۲/۳۸ متر به‌ترتیب برای سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی و اپلیکیشن تلفن همراه هوشمند و کمترین میانگین فاصله از مختصات مبنا ۰/۰۴۸ متر، ۰/۰۴۹ متر و ۰/۰۹۷ متر به‌ترتیب برای PPK، RTK و شمیم بوده است (جدول ۱). وضعیت روش‌های مختلف برداشت مختصات نسبت به مبنا و نسبت به یکدیگر در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- آمار توصیفی خطای روش‌های مختلف تعیین موقعیت و صحت

Table 1. Descriptive statistics of the error of different positioning method and RMSEs

روش‌های برداشت Measured methods	تعداد Nomber	کمینه (متر) Minimum(m)	بیشینه (متر) Maximum(m)	میانگین (متر) Mean(m)	انحراف معیار (متر) Std. Deviation(m)	واریانس (مترمربع) Variance (m^2)	صحت (متر) RMSE(m)
Handheld GPS	34	0.19	3.93	2.5361	0.91214	0.832	14.787
Application	34	0.42	4.07	2.3836	1.00479	1.010	13.898
Shamim	34	0.01	0.46	0.09747	0.09747	0.010	0.538
RTK	34	0.01	0.10	0.0488	0.02306	0.001	0.284
PPK	34	0.01	0.15	0.0479	0.03179	0.001	0.279



شکل ۲- خطای روش‌های مختلف تعیین موقعیت نسبت به مبنا

Figure 2. The error of different methods of determining the position relative to the base

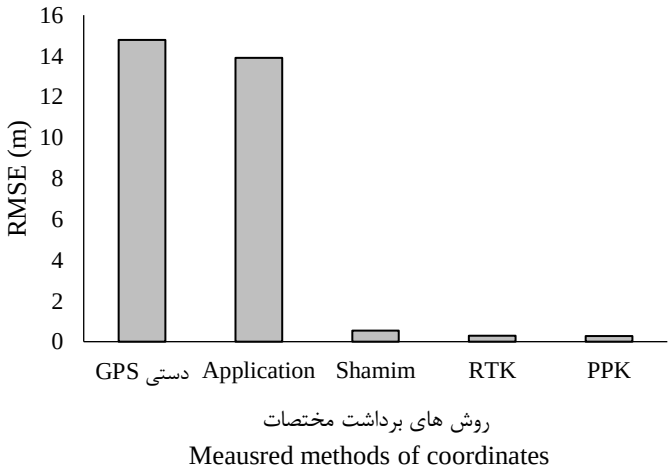
شاخص RMSE نشان می‌دهد که هرچه عدد محاسبه‌شده کمتر باشد، صحت روش مناسب‌تر است. مقدار RMSE در شکل ۳ نشان می‌دهد که کمترین صحت برای روش اندازه‌گیری سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی و اپلیکیشن تلفن همراه هوشمند در یک گروه و بیشترین صحت مربوط به روش اندازه‌گیری PPK، RTK و شمیم در گروه دیگر است. اختلاف صحت اندازه‌گیری تعیین موقعیت بین این دو

گروه کاملاً مشخص است و روش اندازه‌گیری PPK، RTK و شمیم دارای صحت‌های نزدیک به هم هستند.

نتایج بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو- ویلک با سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان داد که مختصات در روش‌های سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی، اپلیکیشن تلفن همراه هوشمند، RTK و شمیم دارای توزیع نرمال است و مختصات نقاط در روش PPK دارای توزیع نرمال نیست (جدول ۲).

در آزمون‌های پارامتریک تی تک‌نمونه‌ای و ناپارامتریک ویلکاکسون، مقدار P-Value به‌دست‌آمده برای همهٔ روش‌ها از مقدار سطح احتمال α کوچک‌تر بود که نشان می‌دهد فرض صفر یا برابری میانگین خطای فاصله‌ای بین مختصات نقاط با مختصات مبنا، در روش‌های مختلف با احتمال ۹۵ درصد رد می‌شود و فرض مقابل و نابرابری میانگین خطاها مورد قبول است. براساس این نتایج، مقدار فاصله یا خطای (D_i) همهٔ موقعیت‌های اندازه‌گیری‌شده برای همهٔ روش‌های بررسی‌شده در این تحقیق برابر نیست (جدول ۳).

نتایج آماری برای بررسی دقت نشان داد که روش اندازه‌گیری سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی با میانگین فاصلهٔ ۱/۱۴۰۸ متر بین سه مختصات به‌دست‌آمده از سه نوبت اندازه‌گیری و با انحراف معیار ۰/۷۷۰۲۸ متر دارای کمترین دقت است. همچنین روش‌های اندازه‌گیری شمیم با میانگین فاصلهٔ ۰/۰۶۲۱، انحراف از معیار ۰/۱۶۴۸۸ و RTK با میانگین فاصلهٔ ۰/۰۶۳ متر، انحراف معیار ۰/۰۴۰۵۸ دارای بیشترین دقت هستند (جدول ۴).



شکل ۳- شاخص RMSE برای روش‌های مختلف تعیین موقعیت
Figure 3. RMSE index for different positioning methods

جدول ۲- نتایج نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو - ویلک
Table 2. Results of the Shapiro-Wilk normality test

روش‌ها Methods	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	P-Value
Handheld GPS	0.967	34	0.394
Application	0.957	34	0.198
Shamim	0.950	34	0.124
RTK	0.962	34	0.273
PPK	0.934	34	0.042

جدول ۳- نتایج آزمون t تک‌نمونه‌ای و ویلکاکسون

Table 3. Results of One sample t-Test or Wilcoxon signed rank test

روش‌ها	مقدار خطا D_i	
Methods	df	P-Value
Handheld GPS	33	0.000
Application	33	0.000
Shamim	33	0.000
RTK	33	0.000
PPK	-	0.000

جدول ۴- توصیف آماری برای فاصله‌های بین سه مرحله تعیین موقعیت با روش‌های مختلف

Table 4. Statistical description for the distances between the three stages of positioning with different methods

روش‌ها Methods	تعداد Number	کمینه (متر) Minimum (m)	بیشینه (متر) Maximum (m)	میانگین (متر) Mean (m)		انحراف معیار (متر) Std. Deviation (m)	واریانس (مترمربع) Variance (m^2)
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Statistic
Handheld GPS	102	0.00	4.47	1.1408	0.07627	0.77028	0.593
Application	102	0.00	2.33	1.0438	0.04764	0.48112	0.231
Shamim	102	0.00	0.99	0.0621	0.01633	0.16488	0.027
RTK	102	0.00	0.19	0.0630	0.00402	0.04058	0.002
PPK	102	0.02	0.22	0.1018	0.00425	0.04295	0.002

جدول ۵- نتایج آزمون تجزیهٔ واریانس برای فاصله‌های بین سه مرحله تعیین موقعیت با روش‌های مختلف

Table 5. ANOVA results for the distances between the three stages of positioning with different methods

روش‌ها Methods	منبع تغییرات Sources of Change	مجموع مربعات Sum of Squares	درجهٔ آزادی df	میانگین مربعات Mean Square	F	معنی‌داری Sig.
Handheld GPS	Between Groups	5.604	2	2.802	5.106	0.008
	Within Groups	54.323	99	0.549		
	Total	59.926	101			
Application	Between Groups	0.169	2	0.085	0.359	0.699
	Within Groups	23.28	99	0.234		
	Total	23.379	101			
Shamim	Between Groups	0.013	2	0.007	0.239	0.788
	Within Groups	2.732	99	0.028		
	Total	2.746	101			
RTK	Between Groups	0.033	2	0.017	12.378	0.000
	Within Groups	0.133	99	0.001		
	Total	0.166	101			
PPK	Between Groups	0.003	2	0.001	0.682	0.508
	Within Groups	0.184	99	0.003		
	Total	0.186	101			

آزمون تجزیهٔ واریانس برای فاصلهٔ بین مختصات حاصل از سه نوبت اندازه‌گیری با روش‌های مختلف نشان داد که با توجه به مقدار P-Value با سطح احتمال ۰/۰۵، روش‌های اندازه‌گیری اپلیکیشن، شمیم و PPK دارای اعداد بزرگ‌تر از α هستند و بنابراین فرض صفر و برابری فاصلهٔ بین مختصات پذیرفته می‌شود که همگرایی بین مختصات را بیان می‌کند و برای روش‌های سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی و RTK با مقدار P-Value کوچک‌تر از ۰/۰۵ فرض مقابل و نابرابری حداقل دو فاصله، پذیرفته می‌شود (جدول ۵).

با توجه به نتایج جدول ۴ روش تعیین موقعیت RTK دارای دقت زیادی است، ولی براساس جدول ۵، همگرایی بین فاصله‌های مختصات وجود ندارد.

بحث

نتایج به‌دست‌آمده از تعیین موقعیت جاده‌های جنگلی که به‌صورت فضای باز و کم پوشش هستند نشان داد که مقدار خطا (D_i) و RMSE بین سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی و اپلیکیشن با گیرنده‌های نقشه‌برداری شمیم، RTK و PPK اختلاف زیادی دارد که با استفاده از روش‌های دقیق نقشه‌برداری می‌توان به خطای ۱ سانتی‌متر و کمتر از آن دست یافت. بیشترین میانگین خطای موقعیت به مقدار ۲/۵۴ متر مربوط به سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی و کمترین میانگین خطا به مقدار ۰/۰۴۸ متر مربوط به روش تعیین موقعیت PPK است. در این پژوهش، بیشترین RMSE به مقدار ۱۴/۷۸ از روش سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی و کمترین RMSE به مقدار ۰/۲۸ از روش تعیین موقعیت PPK حاصل شد. درحالی که Tuček & Ligoš (2002) با مقایسهٔ سه گیرندهٔ GNSS از نوع سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی، میانگین خطاهای موقعیتی را در محدودهٔ ۱/۹۶ تا ۷/۵۰ متر برای مناطق تاج‌پوشش باز گزارش دادند. همچنین Wing (2011) خطای موقعیتی ۱/۵ متر را برای بهترین گیرندهٔ GNSS از نوع سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی در مسیر تاج‌پوشش باز ارائه داد. Wing et al. (2008) با کاربرد گیرنده‌های GPS از نوع نقشه‌برداری با رعایت زمان برای اصلاحات در مناطق باز می‌توان به خطای کمتر از ۱ متر رسیدند. همچنین Hasegawa & Yoshimura (2003) در تحقیقی استفاده از گیرنده‌های دوفرکانسه را برای دستیابی به دقیق‌ترین داده‌های موقعیتی پیشنهاد کردند.

با مقایسه صحت اپلیکیشن و سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی با توجه به مقدار RMSE و خطای به‌دست‌آمده برای این روش‌ها، در شرایط فضای باز جاده‌های جنگلی با توجه به هزینه و قابلیت دسترسی کاربران، اپلیکیشن گوشی هوشمند می‌تواند جایگزین سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی باشد. Lee et al. (2023) نیز در تحقیق خود خطای تعیین موقعیت با استفاده از سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی گوشی هوشمند را کمتر از گیرندهٔ سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی نوع گارمین به‌دست آوردند. در بعضی مناطق جاده‌های جنگلی و کوهستانی که دسترسی به بستر اینترنت و سامانهٔ شمیم فراهم است، می‌توان بدون نیاز به نقاط ایستگاهی یا گسترش و ایجاد نقاط مرجع که مستلزم صرف هزینه و وقت زیاد است، تنها با استفاده از یک گیرنده به‌صورت آنی و بدون نیاز به پس‌پردازش، به صحت زیاد و میانگین خطای ۰/۰۹۷ متر دست یافت و درصورتی که بستر اینترنت و دسترسی به سامانهٔ شمیم فراهم نباشد، می‌توان در شرایط تاج‌پوشش باز و رعایت اصول کاهش خطا در زمان کار، با بهره‌گیری از یک گیرندهٔ GNSS از طریق روش PPK و عملیات دفتری پس‌پردازش به صحت زیاد و میانگین خطای ۰/۰۴۸ متر دست یافت. همچنین در صورت وجود نقاط ثابت مرجع یا ایجاد شبکهٔ ژئودزی محلی که هزینه‌های اولیهٔ زیادی دارد، می‌توان با استفاده از دو گیرندهٔ GNSS ایستگاهی از روش RTK به میانگین خطای تعیین موقعیت ۰/۰۴۹ متر رسید.

براساس آزمون پارامتریک تی تک‌نمونه‌ای و ناپارامتریک ویلکاکسون، مقدار خطاهای تعیین موقعیت برای همهٔ نقاط در همهٔ روش‌های مقایسه‌شده برابر نیستند که نشان می‌دهد عوامل ایجاد خطا به موقعیت نقاط اندازه‌گیری بستگی دارد. در مقایسهٔ دقت روش‌های مختلف، مشخص شد که دقت اندازه‌گیری تعیین موقعیت برای سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی و اپلیکیشن در حد ۱ متر، برای شمیم و RTK در حد میلی‌متر و برای PPK در حد سانتی‌متر است. کمترین دقت با بیشترین میانگین فاصله به مقدار ۱/۱۴۰ متر بین فواصل نقاط در سه مرحله اندازه‌گیری مختصات، مربوط به سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی و بیشترین دقت به مقدار ۰/۰۶۲ متر مربوط به روش شمیم است. آزمون تجزیهٔ واریانس داده‌های مربوط به سه مرحله تعیین موقعیت

نقاط در روش‌های اپلیکیشن، شمیم و PPK، فواصل برابر و همگرایی بیشتر نقاط را نشان داد، درحالی که در روش RTK با میانگین فاصلهٔ ۰/۰۶۳ متر بین نقاط، با داشتن طول‌های نابرابر همگرایی وجود نداشت. همچنین روش تعیین موقعیت اپلیکیشن نسبت به سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی دارای دقت و همگرایی بیشتری است.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این تحقیق، سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی و اپلیکیشن، کمترین صحت و روش‌های PPK، RTK و شمیم، بیشترین صحت را داشتند. کمترین دقت مربوط به روش سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی و بیشترین دقت مربوط به روش‌های شمیم و RTK بود. همچنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که برای نقشه‌برداری و تعیین موقعیت دقیق جاده‌های جنگلی در صورت دسترسی به اینترنت، از شبکه‌های آنلاین O-RTK مانند شمیم و در صورت دسترسی نداشتن به اینترنت از روش PPK با پس‌پردازش در محیط‌های باز استفاده شود و در صورت وجود نقاط ایستگاهی یا ایجاد و گسترش شبکهٔ نقاط مبنا می‌توان از روش RTK در محیط‌های باز بهره جست. با استفاده از اپلیکیشن سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی موبایل در محیط‌های باز جنگل مانند جاده‌های جنگلی می‌توان به نتایجی مانند سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی دستی دست یافت.

سپاسگزاری

از همکاری ارزشمند ناظر طرح و ریاست محترم ادارهٔ منابع طبیعی رامسر، داوران پژوهش، دبیر و کارشناس مجلهٔ جنگل ایران و آقایان دکتر مهرداد میرزایی و دکتر پژمان دلیر که سخاوتمندانه در راهنمایی، ارزیابی و بازخورد این اثر فعالیت داشتند صمیمانه تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

References

Abdi, E., Soofi Mariv, H., Mashayekhi, Z., Deljouei, A., & Rahbarisisakht, S. (2022). Seasonal Variation of GPS Accuracy and Precision in Forest Road Mapping. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering, 15*(64), 1-12. https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2022.15.64.1.1

Abdi, E., Rahbari Sisakht, S., Goushbor, L., & Soufi, H. (2012). Accuracy assessment of GPS and surveying technigue in forest road mapping. *Annals of forest Research*, *55*(2), 309-317. https://doi.org/10.15287/afr.2012.68

Abdi, N., Ardalan, A.R.A., & Karimi, R. (2018). Performance assessment of PPP as an alternative for relative techniques. Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 26, 19-34. https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.30515

Andersen, H.E., Clarkin, T., Winterbergerand, K., & Strunk, J. (2009). An accuracy assessment of positions obtained using survey- and recreational-grade global positioning system receivers across a range of forest conditions within the *Tanana* valley of interior *Alaska*. *Western Journal of Applied Forestry*, *24*(3), 128-136.

Awange, J.L. (2012). *Environmental Monitoring Using GNSS: Global Navigation Satellite Systems*. Heidelberg, Springer. http://doi.org/10.1007/978-3-540-88256-5

Cissel, R., Black, T., Schreuders, K., Luce, C., Prasad, A., Nelson, N., & Tarboton, D. (2012). *The Geomorphic Road Analysis and Inventory Package (GRAIP) Volume 2: Office Procedures*. Academic Press USA Inc, Forest Service.

Santos, M.C., Souza, B.C., & de Freitas, R.C.S. (2000). A practical evaluation of the GPS rapid static method. *Geomatica*, *54*(4), 425-432.

Deckert, C., & Bolstad, P.V. (1996). Forest canopy, terrain, and distance effects on global positioning system point accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, *62*, 317–321. http://doi.org/10.1007/978-3-540-88256-5

D'Eon, S.P. (1995). Accuracy and signal reception of a hand-held global positioning system (GPS) receiver. *The Forestry Chronicle*, *71*, 192-196.

Anonymous (2012). Booklet of forestry plan, series 7 Safaroud, 30 watershed, Ramsar, p 347. (In Persian).

Ginsburg C.N.C. (2002). *Evaluating global positioning system (GPS) accuracy and precision among receivers*. BSc Thesis, Texas Tech University, Lubbock.

Hasegawa, H., & Yoshimura, T. (2003). Application of dual-frequency GPS receivers for static surveying under tree canopies. *Journal of Forest Research*, *8*, 0103-0110. https://doi.org/10.1007/s103100300012

Hosseini, S.A. (2016). Knowledge, application and management of forest machines (revitalization, development, construction and utilization), Emamat Ghalam Publications -Mashhad 190 p. (In Persian).

Jaferyan, E., Pir Bavaghar, M., & Ghahramani, L. (2015). Determining the most important physiographic factors influencing the distribution of love tree (Cercis griffithii) to model the spatial distribution. *Iranian Journal of Forest*, *7*(1), 33-44. (In Persian)

Javanmard, M., Abdi, E., Ghatee, M., & Majnunian, B. (2018). Forest road planning using artificial neural network and GIS. *Iranian Journal of Forest*, *10*(2), 139-152. (In Persian)

Johnson, C.E., & Barton, C.C. (2004). Where in the world are my field plots? Using GPS effectively in environmental field studies. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *2*, 475-482. https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0475:WITWAM]2.0.CO;2

Julianto, E.N., Safrel, I., & Taveriyanto, A. (2018). High Accuracy Geodetic Control Point Measurement Using GPS Geodetic With Static Methods. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan, *20*(2), 81-89. https://doi.org/10.15294/jtsp.v20i2.16300

Lee, T., Bettinger, P., Merry, K., & Cieszewski, C. (2023). The effects of nearby trees on the positional accuracy of GNSS receivers in a forest environment. *PLOS ONE*, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283090

Majnounian, B., Nikooy, M., & Mahdavi, M. (2005). Cross drainage design of forest road in *Shafarood* basin, guilan province. *Iranian Journal Natural Resource*, *58*(2), 339-350. (In Persian)

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

Murgas, V., Sackov, I., Sedliak, M., Tunak, D., & Chudy, F. (2018). Assessing horizontal accuracy of inventory plots in forests with different mix of tree species composition and development stage. *Journal of Forest Science*, *64*(11), 478-485. https://doi.org/ 10.17221/92/2018-JFS

Park, B., & Kee, C. (2010). The Compact Network RTK Method: An Effective Solution to Reduce GNSS Temporal and Spatial Decorrelation Error. *The Journal of Navigation*, *63*(2), 343-362.

Pirti, A. (2021). Investigation of GPS positioning accuracy near a deciduous forest area. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, *14*(63), https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2021.14.63.2.4.

Pirti, A. (2021). Evaluating the accuracy of post-processed kinematic (PPK) positioning technique. *Geodesy and Cartography*, *47*(2), 66-70. https://doi.org/10.3846/gac.2021.12269

Rahbari Sisakht1, S., Moayeri, M. H., Abdi, E., Rahmani, R., & Pahlavani, M. H. (2017). Road geometric design and its effect on some chemical and biochemical indicators of soil of adjacent forest stands. *Iranian Journal of Forest*, *9*(3), 315-331. (In Persian)

Rodriguez, J.R., Alvarez, M.F., Sanzand, E., & Gavela, A. (2006). *Comparison of GPS receiver accuracy and precision in forest environments*. *XXIII FIG Congress*, Germany.

Rodriguez J.R., Alvarez, M.F., & Ablanedo, E.S. (2007). Assessment of low-cost GPS receiver accuracy and precision in forest environments. *Journal of Surveying Engineering*, *133*(4), 159-167. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9453(2007)133:4(159)

Sigrist, P., Coppin, P., & Hermy, M. (1999). Impact of forest canopy on quality and accuracy of GPS measurements. *International Journal of Remote Sensing*, *20*, 3595–3610. https://doi.org/10.1080/014311699211228

Tuček, J., & Ligoš, J. (2002). Forest canopy influence on the precision of location with GPS receivers. *Journal of Forest Science*, *48*, 399–407. https://doi.org/ 10.17221/11900-JFS

Valbuena, R., Mauro F., Rodriguez-Solano, R., & Manzanera, J.A. (2010). Accuracy and precision of GPS receivers under forest canopies in a mountainous environment. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *8*, 1047–1057. https://doi.org/10.5424/sjar/2010084-1242

Wing, M.G., Eklund, A., & Kellogg, L.D. (2005). Consumer grade global positioning system (GPS) accuracy and reliability. *Journal of Forestry*, *103*(4), 73-169. https://doi.org/10.1093/jof/103.4.169

Wing, M.G., Eklund, A., John, S., & Richard, K. (2008). Horizontal measurement performance of five mapping-grade global positioning system receiver configurations in several forested settings. *Western Journal of Applied Forestry*, *23*, 166–171.

Wing, M.G. (2011). Consumer-grade GPS receiver measurement accuracy in varying forest conditions. *Research Journal of Forestry*, *5*, 78–88. https://scialert.net/abstract/?doi=rjf.2011.78.88

DOI: 10.22034/ijf.2023.408967.1939

Iranian Journal of Forest
Vol. 16, No. 1, Spring 2024
pp. 121-135
Research Article

Accuracy and precision evaluation of global positioning system methods for forest roads surveying (Case study: Javaherdeh forest, Ramsar)

Z. Bazhrang[1], R. Naghdi[2*], I. Ghajar[3] and S. Fallahi[4]

[1]Ph.D. Student, Dept. of Forestry, University Campus 2, University of Guilan, Rasht, I. R. Iran.
[2]Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, I. R. Iran.
[3]Assistant Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, I. R. Iran.
[4]Assistant Prof., Dept. of Mathematics, Salman Farsi University of Kazerun, Kazerun, I. R. Iran.

(Received: 27 July 2023; Accepted: 27 August 2023)

Abstract

Introduction: Forest roads are essential infrastructures for accessing and managing forest units. Sustainable road management requires accurate spatial information from the road network. Various methods, differing in accuracy, precision, efficiency, and cost, are available for providing the location of roads. Given the remote location of forest roads, the lack of reference stations, potential inaccessibility to online networks, and conditions affecting positioning error, it is necessary to investigate the efficiency of existing positioning methods.

Materials and Methods: In this research, we studied the accuracy of PPK, RTK, online platforms such as Shamim, GPS, and mobile apps in positioning 34 points on 5 km of forest roads in watershed No. 30 in the Hyrcanian forest. The coordinates were first extended to the study area using the rapid static method. After post-processing and determining reference points, the exact coordinates of all ground control points on the road were obtained through the direct method. Then, the coordinates of all points were measured three times using various methods.

Results: The health survey's statistical results showed that the highest mean differences were 2.53 m and 2.38 m for GPS and mobile apps, respectively. The least mean difference was 0.048 m, 0.049 m, and 0.092 m for PPK, RTK, and Shamim, respectively. The RMSE amount showed that the results from GPS and mobile apps had the least accuracy, and the methods PPK, RTK, and Shamim had the highest. Based on the one-sample T-test and Wilcoxon's analysis, the amount of differences was not the same within each method through the 34 investigated points. Accuracy analysis indicated that GPS, with a distance mean of 1.14 m, had the least precision, and Shamim and RTK, with 0.0621 m and 0.063 m, were the most precise methods. The analysis of variance showed that the mobile app, Shamim, and PPK had the highest convergence.

Conclusion: The results of this research indicate that the PPK method was the most accurate, and the Shamim method was the most precise. Therefore, these methods can be used for purposes such as optimizing the forest road plan and longitudinal profile that require accurate location information.

Keywords: Accuracy, Forest roads, Geographic information, Precision, Rapid static.

*Corresponding author Tell: +98 9111380108 Email: Rnaghdi@guilan.ac.ir