Handheld GPS receiver, an inefficient gadget for land legal surveying

Madjid Abbasi[1] ، Saeed Abbasy[2] ، Reza Dousti[3]
Hamed Afsharnia[4] ، Sadegh Saadati[5]

Abstract

Land registration and cadastral surveying always need field measurements with proper standards and sufficiently precise instruments. Since more than two decades in Iran, handheld GPS receivers are used for these purposes. Presently, positioning accuracy with handheld receives is not better than ±3m. However, some official experts in the matter use handheld and smartphone GPS receivers for legal land surveys. In this paper, we investigate the accuracy and precision of standard surveying techniques and compare them with those of handheld GPS receivers. Inconsistencies produced in the land parcel's position as well as in its geometric setup including lengths and area are investigated. Satellite and terrain based standard surveying methods are applied to measure the positions of vertexes of a land parcel of about 4500 m2. Its geometry is then determined with a few millimeters' accuracy and the reference values for lengths and area are derived. The results of measurements carried out with handheld GPS receivers are then compared with the reference values. Differences up to 20m in position and 1000m2 in area are occurred with reference values measures with precise surveying method. These comparisons testify that the use of handheld GPS receivers causes sever legal problems and the authorities should prevent their use for official land surveying purposes.

Keywords: Accuracy, Cadastre, handheld GPS, Precision, Surveying

1.Associate Professor, Department of Surveying Engineering, Faculty of Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran. Corresponding author: madjid.abbasi@znu.ac.ir
2. PhD Student, Department of Surveying Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Surveying Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Surveying Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
5.Master's degree, Department of Surveying Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

شناسهٔ دیجیتال (DOI): 10.22106/rlr.2025.2003460.1063
مقالهٔ پژوهشی، دورهٔ سوم، شمارهٔ دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۴، صفحات ۱۷۵ تا ۱۹۵
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۷ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۷

جی‌پی‌اس دستی، ابزاری ناکارآمد در کارشناسی مسائل حقوقی اراضی

مجید عباسی* ، سعید عباسی** ، رضا دوستی*** ، حامد افشارنیا**** ، صادق سعادتی*****

چکیده

برای حل مسائل ثبت املاک؛ نقشه‌برداری و اندازه‌گیری‌های میدانی لازم است. در ایران تعداد قابلِ‌توجهی از کارشناسان ادارات مرتبط و کارشناسان رسمی دادگستری با استفاده از گیرنده‌های جی‌پی‌اس دستی، در زمینهٔ مسائل حقوقی اراضی نظر می‌دهند. در این مقاله، به موضوع ناسازگاری معنادار نتایج حاصل از این گیرنده‌ها (شامل موقعیت، ابعاد، اندازه‌ها و مساحت اراضی) با نتایج حاصل از روش‌های استاندارد نقشه‌برداری پرداخته شده است. درحال‌حاضر، گیرنده‌های جی‌پی‌اس دستی دقّتی در حد چند متر در تعیین موقعیت نقاط دارند. این عدم قطعیت، اغلب باعث بروز مشکلات حقوقی، مانند تداخل اراضی شده و نظریه‌های کارشناسی و آرای محاکم بر مبنای آن‌ها را زیر سؤال می‌برد. در ادامهٔ مقاله، ابتدا مبحث چارچوب‌های مختصات که از موضوعات زیربنایی در تعیین موقعیت نقاط است بیان شده و اثر آن بر مسئلهٔ مورد بحث، تشریح شده است. سپس روش‌های صحیح جانمایی، تعیین حدود زمین‌ها و نیز ابعاد و اندازه‌ها و مساحت اراضی بیان شده و به موضوع صحّت و دقّت هر کدام پرداخته شده است. مثال‌های عددی

* دانشیار، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. (نویسنده مسئول)
madjid.abbasi@znu.ac.ir
** دانشجوی دکتری، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.
*** استادیار، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
**** استادیار، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
***** کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

به‌منظور مقایسهٔ نتایج روش‌های استاندارد نقشه‌برداری با مقادیر حاصل از گیرنده‌های جی‌پی‌اس دستی آورده شده است. همهٔ نتایج دلالت بر این دارد که استفاده از این گیرنده‌ها برای حل مسائل حقوقی اراضی نتایج ناصحیح در پی دارد. در یک زمین چهارضلعی به مساحت حدوداً ٤٥۰۰ مترمربع، تداخلاتی بیش از ۲۰ متر با اراضی مجاور و خطای تا ۱۰۰۰ مترمربع در مساحت مشاهده شد. لذا اکیداً توصیه می‌شود استفاده از جی‌پی‌اس دستی متوقف شده و در عوض روش‌های استاندارد نقشه‌برداری مطابق با دستورالعمل‌های موجود به کار برده شوند.

کلمات کلیدی: جی‌پی‌اس، دقّت، صحّت، کاداستر، نقشه‌برداری.

مقدمه

لازمهٔ اجرای قانون جامع حدنگار (کاداستر)، تثبیت وضعیت املاک، هم از لحاظ فنی و هم از لحاظ حقوقی است. این قانون به صراحت، لزوم تعیین حدود همه املاک کشور را بیان کرده است (خردمندی و محمدی، ۱٤۰۱). ازمنظرِ فنی برای تثبیت وضعیت یک قطعه زمین در یک نظام حقوقی مانند کاداستر یا امور اراضی و شهرداری‌ها لازم است دو مشخصهٔ آن نهایی شود: (۱) موقعیت و (۲) هندسه. در ادامه به توضیح هر کدام می‌پردازیم:

(۱) منظور از تعیین موقعیت یا جانمایی اراضی، این است که محل رئوس هر قطعه زمین در یک چارچوب مرجع رسمی ملّی با اعداد منحصربه‌فرد مشخص شوند به‌نحوی که این اعداد منجر به هیچ نوع تداخلی با اراضی دیگر نباشند. جانمایی ناصحیح اراضی، چه به هنگام ثبت در بانک‌های اطلاعاتی نهادهایی مانند ثبت املاک یا شهرداری و چه به هنگام پیاده‌سازی آن بر روی زمین و تحویل به مالک، عامل بروز بسیاری از مشکلات و ارجاع موضوع به نهادهای قضائی می‌شود. به‌عنوان مثال، به نقل از اعتدال (۱۳۹۹)، قطعات زمین به هنگام پیاده‌سازی و احداث برخی شهرک‌ها، به دلیل جانمایی اشتباه، جابه‌جا شده و باعث تداخل اراضی با شهرک‌های مجاور و خیابان‌های موجود شده است.

(۲) منظور از تعیین هندسهٔ یک قطعه زمین، مشخص‌کردن تعداد رئوس، طول اضلاع، اندازهٔ زوایا و مساحت آن با دقّت موردنیاز در نظام حقوقی مورد نظر است. ارائهٔ ابعاد و اندازه‌های ناصحیح در اسناد حقوقی مانند سند مالکیت باعث بروز دعاوی پرشمار در نظام قضائی کشور شده است که از ذکر مثال‌های مرتبط در این نوشته اجتناب می‌شود. مساحت زمین، که یکی از مهم‌ترین اعداد مرتبط با آن و البته دارای بار حقوقی زیاد است، پس از تعیین هندسهٔ زمین محاسبه می‌شود. موضوع دارای اهمیت در مورد مساحت، دقّت آن است. بسته به ارزش اقتصادی ملک و نیاز کارفرما، ضروری است شخص مهندس نقشه‌بردار بر مبنای قیمت هر مترمربع زمین، روش مناسب برای نقشه‌برداری را انتخاب کرده و با رعایت اصول فنی، به درج عدد مساحت در نقشه یا گزارش اقدام کند. در این مورد البته تدوین و ابلاغ یک دستورالعمل همسان از طرف نهادهای مربوطه مثل شهرداری‌ها، ادارات ثبت املاک و مسکن و شهرسازی ضروری است.

برای تعیین هندسهٔ زمین، علاوه بر روش‌های متداول مساحی (بسته به دقّت خواسته شده) می‌توان از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای نیز استفاده کرد، اما برای جانمایی زمین، امروزه غالباً از روش‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای موسوم به جی‌پی‌اس[1] یا جی‌ان‌اس‌اس[2] استفاده می‌شود. تعیین موقعیت در نقشه‌برداری، فرایند خاص خود را دارد که در دستورالعمل‌های فنی سازمان برنامه‌وبودجه با جزئیات لازم قید شده است و نقشه‌برداران موظّف به رعایت آن‌ها هستند. در این نوشته قصد بر تکرار مطالب این دستورالعمل‌ها نیست، بلکه هدف، بیان تبعات ناشی از استفادهٔ ناصحیح از روش‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای مخصوصاً با گیرنده‌های جی‌پی‌اس دستی است. به این منظور، ابتدا به چند مورد از مهم‌ترین پرسش‌ها درخصوص تعیین موقعیت، مانند چارچوب‌های مرجع، انواع روش‌های اندازه‌گیری و دقّت‌های هر کدام پرداخته می‌شود. در ادامه، روش‌های اجرایی در تعیین موقعیت ماهواره‌ای مرور خواهند شد. به‌منظور شفاف‌سازی مشکل مطرح شده در این تحقیق، یک مثال اجرایی طرح شده و با اعداد اندازه‌گیری‌شده بر روی زمین، بحث و نتیجه‌گیری خواهد شد.

۱. مسائل اساسی در مبحث تعیین موقعیت

کلمهٔ مختصات، معادل ریاضی کلمهٔ موقعیت است. در مورد تعیین مختصات، مسائل اساسی زیر مطرح می‌شوند:

- **مسألهٔ سیستم‌های مختصات؛** به هر نقطه بر روی زمین، دو عدد به‌صورت زوج مرتب نسبت داده شده و به آن‌ها مختصات دو بُعدی آن نقطه گفته می‌شود. این اعداد وابسته به سیستم مختصاتی هستند که از یک مبدأ مشخص و دو محور (اغلب) عمود بر هم تشکیل شده است. یک نقطهٔ ثابت، در دو سیستم مختصات متفاوت، مختصات‌های متفاوت خواهد داشت. در نگاه اول، محدودیتی در انتخاب مبدأ و راستای محورهای مختصات وجود ندارد. به همین دلیل نقشه‌بردارها می‌توانند در پروژه‌های موردی، به استفاده از سیستم‌های مختصات محلی اکتفا کنند که در آن‌ها انتخاب مبدأ و راستای محورها دلخواه است. به‌رغم سادگی این رویکرد، در عمل نمی‌توان آن را جامعیت بخشید؛ چرا که اولاً سیستم‌های مختصات متعدد، کاربران مختصات را دچار سردرگمی

1. Global Positioning System (GPS)
2. Global Navigation Satellite System (GNSS)

خواهد کرد، ثانیاً نمی‌توان زمین را، به دلیل انحنا و شکل تقریباً کروی آن، مسطح و هندسهٔ آن را هندسهٔ حاکم بر صفحه در نظر گرفت. لذا برای حل صحیح مسئله، از روابط ریاضی موسوم به سیستم تصویر استفاده می‌کنند که در آن زوج مرتب طول و عرض نقطه که از جنس زاویه است، به مختصات دوبُعدی آن در صفحهٔ نقشه بر حسب متر تبدیل می‌شود. این روابط ریاضی، منحصربه‌فرد نبوده و انتخاب هر کدام بستگی به کاربرد نقشه دارد. یکی از انواع سیستم‌های تصویر پرکاربرد در ایران، «مرکاتور معکوس جهانی» موسوم به «یوتی‌ام»[1] است که مختصات را برحسب مؤلفهٔ شرقی و مؤلفهٔ شمالی بر حسب متر بیان می‌کند. نقشه‌بردار باید مهارت لازم و کافی برای استفادهٔ صحیح از این سیستم تصویر را داشته باشد.

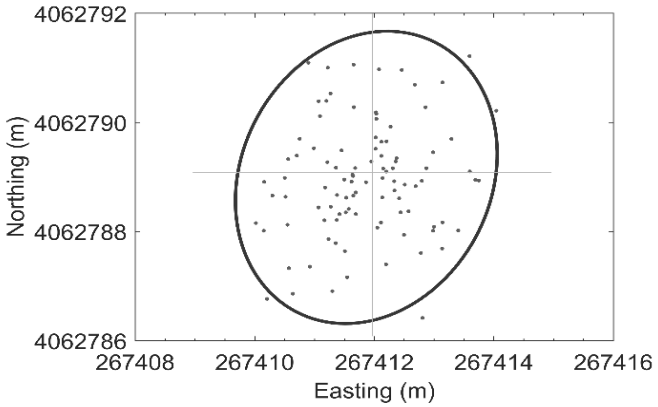
- **مسئلهٔ انتخاب روش تعیین موقعیت؛** روش‌های اجرایی مختلفی برای تعیین مختصات نقاط وجود دارد. انتخاب روش، بستگی به عواملی مثل وسعت منطقه، دقّت موردنیاز، هزینه‌ها و شرایط محیطی دارد. تاکنون روش‌های اجرایی متعددی برای تعیین مختصات، ابداع و به کار گرفته شده‌اند و یقیناً در آینده هم شاهد پیدایش روش‌های دیگر خواهیم بود. پرکاربردترین روش‌هایی که امروزه متداول هستند عبارتند از:
  - تعیین موقعیت با سیستم‌های ماهواره‌ای جهانی جی‌پی‌اس/جی‌ان‌اس‌اس
  - نقشه‌برداری زمینی با دوربین‌های توتال استیشن[2]
  - اندازه‌گیری بر روی عکس‌ها و تصاویر اخذشده از هواپیما و پهپاد (فتوگرامتری[3])
  - اندازه‌گیری بر روی عکس‌ها و تصاویر اخذشده توسط ماهواره‌ها (سنجش از دور[4])

امروزه تعیین موقعیت ماهواره‌ای جهانی پرکاربردترین روش تعیین مختصات محسوب می‌شود و علاوه‌براینکه می‌توان مستقیماً از آن برای تهیهٔ نقشه، جانمایی و پیاده‌سازی اراضی استفاده کرد، به‌کارگیری آن، به‌عنوان مکمل در روش‌های دیگر مثل فتوگرامتری نیز اجتناب‌ناپذیر است.

- **مسئلهٔ دقت اندازه‌گیری‌ها؛** اندازه‌گیری بدون خطا محال است. مختصات نقاط با استفاده از اندازه‌گیری‌ها «محاسبه» می‌شوند، لذا آن‌ها نیز (فارغ از روش اندازه‌گیری)

1. Universal Transverse Mercator (UTM)
2. Total station
3. photogrammetry
4. Remote Sensing (RS)

همواره دارای خطا خواهند بود. براین‌اساس، دقّت مختصات، پارامتر مهمی است که باید قبل از هر چیز آن را تعریف کرد: باتوجه به ماهیت تصادفی خطاها، با هر بار اندازه‌گیری، مختصات متفاوتی برای یک نقطه به دست خواهد آمد. فرض کنیم مختصات یک نقطه یکصد بار تعیین شده باشد. اگر همهٔ اعداد به‌دست‌آمده را بر روی یک صفحه ترسیم کنیم، یک ابرنقطه[1] به دست خواهد آمد (شکل ۱). با درنظرنگرفتن نقاطی که ممکن است خیلی دور از بقیه باشند، مختصاتِ مرکز هندسی این ابرنقطه، بهترین تخمین برای مختصات نقطه است. همچنین، یک بیضی به نام بیضی خطا[2] به مرکزیت این نقطه تعریف می‌شود به‌نحوی که محدودهٔ آن، دربرگیرندهٔ تعداد مشخصی از آن یکصد نقطه است. به‌عنوان مثال، بیضی خطای ۹۵ درصد مختصات یک نقطه، به این معنا است که ۹۵ درصد احتمال دارد مختصات به‌دست‌آمده برای آن نقطه، درون محدودهٔ بیضی خطا قرار گیرد (تعداد ۹۵ نقطه از یکصد نقطه درون بیضی واقع شوند). هر قدر پراکندگی نقاط بیشتر باشد ابعاد بیضی، بزرگتر خواهد شد. اکنون می‌توانیم مفهوم دقّت تعیین موقعیت را بیان کنیم: ابعاد بیضی خطای مختصات یک نقطه، دقّت آن را در یک سطح احتمال مشخص نشان می‌دهند.



شکل ۱. ابرنقطهٔ حاصل از تعیین مختصات یک نقطه در زمان‌های مختلف و بیضی خطای ۹۵ درصد آن. خطاهای تصادفی عامل بروز خطا در مختصات نقطه هستند و باعث می‌شوند که

1. Point cloud
2. Error ellipse

نتوان با قطعیت مختصات نقطه را تعیین کرد. به‌عبارتِ‌دیگر، اگر علاوه‌براین نقاط، یک انـدازه‌گیری دیگر نیز انجام شود، ۹۵ درصد احتمال دارد که مختصات به‌دست‌آمده داخل این بیضی قرار گیرد.

۲. روش‌های اجرایی در تعیین موقعیت ماهواره‌ای

تعیین موقعیت با روش ماهواره‌ای توسط گیرنـده‌های مخصـوص انجـام می‌شـود کـه بـه آن‌هـا گیرنده‌های جی‌پی‌اس یا جـی‌ان‌اس‌اس می‌گوینـد. ایـن گیرنـده‌ها، ابتـدا از ماهواره‌هـای مربوطـه سیگنال‌هایی را دریافت کرده، سپس فاصلهٔ خود تا هـر مـاهواره را انـدازه‌گیری می‌کننـد. در ادامـه، پردازش‌گرهای مربوطه معادلاتی را حل کرده و مختصـات نقطـه را محاسـبه می‌کننـد. بایـد توجـه داشت که گیرنده‌ها فقط امواج را دریافت می‌کنند (مانند رادیو) و به‌هیچ‌وجه سیگنال یا اطلاعاتی را بـه نقطـهٔ دیگـر ارسـال نمی‌کننـد. گیرنـده‌های جی‌پـی‌اس بـه دو نـوع گیرنـده‌های ژئودتیـک[1] و غیرژئودتیک تقسیم‌بندی می‌شوند. گیرنده‌های جی‌پـی‌اس دسـتی از نـوع غیرژئودتیـک محسـوب می‌شوند که امروزه دقتی بهتر از سه–چهار متر ندارند. بـرای رسـیدن بـه دقّت‌هـای زیـادتر بایـد از گیرنده‌های ژئودتیک و آن‌هم با روش‌های مناسب اندازه‌گیری استفاده کرد.

برای تعیین مختصات یک نقطه با دقّت مطلوب، باید با خطاهای مؤثر بـر آن «بـه انـدازهٔ نیـاز» مقابله کرد. در مسائل گوناگون، دقّت‌های متفاوتی موردِنیاز است. بـه عنـوان مثـال، در جانمـایی و پیاده‌سازی فونداسیون یک نیروگاه بزرگ ممکن است دقّت میلی‌متر برای مختصات نقـاط موردِنیـاز باشد، در حالی که برای تعیین مختصات یک وسیلهٔ نقلیهٔ در حرکت، معمولاً دقّت چند متر کفایـت می‌کند. براین‌اساس، اولاً باید کاربرِ این سیستم‌ها بسته به پارامتر موردنظر، دقّت مورد نیـاز مسـئلهٔ خود را بداند و ثانیاً مهارت لازم برای رسیدن به آن دقّت را داشته باشد. به‌عنوان مثال، می‌توان اثبات کرد که در مسائل ثبتی، اگر مساحت یک قطعه زمین به طول و عرض ۱۰ متر، با انحراف معیـار ±۱ مترمربع موردِنیاز باشد، لازم است ابعاد آن با انحراف معیـاری بهتـر از ±۵ سـانتی‌متر انـدازه‌گیری شوند. همچنین در جانمایی قطعات یک شهرک مسکونی در یک شهر بزرگ، لازم است مختصـات نقاط با دقّتی در حد سانتی‌متر تعیین شوند تا از تجمیع خطاها و تداخل قطعات پیشگیری شود.

اگر تعیین موقعیت فقط با یک گیرنده انجام شـود بـه آن «تعیـین موقعیـت مطلـق» می‌گوینـد. امروزه با اندازه‌گیری به مدت زمان کوتاه (در حد دقیقه)، با یک گیرنده، هر چند ژئودتیک، نمی‌توان

1. Geodetic GPS receivers

به دقّت بهتر از چند متر رسید. گیرنده‌های جی‌پی‌اس دستی با روش مطلق تعیین موقعیت انجام می‌دهند. درحال‌حاضر از گیرنده‌های جی‌پی‌اس دستی، که در اغلب گوشی‌های تلفن همراه نیز نصب شده است، برای اهداف شناسایی و ناوبری کم‌دقّت وسایل نقلیه استفاده می‌شود. هرچند که سازندگان این گیرنده‌ها در تلاشند تا دقّت‌های تعیین موقعیت با آن‌ها را افزایش دهند ولی تاکنون در بهترین حالت دقّت بهتر از چند متر برای آن‌ها گزارش نشده است (زنگنه‌نژاد و ژائو، ۲۰۲۱ و سون و همکاران، ۲۰۲۰).

تعیین موقعیت با سیستم‌های ماهواره‌ای تا دقّت میلی‌متر امکان‌پذیر است (سیبر، ۲۰۰۷). بدیهی است دقّت‌های کمتر از آن مانند سانتی‌متر و متر هم قابل دستیابی است. در بسیاری از مسائل نقشه‌برداری ثبتی، تعیین موقعیت با دقّت (چند) سانتی‌متر کفایت می‌کند. رسیدن به این دقّت، نیازمند استفاده از گیرنده‌های ژئودتیک و روش‌های اندازه‌گیری خاص است. با امکانات امروزی، رسیدن به دقّت سانتی‌متر در مسائل ثبتی، مستلزم استفاده از روش موسوم به تعیین موقعیت نسبی یا تفاضلی[1] است. به این معنا که ابتدا دو گیرندهٔ ژئودتیک باید بر روی دو نقطه مستقر شده و به‌صورت هم‌زمان اندازه‌گیری کنند. سپس داده‌های آن‌ها پردازش شده و اختلاف مختصات دو نقطه به دست آید. اگر مختصات یک نقطه معلوم باشد، می‌توان مختصات نقطهٔ دیگر را با دقّت سانتی‌متر یا بهتر به دست آورد.

در اغلب کشورها من‌جمله در ایران، برای دستیابی به دقّت تعیین موقعیت در حد سانتی‌متر، مخصوصاً برای مسائل ثبت املاک، سامانه‌های تعیین موقعیت تفاضلی به‌صورت شبکه‌ای از ایستگاه‌های دائم جی‌پی‌اس/جی‌ان‌اس‌اس راه‌اندازی شده است. کاربران می‌توانند با داشتن فقط یک گیرندهٔ ژئودتیک و با اتصال به این سامانه‌ها مختصات نقاط را با دقّت کافی تعیین کنند. در ایران، سامانهٔ شمیم (شبکهٔ موقعیت‌یابی یکپارچهٔ مالکیت‌ها) توسط سازمان ثبت اسناد و املاک کشور در سال ۱۳۹۵ با هدف افزایش دقّت و وحدتِ‌رویه در نقشه‌برداری کاداستر راه‌اندازی شد. این سامانه کمک شایانی به حل مسائل ثبتی در ایران کرده است. البته اندازه‌گیری‌های میدانی نشان داده است که کارآیی این سامانه در اطراف ایستگاه‌های مبنای شبکه که عمدتاً در شهرها مستقر هستند بیشتر است و در فواصل دورتر باید با احتیاط از آن استفاده کرد. در ادامه نشان خواهیم داد که رسیدن به دقّت سانتی‌متر با سامانهٔ شمیم نیز نیازمند رعایت نکات فنی مربوطه است.

1. Differential positioning

۳. مثال عددی برای مقایسهٔ نتایج روش‌های مختلف در تعیین موقعیت (جانمایی) و هندسهٔ اراضی

همان‌طور که گفته شد، دو جنبهٔ اساسی در مبحث نقشه‌برداری اراضی مطرح است: (۱) تعیین موقعیت (جانمایی) و (۲) هندسهٔ زمین. به‌منظور بررسی عملکرد و مقایسهٔ کیفیت نتایج روش‌های مختلف در این دو جنبه، یک مثال عملی به شرح زیر در محوطهٔ دانشگاه زنجان اجرا شد: ابتدا چهار گوشهٔ یک قطعه زمین چهارضلعی به مساحت تقریبی نیم هکتار مطابق با استانداردهای نقشه‌برداری میخکوبی و به‌صورت ساعتگرد از P1 تا P4 نام‌گذاری شد. شکل ۲ موقعیت تقریبی این قطعه زمین را بر روی تصویر گوگل نشان می‌دهد. در ادامه با روش‌های مختلف (مطابق جدول ۱) اقدام به اندازه‌گیری موقعیت و هندسهٔ آن گردید. همچنین عدد مساحت حاصل از هر کدام از روش‌ها محاسبه شد. شکل ۳، تجهیزات استفاده شده در این آزمایش را معرفی می‌کند.

۳-۱. مقایسهٔ کیفیت جانمایی املاک با روش‌های مختلف

در مبحث جانمایی، ابتدا مختصات چهارگوشهٔ زمین با استفاده از روش‌های مختلفِ تعیین موقعیت ماهواره‌ای به دست آمد. روش تعیین موقعیت نسبی استاتیک با گیرنده‌های ژئودتیک، دقیق‌ترین روش تعیین موقعیت ماهواره‌ای نسبی است، لذا به‌عنوان مرجع برای ارزیابی نتایج دیگر روش‌ها به کار می‌رود. ابتدا با یک زوج گیرندهٔ ژئودتیک مولتی‌فرکانس جی‌ان‌اس‌اس مدل SOUTH-S82 مختصات هر چهار ایستگاه با دقّتی بهتر از سانتی‌متر به دست آمد (جدول ۲). سپس مختصات این چهار نقطه با دیگر روش‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای، یعنی سامانهٔ شمیم و گیرنده‌های جی‌پی‌اس دستی نیز به دست آمد و با مختصات مرجع مقایسه شد که جزئیات آن در ادامه آمده است.

شکل ۲. کروکی قطعه زمین انتخاب‌شده برای انجام آزمایش تعیین موقعیت و شکل هندسی زمین در ضلع جنوبی دانشکدهٔ مهندسی دانشگاه زنجان

الف	ب	ج
د	ه	و ز

شکل ۳. تجهیزات استفاده‌شده برای انجام آزمایش تعیین موقعیت و شکل هندسی زمین در ضلع جنوبی دانشکدهٔ مهندسی دانشگاه زنجان: (الف) توتال‌استیشن مدل TC2003 (ب) توتال استیشن مدل TS02 (ج) زوج گیرنده‌های ژئودتیک مولتی‌فرکانس جی‌ان‌اس‌اس مدل SOUTH-S8 (د) متر فلزی ۵۰ متری (ه) گیرندهٔ ژئودتیک مولتی فرکانس جی‌ان‌اس‌اس مدل Raymand I-Pro (و) گیرندهٔ جی‌ان‌اس‌اس دستی مدل GARMIN eTrex 30 و (ز) گیرنده‌های جی‌ان‌اس‌اس تعبیه‌شده در مدل‌های مختلف گوشی‌های تلفن همراه

جدول ۱. روش‌های استفاده‌شده برای تعیین موقعیت، هندسه و مساحت یک قطعه زمین به‌منظور مقایسهٔ نتایج آن‌ها با همدیگر

نام روش	نام دستگاه	نوع اندازه‌گیری	حداکثر دقّت تعیین موقعیت/فاصله‌یابی	ملاحظات
شبکه‌بندی ژئودتیک دقیق	توتال استیشن مدل TC2003 یا در حد آن	فاصله و زاویه	تا ۱± میلی‌متر در کیلومتر	دقیق‌ترین روش مساحی و تعیین شکل هندسی زمین است.
نقشه‌برداری کلاسیک	توتال استیشن مدل TS02 یا در حد آن	فاصله و زاویه	تا ۱± سانتی‌متر در کیلومتر	روش متداول در مساحی و تعیین شکل هندسی زمین است.
مترکشی	متر فولادی ۵۰ متری	فاصله	۱± سانتی‌متر تا طول ۳۰ متر	روشی ارزان، متداول و به حد کافی دقیق برای اکثر کاربردها به‌منظور مساحی و تعیین شکل هندسی قطعات زمین است.
تعیین موقعیت تفاضلی دقیق ماهواره‌ای	زوج گیرنده‌های ژئودتیک مولتی‌فرکانس جی‌ان‌اس‌اس مدل SOUTH-S82	اختلاف مختصات[1]	۱± میلی‌متر در فاصلهٔ یک کیلومتری ایستگاه‌ها از همدیگر	دقیق‌ترین روش تعیین موقعیت است. لازم است مختصات دقیق حداقل یک نقطه معلوم باشد.

۱. اندازه‌گیری‌های مبنایی در تعیین موقعیت تفاضلی ماهواره‌ای از نوع شبه‌فاصله (pseudorange) هستند، که پس از محاسبات لازم، به مختصات تبدیل می‌شوند.

تعیین موقعیت کینماتیک شبکه (NRTK)	گیرندهٔ مولتی فرکانس جی‌ان‌اس‌اس Raymand I-Pro	مختصات	±۱ سانتی‌متر در فاصلهٔ یک کیلومتری از ایستگاه مرجع	یک ایستگاه از یک شبکهٔ دائم جی‌پی‌اس/جی‌ان‌اس‌اس تصحیحاتی را فرستاده و به کمک آن، گیرنده‌های در حرکت، می‌توانند به دقّت در حد سانتی‌متر برای مختصات خود برسند.
تعیین موقعیت مطلق ماهواره‌ای با گیرنده‌های جی‌پی‌اس دستی	گیرندهٔ جی‌ان‌اس‌اس مدل GARMIN eTrex 30	مختصات	±۳ متر	در شرایط مختلف، اختلاف مختصات اندازه‌گیری‌شده برای یک نقطه در زمان‌های متفاوت ممکن است به چندین متر برسد.
تعیین موقعیت مطلق ماهواره‌ای با گیرنده‌های جی‌پی‌اس دستی در گوشی‌های تلفن همراه	گیرنده‌های جی‌ان‌اس‌اس در مدل‌های مختلف گوشی‌های تلفن همراه	مختصات	±۳ متر	در شرایط مختلف، اختلاف مختصات اندازه‌گیری‌شده برای یک نقطه در زمان‌های متفاوت ممکن است به چندین متر برسد.

۳-۲. مقایسهٔ مختصات حاصل از سامانهٔ شمیم با مختصات مرجع

مختصات نقاط با یک دستگاه گیرندهٔ مولتی فرکانس جی‌ان‌اس‌اس مدل Raymand I-Pro که قابلیت اتصال به سامانهٔ شمیم را دارد اندازه‌گیری و با مختصات مرجع مقایسه شد (جدول ۲). ایده‌آل این است که این دو سری مختصات باهم برابر باشند؛ اما همان‌طور که دیده می‌شود، مختصات حاصل از سامانهٔ شمیم نسبت به مختصات مرجع به‌طور میانگین اختلافی بیش از یک متر در مؤلفهٔ شمالی و در حد یک متر در مؤلفهٔ شرقی دارند. این اختلاف در درجهٔ اول ناشی از تفاوت چارچوب‌های مرجع استفاده شده برای دو گروه مختصات است. مختصات مرجع در

چارچوب جهانی موسوم به ITRF2020 محاسبه و ارائه شده‌اند، درحالی‌که مختصات حاصل از سامانهٔ شمیم در چارچوب مرجع ملّی موسوم به IRGD2010 یا بسیار نزدیک به آن که توسط سازمان نقشه‌برداری کشور محاسبه شده است، به دست آمده‌اند. نکتهٔ مهم در این مقایسه این است که اختلافات ناشی از این چارچوب‌های مرجع (به‌صورت محلی و نه به‌صورت ملّی)، خود را فقط به‌صورت یک شیفت تقریباً ثابت نشان می‌دهند. به‌عبارتِ‌دیگر، کافی است (در صورت نیاز) از مختصات حاصل از سامانهٔ شمیم، اعداد ثابتی را کم کرده و به مختصات مرجع جهانی رسید و بالعکس. اگر چارچوب مرجع جهانی را به‌عنوان رفرنس در نظر بگیریم، می‌توان اختلاف مختصات حاصل از سامانه‌ای مانند شمیم با آن را به عنوان «صحّت» مختصات تلقی کرد. در مقایسه، باید تأثیر همیشگی خطاهای اتفاقی را یادآوری کرد که «دقّت» مختصات برمبنای آن در بالا تعریف شد (شکل ۱).

در مورد سامانهٔ شمیم باید به این نکته هم اشاره کرد که روش‌های متفاوتی برای دریافت تصحیحات از ایستگاه‌های مرجع و محاسبهٔ مختصات وجود دارد. از این روش‌ها می‌توان به‌عنوان مثال به دو روش Nearest و VRS اشاره کرد و خواهیم دید که نتایج هر کدام با دیگری متفاوت است. جدول ۳ نتایج حاصل از این دو روش و اختلاف آن‌ها را نشان می‌دهد. برحسب تجربه می‌توان گفت که روش Nearest در مواقعی که استفاده کننده به یکی از ایستگاه‌های مرجع نزدیک‌تر است، نتایج بهتری خواهد داشت (به‌شرط سالم‌بودن گیرندهٔ ایستگاه مرجع).

جدول ۲. مقایسهٔ مختصات حاصل از سامانهٔ شمیم (روش Nearest) با مختصات مرجع حاصل از روش تعیین موقعیت ماهواره‌ای تفاضلی استاتیک. چارچوب مختصات مرجع، چارچوب جهانی ITRF2020 و چارچوب مرجع سامانهٔ شمیم، چارچوب ملّی IRGD2010 یا یک چارچوب نزدیک به آن است. بیضوی مرجع مختصات WGS84 و سیستم تصویر، یوتی‌ام (UTM) است.

نقطه	مختصات مرجع (حاصل از تعیین موقعیت ماهواره‌ای تفاضلی استاتیک)		مختصات حاصل از سامانهٔ شمیم (روش Nearest)		اختلاف مختصات حاصل از سامانهٔ شمیم و مختصات مرجع (متر)	
	مؤلفهٔ شرقی (متر)	مؤلفهٔ شمالی (متر)	مؤلفهٔ شرقی (متر)	مؤلفهٔ شمالی (متر)	مؤلفهٔ شرقی	مؤلفهٔ شمالی
P1	267411.966	4062789.080	267410.82	4062788.15	1.15	0.93
P2	267477.383	4062792.885	267476.28	4062791.93	1.10	0.96
P3	267466.861	4062731.238	267465.73	4062730.30	1.13	0.94

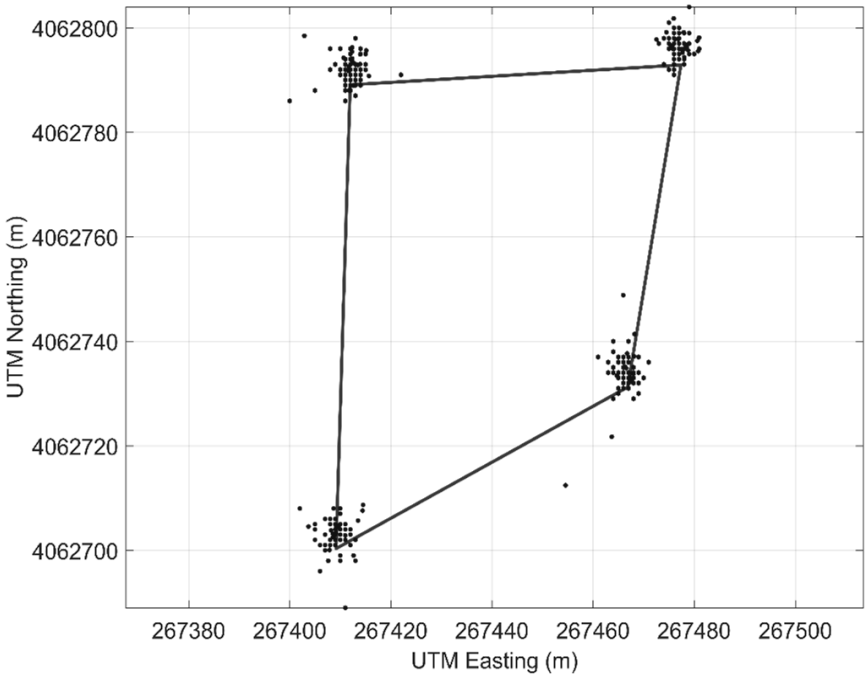
P4	267409.158	4062700.319	267408.12	4062699.33	1.04	0.99

جدول ۳. مقایسهٔ مختصات حاصل از روش‌های Nearest و VRS در تعیین موقعیت با سامانهٔ شمیم. بیضوی مرجع مختصات WGS84 و سیستم تصویر، یوتی‌ام (UTM) است.

نقطه	مختصات حاصل از تعیین موقعیت با سامانهٔ شمیم (روش VRS)		مختصات حاصل از تعیین موقعیت با سامانهٔ شمیم (روش Nearest)		اختلاف مختصات حاصل از روش‌های Nearest و VRS در سامانهٔ شمیم (متر)	
	مؤلفهٔ شرقی (متر)	مؤلفهٔ شمالی (متر)	مؤلفهٔ شرقی (متر)	مؤلفهٔ شمالی (متر)	مؤلفهٔ شرقی	مؤلفهٔ شمالی
P1	267410.96	4062788.12	267410.82	4062788.15	-0.14	0.03
P2	267476.40	4062791.93	267476.28	4062791.93	-0.12	0.00
P3	267465.86	4062730.33	267465.73	4062730.30	-0.13	-0.03
P4	267408.11	4062699.35	267408.12	4062699.33	0.01	-0.02

۳-۳. مقایسهٔ مختصات حاصل از گیرنده‌های جی‌پی‌اس دستی با مختصات مرجع

در ادامهٔ این تحقیق با استفاده از دو نوع گیرندهٔ جی‌پی‌اس دستی مختصات رئوس زمین به تعداد ۷۸ بار اندازه‌گیری شد. گیرنده‌های مورد استفاده عبارت بودند از: (۱) گیرندهٔ GARMIN مدل eTrex 30 و (۲) گیرنده‌های تعبیه‌شده در گوشی‌های تلفن همراه. همان‌طور که در بالا اشاره شد، امروزه دقّت تعیین موقعیت با این گیرنده‌ها چند متر است. شکل ۴ پراکندگی مختصات حاصل از گیرنده‌های جی‌پی‌اس دستی در اطراف مختصات مرجع را نشان می‌دهد. اختلاف برخی موقعیت‌ها با مختصات مرجع به بیش از ۲۰ متر می‌رسد. در تحلیل این مشاهده باید گفت اولاً این پراکندگی حالت تصادفی دارد، به بیانِ‌دیگر هنگامی که با یک گیرنده و در یک زمان، مختصاتی به دست آمد، با همان گیرنده و در زمان دیگر، مختصات دیگری حاصل خواهد شد و چه بسا اختلاف چشمگیری میان آن‌ها وجود خواهد داشت. ثانیاً تغییر نوع گیرنده تأثیر چندانی در افزایش کیفیت تعیین موقعیت ندارد. لذا به وضوح می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از گیرنده‌های جی‌پی‌اس دستی برای جانمایی اراضی و تهیهٔ نظریات کارشناسی، باعث بروز تداخلات غیرقابل اغماض اراضی خواهد شد.



شکل ۴. کادر قرمز، مختصات زمین در چارچوب مرجع جهانی را نشان می‌دهد که با روش تعیین موقعیت ماهواره‌ای تفاضلی استاتیک به دست آمده‌اند و دقّت بهتر از سانتی‌متر دارند. نقاط آبی رنگ مختصات حاصل از گیرنده‌های جی‌پی‌اس دستی در هر بار اندازه‌گیری را نشان می‌دهند.

۳-۴. مقایسهٔ کیفیت تعیین هندسه و مساحت املاک با روش‌های مختلف

به دلیل خطاهای اندازه‌گیری، مشخصات هندسی اراضی (شامل طول‌ها، زوایه‌ها و مساحت) که با روش‌های مختلف به دست آمده باشند باهم تفاوت خواهند داشت. میزان این تفاوت بستگی به دقّت هر روش دارد. همهٔ روش‌های ذکرشده در جدول ۱ را می‌توان برای تعیین هندسهٔ یک زمین به‌کار گرفت. دقیق‌ترین روش‌ها به این منظور روش «شبکه‌بندی ژئودتیک با دوربین‌های توتال استیشن دقیق» و روش «تعیین موقعیت ژئودتیک ماهواره‌ای تفاضلی استاتیک» هستند. جدول ۴ طول‌های حاصل از هر روش و اختلاف آن‌ها با همدیگر را نشان می‌دهد. باید توجه داشت که طول‌های به‌دست‌آمده با روش‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای، از مختصات نقاط «محاسبه» شده‌اند. برای مقایسه، طول‌های حاصل از دوربین‌های توتال‌استیشن دقیق را به عنوان مرجع در نظر

می‌گیریم. مسلماً این طول‌ها نیز مانند هر اندازه‌گیری دیگری خطا دارند، اما باتوجه بـه دقّـت زیـاد این تجهیزات (که تا حد میلی‌متر نیز می‌رسند) می‌توان از خطای آن‌هـا بـرای کاربردهـای متـداول ثبت املاک صرف‌نظر کرد.

باتوجه به جدول ۴ دیده می‌شود که طول‌های به‌دست‌آمده بـا دو روش توتـال استیشـن دقیـق و تعیین موقعیت ژئودتیک تفاضلی استاتیک عملاً باهم برابرند (تفاوت کمتر از یک سانتی‌متر است). همچنین طول‌های حاصل از روش مترکشی، اختلافاتی در حد چند سانتی‌متر با طول‌هـای مرجـع دارند. این موضوع در مورد نتایج حاصل از سامانهٔ شمیم نیز صادق است.

در اینجا بیان مفهوم قدرت تفکیک[1] وسیلهٔ اندازه‌گیری ضروری است: کوچک‌ترین عـددی کـه می‌توان با یک وسیلهٔ اندازه‌گیری قرائت کرد را «قدرت تفکیک» آن می‌نامنـد و نبایـد آن را بـا دقـت وسیله اشتباه کرد. به‌عنوان مثال، اگر یک متر لیزری دستی فواصل انـدازه‌گیری شـده را بـا سـه رقـم اعشار (یعنی تا میلی‌متر) نمایش می‌دهد، به این معنا نیست که دقت فاصلهٔ اندازه‌گیری شـده بـا آن یک میلی‌متر است. به‌همین‌ترتیب، حتی اگر گیرنـده‌های جـی‌ان‌اس‌اس دارای قابلیـت اتصـال بـه سامانهٔ شمیم، اعداد مختصات را تا حد میلی‌متر نشان دهند، دقّت آن‌ها بهتر از سـانتی‌متر نیسـت. لذا در جدول ۴ فواصل حاصل از این روش تا دو رقم اعشار نمایش داده شده‌اند.

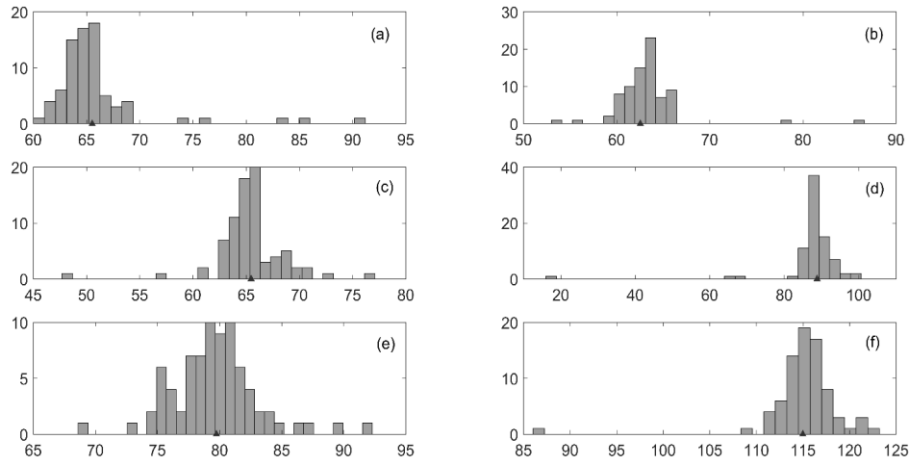
جدول ۴. طول‌های افقی حاصل از روش‌های مختلف اندازه‌گیری بر حسب متر و اختلاف آن‌ها با همدیگر

ضلع /قطر	طول افقی (متر) و روش اندازه‌گیری				
	توتال استیشن دقیق	تعیین موقعیت ژئودتیک تفاضلی استاتیک	مترکشی	سامانهٔ شمیم (روش VRS)	سامانهٔ شمیم (روش Nearest)
P1-P2	65.536	65.528	65.59	65.55	65.57
P2-P3	62.534	62.539	62.67	62.50	62.53
P3-P4	65.458	65.464	65.56	65.54	65.40
P4-P1	88.799	88.805	88.78	88.83	88.86
P1-P3	79.748	79.744	79.72	79.71	79.76
P2-P4	114.979	114.992	-	115.05	114.98

1. Resolution

اختلاف با طول مرجع (حاصل از توتال استیشن دقیق) بر حسب متر					
P1-P2	0.000	-0.009	0.05	0.01	0.03
P2-P3	0.000	0.005	0.14	-0.04	0.00
P3-P4	0.000	0.006	0.10	0.08	-0.06
P4-P1	0.000	0.006	-0.02	0.03	0.06
P1-P3	0.000	-0.004	-0.03	-0.04	0.01
P2-P4	0.000	0.012	-	0.07	0.00

اکنون به تحلیل طول‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های جی‌پی‌اس دستی می‌پردازیم. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شد، مختصات حاصل از این اندازه‌گیری‌ها رفتاری تصادفی با پراکندگی زیاد نشان می‌دهند. لذا انتظار می‌رود طول‌های محاسبه شده از این مختصات نیز رفتاری تصادفی با اختلافات قابل توجه داشته باشند. نمودارهای فراوانی مربوط به ۷۸ بار اندازه‌گیری اضلاع و قطرهای چهار ضلعی در شکل ۵ نشان داده شده‌اند.



شکل ۵. نمودار فراوانی طول اضلاع و قطرهای چهارضلعی حاصل از ۷۸ بار اندازه‌گیری با گیرنده‌های جی‌پی‌اس دستی بر حسب متر: (a) ضلع P1 به P2، (b) ضلع P2 به P3، (c) ضلع P3 به P4، (d) ضلع P4 به P1، (e) قطر P1 به P3 و (f) قطر P2 به P4. مثلث‌های قرمز محل اندازه‌گیری‌های صحیح (حاصل از توتال استیشن دقیق) را نشان می‌دهند.

جدول ۵ مساحت زمین چهارضلعی مورد نظر را که با روش‌های مختلف نقشه‌برداری به دست آمده است، نشان می‌دهد. ابتدا باید توجه داشت که اختلاف نتایج هر کدام از روش‌ها با روش

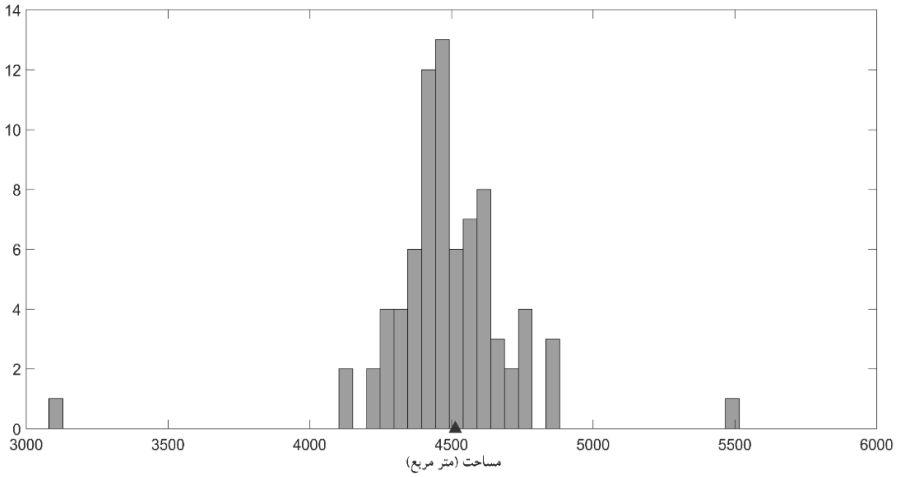
مرجع (توتال استیشن دقیق) نشان‌دهندهٔ دقّت آن‌ها نیست.[1] از سوی دیگر، انتخاب روشی دقیق برای مسئله‌ای که نیاز به دقّت کم دارد به معنای هزینهٔ اضافی است. همچنین، انتخاب روشی کم‌دقّت برای مسئله‌ای که نیاز به دقّت زیاد دارد به معنای سهل‌انگاری و البته بروز مشکلات حقوقی است. براین‌اساس، مهندس نقشه‌بردار باید توانایی تحلیل خطاها را داشته و بر اساس نیاز مسئله، روش مناسب را انتخاب کند.

جدول ۵. مقایسهٔ مساحت‌های حاصل از روش‌های مختلف اندازه‌گیری

روش اندازه‌گیری	توتال استیشن دقیق (روش مرجع)	تعیین موقعیت ژئودتیک تفاضلی استاتیک	مترکشی	سامانهٔ شمیم (روش VRS)	سامانهٔ شمیم (روش Nearest)
مساحت (مترمربع)	4513.75	4513.82	4521	4514.9	4513.8
اختلاف با روش مرجع (مترمربع)	0.00	0.07	7	1.1	0.0

برای تحلیل رفتار عدد مساحت بر مبنای اندازه‌گیری‌های جی‌پی‌اس‌های دستی، در شکل ۶ نمودار فراوانی مساحت زمین چهارضلعی نمایش داده شده است. بررسی این شکل نشان می‌دهد که خطاهای تصادفی بزرگ در مختصات حاصل از این گیرنده‌ها در مساحت‌های به دست آمده برای یک چهارضلعی نیز اثر بسیار مخربی دارد به نحوی که ممکن است در یک زمین به مساحت ۴۵۰۰ مترمربع، اختلافی بیش از ۱۰۰۰ مترمربع در پی داشته باشد. برای تحلیل خطای مساحت در زمین‌های با شکل‌های پیچیده‌تر، به بررسی‌های تخصصی‌تر نیاز است.

۱. چون خطاها به‌صورت تصادفی رفتار می‌کنند، در اندازه‌گیری مجدد با همان روش، عدد دیگری حاصل خواهد شد و لازم است اندازه‌گیری‌های متعدد صورت گیرد تا بتوان با تحلیل‌های آماری میزان دقّت روش را تعیین کرد.



شکل ۶. نمودار فراوانی مساحت چهارضلعی حاصل از ۷۸ بار اندازه‌گیری با گیرنده‌های جی‌پی‌اس دستی بر حسب مترمربع. مثلث قرمز محل مساحت صحیح را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

مسائل حقوقی در ثبت املاک براساس اعداد ارائه‌شده توسط نقشه‌بردار حل‌وفصل می‌شوند که عبارتند از موقعیت مطلق رئوس زمین (جانمایی)، شکل هندسی، ابعاد و مساحت آن. این اعداد همگی باید بر پایهٔ دقّت مورد نیاز برای حل مسئله، تهیه و استفاده شوند، در غیر این صورت، نه‌تنها مسئلهٔ حقوقی مربوط حل نخواهد شد، بلکه بر پیچیدگی آن نیز افزوده می‌شود. به‌این‌منظور، استفاده از سیستم‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای باید با علم و تجربهٔ کافی از نحوهٔ کارکرد آن‌ها و روش‌های عملیاتی برای رسیدن به دقّت‌های مطلوب صورت گیرد.

در این مقاله با مثال‌های عددی نشان داده شد که علاوه بر موقعیّت مطلق اراضی، شکل هندسی و مساحت آن‌ها نیز می‌توانند به‌طور معنادار از یک روش به روش دیگر تفاوت داشته باشند. درعینِ‌حال باید تأکید کرد که استفاده از گیرنده‌های جی‌پی‌اس دستی در این‌گونه مسائل اولاً ممکن است باعث تجاوز به املاک مجاور در حد چندین متر در هر ضلع شده، ثانیاً شکل هندسی زمین و مساحت حاصل از آن نیز اختلاف فاحش با وضع موجود زمین نشان دهد. لذا استفاده از جی‌پی‌اس دستی نه‌تنها مسائلی مانند رفع تداخلات را حل نمی‌کند، بلکه خود باعث

بروز تداخلات است. بدیهی است مسئولیت امـر در درجـهٔ اول متوجـه کارشناسـان مربوطـه و بـه طریق اولی متوجه نهادهای حقوقی متولّی موضوع خواهد بود.

استفاده از موزائیک تصاویر ماهواره‌ای موجود در سایت‌هایی مانند گوگل بـرای صحّت‌سـنجی تعیین موقعیت، کمکی به حل مشکل نمی‌کند؛ زیرا این تصاویر و موقعیت ارائه شـده در ایـن گونـه سایت‌ها ممکن اسـت دارای خطاهـایی بـس بیشـتر از خطـای مختصـات حاصـل از گیرنـده‌های جی‌پی‌اس دستی باشند. البته اگر غیر از این بود ای‌بسا استفاده از گیرنـده‌های جی‌پـی‌اس دسـتی و حضور میدانی در محل نیاز نبود و استناد به این‌گونه منابع کفایت می‌کرد.

رسیدن به دقّت‌های زیاد (در حد سانتی‌متر و بهتر از آن) برای تعیین حـدود، ابعـاد و جانمـایی اراضی، امکان‌پذیر است، امـا ابزارهـا و تخصـص خـاص خـود را نیـز دارد. در گذشـته کـه ارزش زمین‌ها به اندازهٔ امروز نبود، اندازه‌گیری‌های مربوطه لزوماً با این دقّت‌ها صـورت نمی‌گرفـت. امـا امروزه، مواردی مشاهده شده است که در پرونده‌های قضائی ادعای تعرض به ملک مجاور در حـد چند سانتی‌متر شده است. لذا در این‌گونه موارد قضات محتـرم و کارشناسـان مربوطـه بایـد نقـش خطاهای اجتناب‌ناپذیر در اندازه‌گیری‌ها و ماهیت تصادفی آن‌ها را مدنظر داشته باشند.

منابع

۱. اعتدال، ایمان (۱۳۹۹) یکپارچه‌سازی سیستم‌های مختصات نقشه‌های مبنایی مورد استفاده در شهرداری زنجان. پایان‌نامه برای اخذ مدرک کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکدهٔ مهندسی دانشگاه زنجان.

۲. خردمندی، سعید و محمدی، شیوا (۱۴۰۱) «واکاوی خلأهای حقوقی کاداستر کشور با تأکید بر قانون جامع حدنگار». پژوهش‌های حقوق ثبت، دوره ۱، شمارهٔ ۲، شمارهٔ پیاپی ۲.

3. Günter Seeber (2003) *Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications*. 2nd Edition, De Gruyter
4. Wei S., Yuying L., Shunli D. (2020) Xiaomi Mi 8 smartphone GNSS data quality analysis and single-frequency RTK positioning performance evaluation. IET Radar Sonar Navig., 2020, Vol. 14 Iss. 9, pp. 1410-1416
5. Zangenehnejad F. and Y. Gao (2021) GNSS smartphones positioning: advances, challenges, opportunities, and future perspectives. Satell Navig 2:24