نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال دوازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳

Vol.12, No.4, Winter 2025

۸۵ -۱۰۷

مقاله پژوهشی

توسعه یک برنامه کاربردی جهت اصلاح نقشه‌های قطعات ثبتی با تاکید بر حفظ حدود، مساحت و عدم تداخل

علیرضا صفدری نژاد*

استادیار گروه ژئودزی و مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تفرش، تفرش

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵

چکیده

نقشه‌برداری زمینی، استفاده از نقشه‌های بزرگ‌مقیاس هوایی و یا رقومی‌سازی نقشه‌های کاغذی از جمله منابع تأمین اطلاعات مکانی در فرایندهای ثبت املاک و سامانه‌های حدنگاری محسوب می‌شوند. عدم قطعیت در استخراج اطلاعات مکانی از هر یک از این منابع، بروز ناهمگونی‌هایی را با مستندات حقوقی ایجاد می‌سازند. عدم تطابق حدود (طول‌ها) و مساحت‌های هندسی با مندرجات ثبتی به‌عنوان گزاره‌های حقوقی مندرج در اسناد مالکیت، نمونه‌ای از این تداخلات محسوب می‌شوند. در صورت صحت مندرجات ثبتی از نظر هندسی، ایجاد تطابق نقشه‌ها با این گزاره‌های حقوقی یکی از اقدامات فنی کارشناسان نقشه‌برداری در امور ثبتی است. در این روند، موقعیت رئوس قطعه/قطعات ثبتی به نحوی اصلاح شده که ضمن عدم بروز تداخل میان قطعات ثبتی، مساحت‌ها و حدود مندرج در اسناد با نقشه‌های موجود تطبیق یابند. کیفیت این فرایند وابسته به تجربه و حوصله کارشناس بوده و نتایج یکسانی از این فرایند در صورت تکرار حاصل نمی‌گردد. در این تحقیق یک برنامهٔ کاربردی تعاملی به منظور پالایش نقشه‌های اولیه از قطعه/ قطعات ثبتی با هدف ایجاد انطباق با حدود و مساحت‌های مندرج در اسناد مالکیت توسعه یافته است. در این روش، از نقشه‌های ثبتی موجود به‌عنوان مبنای استخراج مشاهدات استفاده شده است. از سوی دیگر، مستندات هندسی ثبت شده به‌عنوان گزاره‌های حقوقی در اسناد مالکیت به‌عنوان قیود مورد انتظار در روند پالایش مختصات رئوس قطعه/قطعات ثبتی تعریف می‌گردد. در این برنامه کاربردی امکان تحمیل قیود هندسی متنوعی اعم از حفظ مساحت قطعات، حفظ تمام و یا بخشی از حدود قطعات ثبتی، هم‌خطی رئوس و همچنین تثبیت نقاط و امتدادها پیش‌بینی شده است. نتایج بکارگیری این روش ضمن تسهیل فرایندهای اجرایی برای کارشناسان امور ثبتی و نقشه‌برداری با جلوگیری از اجرای فرایندهای طاقت فرسای پالایشی، منجر به پالایش نقشه‌های ثبتی با عدم‌قطعیتی کمتر از مقیاس نقشه و یا روش‌های بازیابی آن شده است. از دیگر ویژگی‌های فنی این برنامه کاربردی، امکان استفاده در فرایند تفکیک و افراز زمین بوده که در مثال‌های متنوعی نیز عملکرد آن به اثبات رسیده است.

کلیدواژه‌ها : نقشه‌های ثبتی، پالایش، تثبیت عرصه، تفکیک، افراز، حدود و مساحت ثبتی، اسناد مالکیت.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: گروه ژئودزی و مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده عمران، دانشگاه تفرش، تفرش، ایران.

تلفن: ۰۹۱۲۳۲۵۸۸۵۲

Email: Safdarinezhad@tafreshu.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

۱- مقدمه

به طور کلی به ازای هر قطعه ثبتی در نقشه های حدنگاری و اسناد مالکیت، برخی از اطلاعات هندسی (حدود و مساحت)، مجاورین، حقوق ارتفاقی و اطلاعات مالکیتی بصورت توصیفی بعنوان گزاره‌های حقوقی ثبت می‌شوند. در امور نقشه‌برداری ثبتی، تهیه، بازیابی، پیاده سازی و یا آماده سازی نقشه‌های مربوط به قطعات ملکی با حفظ الزامات حقوقی به اجرا می‌رسد. به‌عنوان مثال، ۱- تهیهٔ نقشه‌های کادر از بلوک‌های ثبتی، ۲- ارائه نظرات کارشناسی در دعاوی مربوط به تداخلات ملکی با محوریت مسائل نقشه‌برداری، ۳- تهیه نقشه های تفکیکی و یا ۴- تعیین حدود (مرزها) و جانمایی قطعات ثبتی، از جمله کاربردهایی تلقی شده که نیازمند اقدامات نقشه‌برداری با حفظ الزامات حقوقی و ثبتی هستند. در این موارد، ایجاد انطباق میان نقشه‌های بازیابی شده از قطعات ثبتی با مستندات توصیفی مرتبط با هندسه املاک یکی از الزامات حقوقی مهم و ضروری محسوب می‌شود.

اطلاعات مکانی مورد نیاز برای بازیابی نقشه مربوط به قطعات ثبتی متناسب با نوع مساله و داده‌های موجود، از روش های مختلفی همچون نقشه‌برداری زمینی، بکارگیری تصاویر و نقشه‌های هوایی موجود و یا بر پایهٔ استفاده از نقشه‌های قدیمی و کاغذی استخراج می شوند. بنا به نتایج گزارش شده در تحقیق دُ سکوچ در سال ۲۰۱۴، میزان عدم قطعیت های مربوط به بازیابی اطلاعات مکانی از نقشه‌های حدنگاری، وابسته به تعداد رئوس هر قطعه و مقیاس نقشه است [۱]. از این رو، یکی از چالش‌های کار شناسان نقشه‌برداری در حوزه امور ثبتی، تلاش برای ایجاد انطباق اطلاعات مکانی جمع‌آوری شده از منابع مختلف با مندرجات حقوقی اسناد همچون حدود (طول‌ها) و مساحت‌های ثبتی است. هرچند که نظر سنجی‌های صورت گرفته از متخصصین امور ثبتی حاکی از کارآمدی بیشتر رویکردهای سه‌بعدی در ثبت قطعات ملکی (بطور خاص آپارتمان‌ها) است[۲ و ۳]؛ با این‌حال، به‌طور سنتی و معمول، نقشه های ثبتی مربوط به قطعات ملکی به‌صورت مسطحاتی تهیه شده که حدود اضلاع و مساحت در آن‌ها به‌عنوان گزاره های حقوقی درج می‌گردند [۴، ۵ و ۶]. در صورت عدم درج چنین اطلاعاتی در نقشه، این اطلاعات حقوقی با احتمال زیاد در صورتمجلس های تفکیکی و یا تعیین حدود در دسترس خواهند بود [۶ و ۷]. در ادامه برخی از تحقیقات مرتبط با هدف این تحقیق مرور شده است.

باجتالا و همکاران (۲۰۱۷) با مطالعه دقت و قابلیت اعتماد استخراج مساحت قطعات ثبتی متناسب با مقیاس نقشه و ابزارهای نقشه‌برداری، دلایل مختلف بروز عدم انطباق مندرجات ثبتی و مساحت هندسی قطعات ثبتی را در سامانه های حدنگاری بررسی نمودند[۸]. راهکار پیشنهاد شده در این تحقیق، الزام به اصلاح مندرجات ثبتی قدیمی با محتوای نقشه‌های بزرگ‌مقیاس جهت ایجاد همگونی ثبتی و هندسی بود. در این تحقیق از تلاش برای تطبیق مساحت‌های ثبتی و هندسی از طریق پالایش نقشه‌های موجود صرف‌نظر شده است. با این‌حال، به نظر می‌رسد که پالایش نقشه‌های مربوط به قطعات ملکی به‌منظور ایجاد انطباق با مندرجات ثبتی تا مرز عدم تجاوز از دقت نقشه، می‌تواند بر ایجاد حس اعتماد به کاربران سامانه‌های حدنگاری موثر باشد. به‌عبارت بهتر، مالکان تمایلی به تغییر مساحت و حدود مندرج در اسناد مالکیت با عناوینی همچون اصلاح و یا عدم قطعیت‌های نقشه‌برداری ندارند [۹]. از این رو، دستیابی به حدود و مساحت‌های مندرج در اسناد مالکیت مادامیکه خطایی بزرگ‌تر از دقت نقشه های حدنگاری ایجاد نسازد؛ می‌تواند راهکاری مناسب در حفظ حقوق مالکانه و اعتماد به سامانه‌های ثبتی تلقی گردد. بدیهی است که این ایده در صورت صحت مندرجات ثبتی در اسناد مالکیت و یا نقشه‌های قدیمی، قابلیت اجرایی خواهد داشت. از سوی دیگر، با توسعه و بکارگیری سامانه‌های اطلاعات مکانی (*GIS*) در سازمان‌های مختلف، نقشه های قدیمی و کاغذی به تدریج در حال

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

رقومی‌سازی و انتقال به این سامانه‌ها هستند [۱۰ و ۱۱]. با این‌حال بخش زیادی از این اسناد کماکان در صف انتقال به پایگاه داده‌های مکانی قرار داشته که به فراخور نیاز و به ناچار کماکان به همان شکل اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرند [۵]. عموماً، استفاده‌کنندگان از چنین نقشه‌هایی نیز تمایل به رقومی سازی آنها داشته تا بتوانند اقدامات فنی آتی را در بستر محیط های ترسیمی رایانه‌ای (*CAD*) دنبال کنند. رقومی‌سازی[2] به فرایند تبدیل نقشه‌های کاغذی به نقشه‌های بُرداری را یا نه‌ای اطلاق شده که عموماً از چهار مرحلهٔ تصویربرداری، اصلاح هندسی، ترسیم عوارض و پالایش ترسیمات تشکیل می‌گردد[۱۲ و ۱۳]. در روند رقومی‌سازی، متناسب با اطلاعات و ابزارهای در دسترس، اقدامات اجرایی متفاوتی جهت انتقال نقشه‌های کاغذی به محیط‌های ترسیم بُرداری صورت می‌پذیرد [۱۱]. تصویربرداری از نقشه، اولین گام از روند رقومی‌سازی تلقی شده که از طریق دوربین های عکس‌برداری و یا پویشگرها[3] انجام می‌شود. دومین گام به روند اصلاح هندسی تصاویر اختصاص داشته که متناسب با اطلاعات موجود در نقشه از رویکردهای متمایزی برخوردار خواهد بود [۱۲]. وجود نقاط معلوم و یا خطوط شبکه در نقشه امکان بکارگیری تبدیلات هندسی منعطف را جهت اصلاح هندسی و بازنمونه‌برداری تصاویر[4] فراهم می‌آورد [۱۲ و ۱۴]. بکارگیری تبدیلات هندسی منعطف مانند چندجمله‌ای های دوبعدی امکان اصلاح اعوجاجات احتمالی موجود در نقشه‌های کاغذی قدیمی را فراهم آورده که در صورت استفاده صحیح، اصلاح هندسی دقیق‌تری را تأمین می سازند. با این‌حال در صورت عدم وجود نقاط معلوم و خطوط شبکه، استفاده از تبدیلات هندسی متشابه[5]، افاین[6] و یا پروجکتیو[7] تنها گزینه‌های در دسترس خواهند بود. ترسیم عوارض گام بعدی پس از اصلاح هندسی تصویر نقشه است. در این مرحله از نرم‌افزارهای ترسیمی مانند اتوکد جهت تبدیل تصویر اصلاح شدهٔ هندسی به قالب بُرداری استفاده می شود. این کار به سادگی از طریق ترسیم دستی و یا بکارگیری ابزارهای رقومی‌سازی خودکار به اجرا می‌رسد[۱۲ و ۱۴]. در روند خودکار رقومی‌سازی، مرز عوارض از طریق پردازش‌های تصویری استخراج می‌شوند [۱۳، ۱۵ و ۱۶]. تا این مرحله، عوامل مختلفی مانند، ۱- صحت هندسی و مقیاس نقشهٔ کاغذی، ۲- وضوح تصویربرداری، ۳- روش و دقت اصلاح هندسی و همچنین ۴- دقت ترسیم بُرداری عوارض، بر دقت و صحت عوارض ترسیم شده اثرگذار خواهد بود. هرچند که نتایج کسب شده تا این مرحله برای اجرای بخش زیادی از کاربردها کافی است؛ اما در مورد رقومی سازی قطعات ثبتی، تأمین الزامات هندسی خاص همچون انطباق مساحت ها و حدود (طول های پیرامونی) رقومی سازی شده با مستندات ثبتی از چالش‌های این حوزه قلمداد می‌شود.

در بازیابی و یا پیاده‌سازی نقشه‌های ثبتی همواره محدودیت‌هایی مانند ضرویت حفظ حدود و مساحت‌های ثبتی، عدم وجود تداخل بین قطعات و یا رعایت قیود مکانی مانند جهت‌گیری قطعات و جلوگیری از بروز تجاوز به حریم‌های دیگر وجود دارد. این محدودیت‌ها عموماً اقدامات فنی پرچالشی را در روند بازیابی نقشه‌های تحمیل می‌سازند. راهکارهای فنی موجود در این حوزه عموماً دستی و بر پایه آزمون و خطا به اجرا رسیده که تجربه، حوصله و مهارت کارشناس در امکان‌پذیر بودن، تسریع و یا تطویل آن اثرگذار خواهد بود. به‌عنوان مثال، با توجه به خطاهای موجود در روند رقومی‌سازی نقشه‌های قدیمی، عموماً

[1] *Computer-Aided Design*
[2] *Digitization*
[3] *Scanners*
[4] *Image Resampling*
[5] *2D Conformal Transformation*
[6] *2D Affine Transformation*
[7] *2D Projective Transformation*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

تأمین مساحت و حدود برای قطعات ثبتی تأمین نمی‌گردند. این چالش نه تنها در روند رقومی‌سازی، بلکه در فرایند نقشه‌برداری میدانی و یا بکارگیری عکس‌ها و نقشه‌های هوایی وجود خواهد داشت. از این رو، پس از تولید نقشه های بُرداری اولیه، پالایش موقعیت رئوس قطعات ثبتی با هدف تأمین الزامات ثبتی و عدم بروز تداخل میان قطعات ملکی توسط کارشناسان خبره در دستورکار قرار دارد. در این روند، یک کارشناس با تغییر موقعیت رئوس چندضلعی‌ها ترسیم شده، تلاش می‌کند تا با ایجاد کمترین اختلاف در ترسیمات اولیه، قیود ثبتی مد نظر را تأمین سازد.

در این مقاله راهکاری محاسباتی مبتنی بر تخمین کمترین مربعات مقید جهت پالایش ترسیمات بُرداری اولیه از قطعات ثبتی به منظور تأمین الزامات ثبتی و انطباق با مستندات حقوقی مرتبط با هندسه املاک ارائه شده است. در این راستا نرم‌افزاری تعاملی در محیط متلب[1] نیز آماده‌سازی شده که بر پایه روش‌شناسی مطرح در این تحقیق توسعه یافته است. از این نرم‌افزار تعاملی می‌توان برای مسائل مرتبط با بازیابی و پالایش نقشه‌های ثبتی استفاده نمود. راهکار پیشنهادی در این مقاله بر پایه اصلاح موقعیت رئوس قطعات ثبتی با در نظر گرفتن قیود متنوعی همچون حفظ حدود (طول‌های پیرامونی قطعات ثبتی) و مساحت‌های ثبتی، ایجاد هم‌خطی بین نقاط، تثبیت موقعیت برخی از رئوس و حفظ امتدادهای خاص بنا شده است. قابلیت تعریف تعاملی قیود ذکر شده در نرم‌افزار توسعه‌یافته بر روی ترسیمات هندسی اولیه وجود داشته که در صورت صحت هندسی، پالایش همزمان رئوس قطعات ثبتی را با ایجاد کمترین اختلاف در زوایای بین رئوس چندضلعی‌ها و حفظ قیود به اجرا می‌رساند. نتیجه این راهکار، تأمین تمامی قیود تحمیل شده به ترسیمات اولیه صرفاً در شرایط امکان‌پذیر بودن هندسی و عدم وجود اشتباهات فاحش در نقشه‌های اولیه خواهد بود. عدم نیاز به اجرای اقدامات پرچالش و مبتنی بر آزمون و خطا برای اصلاح موقعیت رئوس با هدف تطبیق با الزامات ثبتی از ویژگی های این روش محسوب می شود. از نمونه تحقیقات مشابه با بکارگیری روش‌های محاسباتی در اصلاح هندسی نقشه‌های ثبتی می‌توان به تحقیق بِرک و فرلان (۲۰۱۶) اشاره داشت [۱۷]. ایشان مساحت چندضلعی‌های مستخرج از نقشه‌های حدنگاری را با یک روند محاسباتی و به کمک اطلاعات توپوگرافی به مساحت واقعی بر روی سطح زمین تبدیل کردند. این اقدام با هدف کاهش اثر اعوجاجات موجود در سیستم‌های تصویر به اجرا رسیده است. هانوس (۲۰۱۳) نیز با ایده‌ای مشابه، پالایش قطعات ثبتی موجود در نقشه‌های حدنگاری را با هدف افزایش تطابق مساحت ثبتی و هندسی به اجرا رساند [۱۸]. در این تحقیق الزامی بر حفظ حدود ثبتی در روند پالایش لحاظ نشده که این موضوع با روند رایج صدور اسناد مالکیت در ایران مغایر است. در ایران ثبت توصیفی مساحت و حدود قطعات ملکی در اسناد مالکیت و نقشه‌های ثبتی، جزئی از الزامات حقوقی ثبت اسناد مالکیتی تلقی می شوند. از نزدیک‌ترین تحقیقات داخلی انجام شده در این حوزه نیز می‌توان به تحقیق حاذقی اقدم و همکاران (۱۳۹۶) اشاره داشت. در این پژوهش اصلاح مساحت و حدود قطعات ثبتی منفرد (بدون در نظر گرفتن مجاورت) در شرایط مختلفی همچون وجود و نبود نقاط ثابت در دستورکار قرار داشته است. در این پژوهش بکارگیری شرط مجموع زوایای چندضلعی، خطای بسط انتقال مختصات و قید مربوط به مساحت چندضلعی در قالب یک دستگاه معادلات همزمان جهت اصلاح نقشهٔ قطعات ثبتی منفرد مورد استفاده قرار گرفته است [۱۹]. بدیهی است که اصلاح قطعات ثبتی منفرد بدون در نظر گرفتن اثرات آن در قطعات مجاور می‌تواند ناهمگونی و تداخل را در نقشه‌های حدنگاری ایجاد سازد.

[1] *MATLAB*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

۲- روش پیشنهادی

حدود و مساحت قطعات ثبتی، عدم وجود تداخل بین مجاورین و حفظ قیود محیطی از مهمترین ویژگی‌های هندسی املاک از منظر حقوقی و ارزشگذاری قلمداد شده که توصیف آنها در اسناد مالکیت بعنوان گزاره‌های حقوقی درج و در نقشه‌های ثبتی نمایش می‌یابند. دستیابی به این الزامات، در تهیه و بازیابی نقشه‌های حدنگاری، روند رقومی‌سازی نقشه‌های کاغذی و یا نقشه‌برداری میدانی، از اولویت‌های اجرایی کارشناسان متخصص در امور ثبتی و نقشه‌برداری است. وجود خطا در اندازه‌گیری‌های میدانی، عدم قطعیت‌های ناشی از مقیاس نقشه‌ها، خطاهای اتفاقی در تکرار فرایند بازیابی و یا نقشه‌برداری از قطعات ثبتی و یا خطاهای رقومی‌سازی، عواملی تلقی شده که دستیابی به الزامات ثبتی را در روند نقشه‌برداری املاک از منظر حقوقی دچار چالش می‌سازند. از این رو، کارشناسان نقشه‌برداری پس از تهیه یا بازیابی نقشه‌های اولیه از قطعات ثبتی، راهکارهای طاقت‌فرسای دستی را بر پایه آزمون و خطا با هدف افزایش انطباق ترسیمات اولیه با الزامات حقوقی به اجرا می‌رسانند. راهکار پیشنهادی در این مقاله بر پایهٔ پالایش مختصات رئوس چندضلعی‌های اولیه با اعمال قیود قطعی مربوط به حفظ طول اضلاع، مساحت‌ها، عدم بروز تداخل میان قطعات، ایجاد هم‌خطی بین رئوس منتخب و همچنین تثبیت برخی از رئوس و امتدادها بنا شده است. با توجه به تنوع و پیچیدگی در ضرورت یافتن اعمال قیود ذکر شده، روش‌شناسی ارائه شده در این تحقیق در قالب یک برنامه کاربردی تعاملی توسعه یافته تا کاربر متخصص بتواند قیود مد نظر را بصورت تعاملی برای فرایند پالایش استفاده نماید. از این رو، روش‌شناسی ارائه شده در این بخش به بیان زیربنای نظری روش توسعه‌یافته اختصاص داشته و در بخش نتایج نیز قابلیت‌های برنامهٔ کاربردی در قالب مثال‌های کاربردی و تعاملی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در روش پیشنهاد شده، زوایای هر رأس از قطعات ثبتی نسبت به سایر رئوس در ترسیمات اولیه، به‌عنوان مشاهدات و همچنین طول مرزهای پیرامونی قطعات ثبتی و مساحت آنها به‌صورت قیود قطعی در دستگاه معادلات مربوط به پالایش مختصات اولیه رئوس چندضلعی مشارکت خواهند داشت. علاوه بر آن، امکان افزودن قیود دیگری همچون هم‌خط بودن برخی از رئوس، ثابت ماندن یک یا چندین رأس و یا حفظ راستای برخی از امتدادها نیز در این روش پیش‌بینی شده که بصورت تعاملی قابل اعمال هستند.

در صورت وجود n نقطه دوبعدی $V_i = [X_i, Y_i], \boldsymbol{i} = 1, 2, \ldots, n$ به‌عنوان مختصات اولیه از رئوس قطعات ثبتی ترسیم شده، تعداد k چندضلعی بسته بر اساس اتصال بهم پیوستهٔ آنها به‌عنوان ورودی‌های روش پیشنهادی در دسترس خواهند بود. در این روش، هر چندضلعی بسته $(P_j, j = 1, 2, .., k)$ از طریق یک بردار حاوی شماره نقاط رئوس آن به شکل $\vec{P_j} = [p_{j.1}.\ p_{j.2}.\ldots.\ p_{j.t_j}.p_{j.1}]^T$ مشخص شده که $p_{j,i}$ شماره رأس i ام از چندضلعی j ام بوده و t_j تعداد رئوس آن چندضلعی هستند. در صورت اتصال رئوس هر چندضلعی مطابق با ترتیب ارائه شده در بردار P، شکل بسته آن چندضلعی ایجاد می‌گردد.

در روش پیشنهادی به ازای مختصات اولیه هر رأس از قطعات ترسیم شده (به‌عنوان مثال i)، $n-2$ مشاهده متناظر با کسینوس زاویه $(C\alpha)$ مطابق با رابطهٔ (۱) محاسبه و به‌عنوان مقادیر مشاهداتی در روند پالایش مختصات رئوس مورد استفاده قرار می‌گیرند.

رابطه(۱)

$$C\alpha_{i-1,i,j} = \frac{\|V_{i-1}-V_i\|+\|V_j-V_i\|-\|V_{i-1}-V_j\|}{2\times\sqrt{\|V_{i-1}-V_i\|\times\|V_j-V_i\|}},$$

$$\forall\ j \neq \{i-1.i\}$$

در رابطهٔ (۱)، $\|\ \|$ نماد محاسبه نرم-۲ بردار بوده و مقدار i در شرایط $i = 1$ معادل با n (آخرین راس از چندضلعی) خواهد بود. بر این اساس با در نظر گرفتن n رأس به‌عنوان مختصات اولیه از رئوس قطعات ثبتی، مجموعاً $N_l = n\times(n-2)$ معادلهٔ مشاهداتی به‌صورت

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

رابطهٔ (۱) قابل تأمین خواهد بود. هر معادلهٔ مشاهداتی در این روند، مختصات سه رأس از قطعات ثبتی را درگیر ساخته و با توجه به تأمین آن برای تمامی زوایای ممکن از رئوس قطعات ثبتی، شروط مناسبی بر حفظ شکل چند ضلعی‌های ترسیم شده اولیه در روند پالایش مختصات رئوس خواهند بود. باید توجه داشت که مقادیر بدست آمده از این معادلات هنگام بکارگیری مختصات اولیه از رئوس قطعات ثبتی، نقش مقادیر مشاهداتی را ایفا کرده و امکان اصلاح و برآورد باقیمانده برای آنها در روند تخمین کمترین مربعات وجود خواهد داشت.

در روش پیشنهادی و در روند پالایش مختصات رئوس، سایر محدودیت‌های ثبتی اعم از طول اضلاع، مساحت قطعات، هم‌خط بودن برخی از نقاط و همچنین تثبیت موقعیت برخی از نقاط یا حفظ امتداد های خاص، به‌عنوان قیود قطعی به روند تخمین کمترین مربعات اعمال می‌شوند. در ادامه روابط ریاضی قابل استفاده به‌عنوان قید برای هر یک از موارد ذکر شده تشریح شده‌اند. با مقدمه ذکر شده، معادلات مربوط به حفظ طول اضلاع در هر قطعه ثبتی (به‌عنوان مثال قطعه i ام) به صورت رابطهٔ (۲) به مجموعه معادلات قید اضافه می‌گردد.

رابطه(۲)

$$l_{i,j} = \sqrt{\left\|V_{P_i(j)} - V_{P_i(j+1)}\right\|},\ j = 1, 2, \dots, t_j$$

در رابطهٔ (۲)، $l_{i,j}$ طول ثبتی مربوط به ضلع j ام از قطعهٔ ثبتی i ام بوده که متصل کنندهٔ دو راس $V_{P_i(j)}$ و $V_{P_i(j+1)}$ است. $P_i(j)$ در این رابطه به درایه j ام از بردار $\vec{P}_i$ اشاره دارد. بر این اساس، در آغاز به ازای تمامی چندضلعی‌های موجود در روند پالایش رئوس قطعات ثبتی، تعداد $\sum_{i=1}^{k} t_i$ معادلهٔ قید مربوط به حفظ طول ثبتی قابل تأمین خواهد بود. لازم به ذکر است که در برنامه تعاملی توسعه یافته امکان لحاظ شدن یا نشدن هر یک از قیود مرتبط با حدود ثبتی به انتخاب کاربر نیز فراهم شده است. از سوی دیگر، باید توجه داشت که در صورت وجود مجاورت (اضلاع مشترک) میان قطعات ثبتی، قیود تکراری در روابط (۲) ایجاد شده که در ادامه و پس معرفی تمامی روابط ریاضی قید، در مورد سازوکار شناسایی خودکار و حذف آنها در روند تخمین کمترین مربعات توضیحات تکمیلی ارائه شده است. بدیهی است که در صورت وجود قیود هم‌بسته و مشابه در روند تخمین کمترین مربعات مقید، دستگاه معادلات مربوطه دچار تکینگی شده و برآورد مجهولات دچار اختلال خواهد شد. از آنجاییکه این اتفاق به دلایل مختلفی همچون اشتباه کاربر در تعریف افزونه قیود یا پیچیدگی در تجسم وجود هم‌بستگی میان قیود تحمیلی رخ می‌دهد؛ سازوکار خودکار بکارگرفته شده، با شناسایی قیود هم‌بسته، آنها را از دستگاه معادلات حذف نموده و در انتها گزارشی از قیود حذف شده در اختیار کاربر قرار خواهد داد.

در برخی از اسناد مالکیت، هر ضلع از محیط یک قطعه ثبتی بصورت یک حد مجزا توصیف نشده و مجموعه‌ای از اضلاع غیر هم‌خط بصورت یک حد معرفی و طول مجموع آنها در تشریح حدود قطعه ثبتی درج می‌گردد. شکل (۱) نمونه‌ای از این شرایط را در یک سند مالکیت کاداستری (تک‌برگی) نمایش می‌دهد.

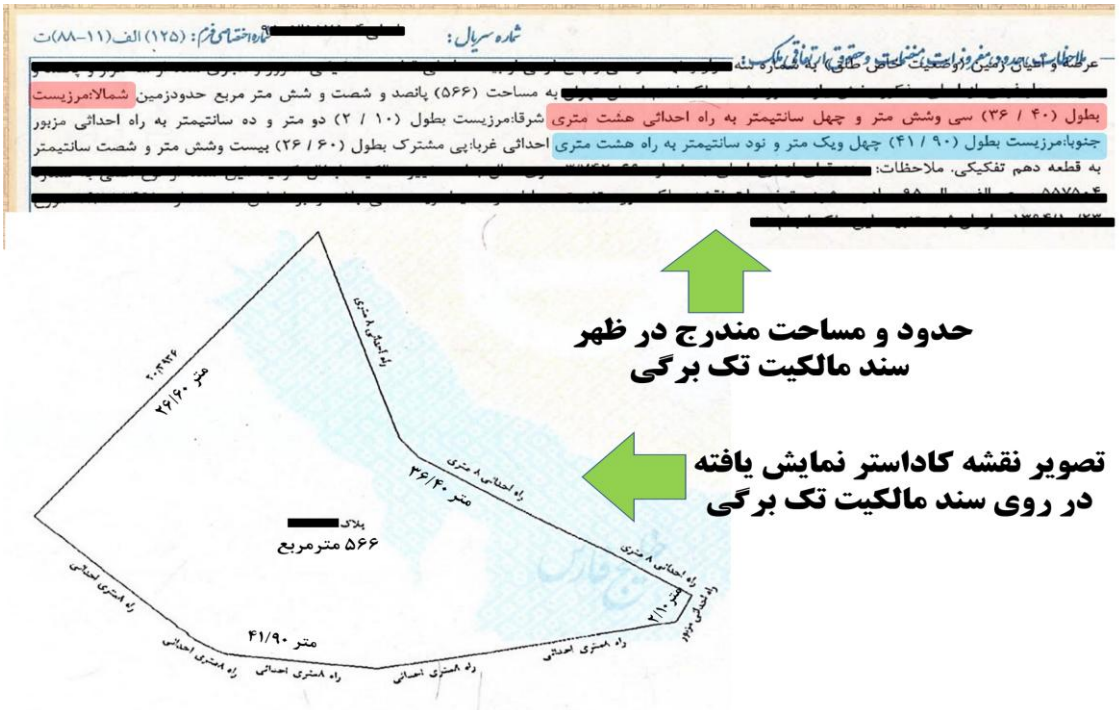
در شرایط مشابه با شکل (۱)، معادله قید مربوط به یک حد متشکل از چند ضلع بین رئوس $P_i(a)$ تا $P_i(b)$ ($b>a$) از قطعه i ام به شکل رابطهٔ (۳) خواهد بود.

در رابطهٔ (۳)، $V_{P_i(j)} = [X_{P_i(j)}, Y_{P_i(j)}]$ مختصات مربوط به رأس متناظر با درایهٔ j ام از بردار $\vec{P}_i$ مربوط به قطعه i ام است. قید ارائه شده در رابطه (۳) صرفاً در زمان وجود حدود متشکل از چند ضلع در مستندات توصیفی قطعات ثبتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بعنوان مثال در شکل (۱) دو حد شمال و جنوب (با رنگ های قرمز و آبی در حدود اربعه سند مالکیت برجسته شده‌اند) از این ویژگی برخوردار هستند. از این رو می‌توان برای هر یک، یک قید مطابق با رابطهٔ (۳) در روند پالایش تعریف نمود. تطبیق مساحت هر قطعه با مقادیر ثبتی، قید دیگر مورد استفاده در روند پالایش مختصات رئوس بوده که مطابق با رابطهٔ (۴) به ازای هر قطعه (به‌عنوان مثال قطعه i ام) ایجاد و به مجموعهٔ معادلات قید اضافه می‌شوند. رابطهٔ (۴) فرمول گوس در

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

محاسبه مساحت یک چندضلعی به کمک مختصات رئوس آن بوده که در آن X و Y مختصات مرتب شدهٔ رأس‌ها می‌باشند. سایر نمادهای این رابطه مشابه با روابط قبلی هستند. بکارگیری قیود این رابطه به دلیل عدم مشتق پذیری عملگر قدرمطلق در کنار سایر معادلات ممکن نیست. اما به سادگی می‌توان با محاسبه مساحت اولیه هر قطعه ثبتی بر اساس نحوه شماره‌گذاری رئوس در بردار متناظر $\vec{P}$، علامت صحیح عبارت واقع در قدرمطلق را شناسایی و با ضرب علامت شناسایی شده در آن، قدرمطلق را حذف نمود. بنابراین، علامت قدرمطلق در این روابط یکبار و در ابتدا به کمک مختصات اولیه رئوس به ازای هر چند ضلعی شناسایی شده و در ادامه از آنها تا انتهای روند تکراری پالایش مختصات رئوس قطعات استفاده می‌گردند.

هم‌خط بودن برخی از رئوس قطعات ثبتی از قیود دیگری تلقی شده که به فراخور نیاز می‌توان به سایر قیود اضافه نمود. این نیاز عموماً زمانی احساس می‌شود که پالایش صورت‌گرفته در رئوس قطعات ثبتی منجر به به‌هم‌خوردن هم‌راستایی برخی از رئوس می‌گردد. منظور از هم‌خطی، هم‌راستا ماندن برخی از نقاط منتخب پس از پالایش مختصات رئوس قطعات ثبتی است. عدم ایجاد تجاوز به گذر و شرط هم‌باد بودن مرز قطعات با گذرها، از نمونه شرایطی تلقی شده که الزام به اعمال چنین قیدی را نمایان می‌سازند. در صورتیکه عدم بکارگیری این قید منجر به تأمین هم‌خطی در نقاط منتخب نگردد؛ استفاده از این قید پیشنهاد می شود. با در نظر گرفتن بردار $\overrightarrow{LP_j} = [lp_{j.1}. lp_{j.2}. \ldots . lp_{j.m_j}]^T$ به عنوان بردار مشخص‌کنندهٔ مجموعهٔ j ام از نقاط هم‌خط که $lp_{j,i}$, $i=1,2,..,m_j$ معرف شماره رئوسی بوده که در قید هم‌خطی j ام مشارکت داشته؛ معادله قید هم‌خط کننده رئوس $\overrightarrow{LP_j}$ به شکل رابطهٔ (۵) خواهد بود. در این رابطه m_j تعداد نقاط مشارکت‌کننده در قید هم‌خطی j ام است.



شکل۱: نمونه‌ای از تشریح چند ضلع بعنوان یک حد در حدود اربعه یک قطعه ثبتی (حد شمال و جنوب که با رنگ‌های قرمز و آبی برجسته شده‌اند)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

رابطه(۳)

$$\Sigma l = \sum_{j=a+1}^{b}\left((X_{P_i(j)} - X_{P_i(j-1)})^2 + (Y_{P_i(j)} - Y_{P_i(j-1)})^2\right)$$

رابطه(۴)

$$A_i = \frac{1}{2}\left|\sum_{j=1}^{r_i}\left(X_{P_i(j)}Y_{P_i(j+1)} - X_{P_i(j+1)}Y_{P_i(j)}\right)\right| = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{r_i}\left(\pm X_{P_i(j)}Y_{P_i(j+1)} \mp X_{P_i(j+1)}Y_{P_i(j)}\right)$$
$$i = 1, 2, \dots, k$$

رابطه(۵)

$$0 = \frac{1}{m_j^2}\sum_{i=1}^{m_j}\left(X_{lp_{j\boxplus i}} - \bar{X}_j\right)^2 \times \sum_{i=1}^{m_j}\left(Y_{lp_{j\boxplus i}} - \bar{Y}_j\right)^2 - \frac{1}{m_j^2}\left(\sum_{i=1}^{m_j}\left(X_{lp_{j\boxplus i}} - \bar{X}_j\right) \times \left(Y_{lp_{j\boxplus i}} - \bar{Y}_j\right)\right)$$

رابطهٔ (۵)، فرمول محاسبه دترمینان ماتریس کواریانس و $\bar{X}_j$ و $\bar{Y}_j$ نیز میانگین مربوط به مختصات رئوس مشخص شده در بردار LP_j هستند. از دیدگاه نظری، ماتریس کواریانس محاسبه شده برای یک مجموعه نقاط دوبعدی هم‌خط، دارای کمبود رتبه بوده و دترمینان آن صفر خواهد بود. در روش پیشنهادی به ازای هر مجموعه نقاط هم‌خط یک معادله قید به مجموعه قیود اضافه می‌شود. در گذشته از این ایده برای هم‌صفحه‌سازی مختصات‌های سه‌بعدی در کاربردهای فتوگرامتری استفاده شده است [۲۰].

دو مجموعه قید دیگری که به انتخاب کارشناس متخصص و متناسب با محدودیت‌های ثبتی موجود، در روند پالایش مختصات رئوس طراحی و قابل بکارگیری است؛ قیود مربوط به حفظ مختصات رئوس منتخب و حفظ برخی از امتدادهای خاص می‌باشند. این قیود به سادگی قابلیت افزوده شدن به مجموعه قیود قبلی را از طریق روابط (۶) و (۷) برخوردارند.

رابطه(۶)

$$X_i^{ini} = X_i \qquad Y_i^{ini} = Y_i$$

رابطه(۷)

$$D_{i,j} = \frac{Y_i^{ini} - Y_j^{ini}}{X_i^{ini} - X_j^{ini} + 1} = \frac{Y_i - Y_j}{X_i - X_j + 1}$$

رابطه (۶) قید مربوط به حفظ مختصات رأس i ام و رابطه (۷) قید مربوط به حفظ امتداد دو رأس i و j بوده که X^{ini} و Y^{ini} در آن‌ها مختصات اولیه رئوس و X و Y مختصات مجهول پس از پالایش هستند. عدد ثابت یک در مخرج کسر رابطهٔ (۷) با هدف جلوگیری از بینهایت شدن کمیت D در مورد امتدادهای همراستا با محور Y استفاده شده است. قیود ارائه شده در این روابط به صلاحدید کارشناس و متناسب با انتظارات پالایشی تعیین می‌گردند. بدیهی است که از دیدگاه نظری محدودیتی در تعیین این قیود وجود نداشته اما در صورت تداخل و تضاد میان قیود انتخابی با قیود قبلی (حفظ حدود، مساحت و یا هم‌خطی) روند محاسبه مجهولات دچار اختلال خواهد شد. از این رو، در صورت عدم موفقیت‌آمیز بودن پالایش مختصات رئوس در روش پیشنهادی، بازنگری در تعیین این قیود می‌تواند به‌عنوان یک رویکرد اصلاحی در دستورکار قرار گیرد.

از دیدگاه فنی، وجود حداقل یک نقطه و یک راستای ثابت در روند پالایش مختصات رئوس با هدف رفع نقص در تعریف سیستم‌مختصات دوبعدی ضروریست. از این رو در صورت عدم تعیین حداقل‌های مورد اشاره، افزودن قیود داخلی[1] ارائه شده در روابط (۸) و (۹) به مجموعه قیود اجتناب ناپذیر خواهد بود [۲۱].

رابطه(۸)

$$SX = \sum_{i=1}^{n} X_i^{ini} = \sum_{i=1}^{n} X_i$$
$$SY = \sum_{i=1}^{n} Y_i^{ini} = \sum_{i=1}^{n} Y_i$$

رابطه(۹)

$$0 = \sum_{i=1}^{n}\left(X_i^{ini} \times \left(Y_i - Y_i^{ini}\right) - Y_i^{ini} \times \left(X_i - X_i^{ini}\right)\right)$$

[1] *Inner Constraints*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

قیود سه‌گانه داخلی ارائه شده در روابط (۸) و (۹) با ایجاد آزادی در پالایش مختصات تمامی رئوس قطعات ثبتی، صرفاً از چرخش کلی مختصات رئوس و جابجایی مرکز ثقل آنها جلوگیری می‌نماید. بدیهی است که تعیین حداقل یک نقطه ثابت به کمک قیود رابطه (۶) و یا انتخاب یک امتداد ثابت برای قید ارائه شده در رابطه (۷)، به ترتیب ضرورت به بکارگیری قیود ارائه شده در روابط (۸) و (۹) را رفع خواهند کرد. تعیین دو نقطه ثابت برای رئوس قطعات ثبتی نیز به طور کلی نیاز به افزودن قیود داخلی را مرتفع می‌سازد. در برنامه کاربردی توسعه یافته، در صورت عدم انتخاب تعداد لازم از قیود مرتبط با نقص در تعریف سیستم مختصات، ضمن شناسایی خودکار کمبود در قیود موجود، این نقص از طریق افزودن خودکار قیود داخلی جبران می‌گردد.

صرفنظر از مبنای نظری به‌کار رفته در توسعه روش پیشنهادی، ایجاد سازوکار هوشمند در شناسایی معادلات و قیود تعیین شده توسط کاربر به ازای هر تنوعی از داده‌های ورودی و همچنین تشکیل دستگاه معادلات منطبق با آن، از ویژگی‌های منعطف فنی در طراحی این برنامه کاربردی است. برنامه کاربردی متناسب با روش شناسی مطرح شده در این بخش قادر بوده که در صورت تبعیت کاربر متخصص از الگوی آماده‌سازی داده‌های ورودی و تعریف قیود، دستگاه معادلات مرتبط با هر مساله را تولید و پارامترهای مجهول را تعیین نماید.

معادلات ارائه شده در رابطهٔ (۱) به‌عنوان معادلات مشاهداتی و همچنین قیود ارائه شده در روابط (۲) تا (۵)، (۷) و (۹) همگی معادلاتی غیرخطی نسبت به مختصات رئوس پالایش شده به‌عنوان مجهولات هستند. با توجه به ساختار طراحی روش کمترین مربعات در بکارگیری معادلات خطی، تخمین پارامترهای مجهول در این شرایط نیازمند خطی‌سازی معادلات نسبت به مجهولات و بکارگیری روش تکراری در برآورد و اعمال تصحیح به مجهولات خواهد بود. بر این اساس، تمامی معادلات مربوط به مشاهدات و قیود پس از تشکیل خودکار از طریق برنامه کاربردی متناسب با مساله و دادهٔ ورودی به شکل رابطهٔ (۱۰) خطی‌سازی می‌شوند.

رابطه(۱۰)

$$\vec{L} + \vec{r} = F_L(\vec{\Delta}_0) + \mathbf{B}(\vec{\Delta}_0) \times \delta$$
$$\vec{g} = F_C(\vec{\Delta}_0) + \mathbf{C}(\vec{\Delta}_0) \times \delta$$

در رابطه (۱۰)، L بردار مقادیر مشاهداتی بوده که شامل تمامی مقادیر بدست آمده از رابطهٔ (۱) به ازای مختصات اولیه رئوس قطعات ثبتی است. این بردار $n\times(n\text{-}2)$ درایه خواهد داشت. r بردار مقادیر باقیماندهٔ مشاهدات بوده که پس از تخمین کمترین مربعات قابل محاسبه خواهد بود. $F_L(\vec{\Delta})$ برداری حاوی تمامی معادلات تولید شده در رابطه (۱) بوده که $\Delta = [X_1, Y_1, X_2, Y_2, \dots, X_n, Y_n]^T$ در آن شامل مقادیر مجهول (مختصات پالایش شده رئوس قطعات ثبتی) است. $[B]_{N_t.2n}$ ماتریس ژاکوبین بردار F_L نسبت به مجهولات بوده که درایه های آن مشتق معادلات مشاهداتی نسبت به مجهولات هستند. همچنین، $\delta = [\delta X_1, \delta Y_1, \delta X_2, \delta Y_2, \dots, \delta X_n, \delta Y_n]^T$ بردار تصحیح مجهولات بوده که در هر تکرار از حل دستگاه معادلات، تخمین و به بردار مقادیر تقریبی مجهولات (Δ_0) جهت به‌روزرسانی اضافه می‌شود. بردار g نیز حاوی مقادیر قید (حدود و مساحت‌های ثبتی، صفر به ازای قیود هم‌خطی، مختصات نقاط ثابت، مقادیر امتدادهای ثابت و یا مقادیر محاسبه شده برای قیود داخلی در صورت عدم وجود قیود کافی در رفع نقص برای تعریف سیستم‌مختصات) بوده که تعداد اولیه درایه‌های آن از طریق رابطهٔ (۱۱) تعیین می‌گردد.

رابطه(۱۱)

$$N_C = k + N_{CL} + 2fp + fd + n\Sigma l + \sum_{i=1}^{k} t_i$$
$$fp \text{ and } fd \geq 1$$

در رابطه (۱۱)، fp و fd به ترتیب تعداد نقاط و امتدادهای ثابت لحاظ شده به‌عنوان قید در روند پالایش مختصات رئوس قطعات ثبتی، $n\Sigma l$ تعداد قیود مربوط به حدود متشکل از چند ضلع و N_{CL} تعداد مجموعه‌های

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

نقاط هم‌خط هستند. سایر نمادهای این رابطه قبل‌تر معرفی شده‌اند. در صورت عدم تعیین نقطه ثابت توسط کارشناس متخصص، دو قید داخلی مربوط به ثبات مرکز ثقل رئوس قطعات ثبتی ($fp=1$) و در صورت عدم تعیین یک امتداد ثابت (یا حداقل دو نقطه ثابت) توسط کارشناس متخصص، یک قید داخلی مربوط به عدم چرخش کلی رئوس ($fd=1$) به‌عنوان قیود رفع نقص در تعریف سیستم مختصات ضروری بوده که بطور خودکار به معادلات قید اضافه می شود. در ادامه معرفی نمادهای رابطهٔ (۸)، $F_C(\vec{\Delta})$ برداری حاوی تمامی معادلات قید اولیه بوده که $\sum_{i=1}^{k} t_i$ درایه از آن مربوط به طول‌های معلوم پیرامونی از قطعات ثبتی، k درایه از آن به قیود مربوط به مساحت‌های معلوم قطعات ثبتی (این مقدار حداکثر تعداد قیود مرتبط با مساحت ثبتی بوده و در برنامه کاربردی امکان نبود چنین قیدی برای هر یک از قطعات ثبتی بطور تعاملی وجود خواهد داشت)، $n\Sigma l$ تعداد قیود مربوط به حدود متشکل از مجموع چند ضلع (در صورت وجود)، N_{CL} معادله قید مربوط به مجموعه نقاط هم‌خط و سایر معادلات آن مربوط به قیود تحمیل شده برای نقاط و امتدادهای ثابت هستند. $[C]_{N.2n}$ نیز ماتریس ژاکوبین بردار F_C نسبت به مجهولات بوده که درایه‌های آن مشتق معادلات قید نسبت به مجهولات هستند. لازم به ذکر است که در برنامه کاربردی توسعه‌یافته و حسب اختیار کاربر متخصص، امکان کاهش تعداد طول‌های معلوم در نقشهٔ اولیه از قطعه/قطعات ثبتی وجود داشته و چنین طول هایی امکان اصلاح در فرایند تخمین کمترین مربعات را برخوردار خواهند بود.

مطابق با الگوی تخمین کمترین مربعات مقید، پس از مقداردهی بردار های F_l، F_C و ماتریس های B و C از طریق مقادیر تقریبی مجهولات (Δ_0)، بردار تصحیح مقادیر مجهولات (δ) به کمک رابطه (۱۲) قابل برآورد خواهد بود. لازم به ذکر است که مقادیر اولیه بردار مجهولات از طریق مختصات رئوس قطعات ثبتی در ترسیمات اولیه در دسترس هستند. فرایند تکراری اصلاح مقادیر اولیه مجهولات تا زمان رسیدن به شرط $||\delta||<\varepsilon$ ادامه می‌یابد. ε یک عدد کوچک و مثبت مانند 10^{-6} است. بدیهی است که اعمال اصلاح مختصات رئوس قطعات ثبتی در بازه 10^{-6} متر بی‌معنا خواهد بود.

رابطه(۱۲)
$$\begin{bmatrix}\vec{\delta}\\ \vec{\lambda}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\boldsymbol{B}(\Delta_0)^T\boldsymbol{B}(\Delta_0) & -\boldsymbol{C}^*(\Delta_0)^T\\ \boldsymbol{C}^*(\Delta_0) & \boldsymbol{0}\end{bmatrix}^{-1}\times\begin{bmatrix}\boldsymbol{B}(\Delta_0)^T(\vec{L}-F_l(\Delta_0))\\ \overrightarrow{g^*}-F_C^*(\Delta_0)\end{bmatrix}$$

در رابطه (۱۲)، λ بردار ضرایب لاگرانژ مربوط به کمینه‌سازی مقید تابع هدف در روند تخمین کمترین مربعات است. وجود ارتباط خطی در سطرهای ماتریس C منجر به کاهش رتبهٔ این ماتریس نسبت به مقدار N_C می‌گردد [۲۲]. در این شرایط، دستگاه معادلات ارائه شده در رابطهٔ (۱۲) دچار تکینگی شده و امکان تخمین تصحیح مجهولات وجود نخواهد داشت. بکارگیری قیود وابسته باعث بروز همبستگی خطی در سطرهای ماتریس C می‌شوند. تعریف قیود تکراری و یا قیود افزونه فاقد ضرورت (به‌عنوان مثال تعیین قید فاصله معلوم بهمراه قیود مربوط به تثبیت مکان نقاط واقع در دوسوی طول معلوم) نمونه‌هایی از قیود وابسته محسوب می‌شوند. از طرفی، تعریف برخی از قیود بواسطه شرایط هندسی حاکم بر نقشهٔ قطعات ثبتی نیز بروز ارتباط خطی در سطرهای ماتریس C را به دنبال خواهند داشت. شناسایی قیود مستقل و حذف قیود وابسته یکی از اقدامات اجرایی در روش پیشنهادی بوده که در آن سطرهای دارای ارتباط خطی از ماتریس C در هر تکرار از فرایند برآورد تصحیح پارامترهای مجهول، شناسایی و سطرهای اضافی (تکراری یا همبسته خطی) حذف می‌گردند. در این تحقیق، شناسایی سطرهای همبسته در ماتریس C از طریق اجرای عملیات سطری مقدماتی

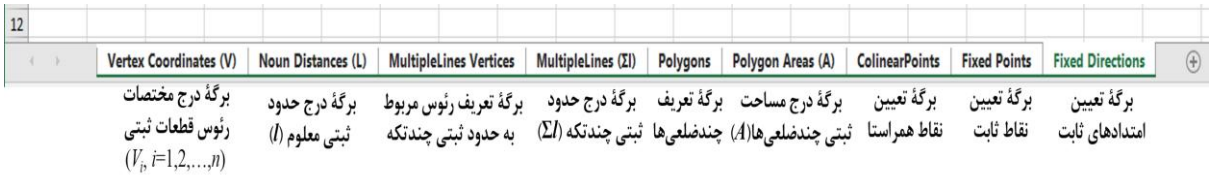
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

صورت پذیرفته است [۲۲]. اما با توجه به احتمال مستطیلی بودن ماتریس C، سطرهای همبسته این ماتریس از طریق عملیات سطری مقدماتی در ماتریس $C\times C^T$شناسایی و سطرهای تکراری متناظر آنها در ماتریس C حذف می‌شوند. لازم به ذکر است که رتبه ماتریس $C\times C^T$ با ماتریس C برابر است. در این روند، سطرهایی از ماتریس $C\times C^T$ که پس از عملیات سطری مقدماتی دارای درایه صفر در قطر اصلی شوند به‌عنوان سطرهای همبسته شناخته شده و سطر متناظر آنها در ماتریس C به‌عنوان سطرهای تکراری شناسایی می‌شوند. از این رو در رابطه (۱۱)، ماتریس C^* و بردارهای g^* و F_C^*، ماتریس C و برداهای g و F_C پس از حذف سطرهای تکراری هستند.

همگرایی دستگاه معادلات ارائه شده در رابطهٔ (۱۲) صرفاً در شرایط ممکن بودن قیود هندسی تحمیل شده، محقق می‌گردد. در صورت همگرایی دستگاه معادلات، حدود و مساحت‌های ثبتی برای چندضلعی‌ها حفظ شده، تداخلی بین قطعات ثبتی رخ نداده و سایر محدودیت‌های اعمال شده در شرایط کمترین اصلاح ممکن به مختصات اولیه رئوس قطعات ثبتی تأمین خواهند شد. روش پیشنهادی در مورد قطعات ثبتی منفرد، بلوک‌های حاوی قطعات ثبتی بهم‌متصل و یا در شرایط وجود جدایی میان قطعات ثبتی قابل استفاده است.

۳- تشریح نحوهٔ عملکرد نرم‌افزار توسعه یافته

در این تحقیق، روش ارائه شده در بخش (۲) به صورت یک برنامه کاربردی تعاملی در محیط نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی شده است. ورودی این برنامه کاربردی می‌تواند به دو شکل فایل اکسل و یا یک فایل ترسیم بُرداری با قالب *dxf*[1] تأمین گردد. فایل اکسل می‌بایست حداقل از هفت برگه مجزا تشکیل شده که در هر برگه مطابق با شکل (۲) مقادیر ورودی با قالبی مشخص درج می شوند. نحوهٔ نامگذاری برگه‌ها اختیاری است.



شکل۲: برگه‌های ضروری در فایل اکسل به‌عنوان ورودی برنامه کاربردی

در برگهٔ حاوی مختصات رئوس قطعات ثبتی، مختصات هر رأس (X, Y) بصورت یک سطر (دو ستون) ثبت می‌شود. تعداد سطرهای این برگه با تعداد کل رئوس قطعات ثبتی (بدون تکرار) برابر خواهد بود. در برگهٔ حاوی حدود ثبتی، هر طول معلوم به‌صورت یک سطر (سه ستون) به ترتیب شامل شماره رئوس متصل کننده و طول معلوم آن ثبت می‌شود. تعداد سطر های مقداردهی شده در این برگه مبین تعداد طول های معلوم خواهد بود. در صورت وجود حدود ثبتی چندتکه، شماره رئوس هر حد در برگه تعریف رئوس چندتکه درج می‌شود. هر سطر این این برگه مبین یک حد چند تکه بوده که تعداد ستون‌های آن متناسب با تعداد رئوس سازنده آن حد خواهد بود. در برگهٔ درج حدود ثبتی چندتکه نیز، مقادیر عددی حدود چندتکه (مجموع طول اضلاع $-\ \Sigma l$) ثبت می‌گردد. هر سطر از این برگه با همان سطر در برگه تعریف رئوس چندتکه مرتبط خواهد بود. در برگهٔ تعریف چندضلعی‌ها، شماره رئوس هر قطعه ثبتی (بدون درج رأس تکراری) به‌صورت یک سطر درج می شود. اتصال ترتیبی رئوس مشخص شده در هر سطر، شکل چند ضلعی را (بدون ترسیم

[1] *Format*

[2] *Data Exchange Format*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

آخرین ضلع) نشان می‌دهد. تعداد سطرهای این برگه تعداد قطعات ثبتی موجود در روند پالایش مختصات رئوس را نشان می‌دهد. در برگهٔ نقاط هم‌راستا نیز، شماره رئوس این نقاط مشخص می شود. شماره رئوس هر یک از مجموعه نقاط هم‌راستا به‌صورت یک سطر در این برگه درج می‌شوند. لزومی بر برابری تعداد نقاط هم‌راستا در مجموعه‌های مختلف وجود ندارد. تعداد سطرهای پر شده در این برگه مشخص‌کننده تعداد قیود مرتبط با هم‌راستایی هستند. در برگهٔ نقاط ثابت، شماره رئوس انتخاب شده به‌عنوان موقعیت‌های ثابت به‌صورت ستونی مشخص می‌شوند. خالی بودن این برگه منجر به بکارگیری قیود داخلی مربوط به تثبیت مرکز ثقل رئوس قطعات ثبتی می‌گردد. در برگهٔ امتدادهای ثابت نیز شماره رئوس هر امتداد ثابت به صورت یک سطر حاوی دو ستون مشخص می شود. خالی ماندن این برگه نیز در صورت عدم تعیین حداقل دو نقطه ثابت، منجر به بکارگیری قید داخلی عدم چرخش کلی رئوس قطعات ثبتی می‌گردد. تعداد سطرهای برگه‌های نقاط و امتدادهای ثابت مبین تعداد این قیود هستند.

شکل دیگر معرفی مقادیر ورودی در برنامه کاربردی از طریق ترسیمات بُرداری در محیط اتوکد و در قالب یک فایل *dxf* ممکن خواهد بود. این فضا قابلیت تعاملی بهتری را با کاربر ایجاد کرده و امکان استفاده مستقیم از ترسیمات اولیه را فراهم می‌آورد. در آماده سازی فایل بُرداری، رعایت نکاتی ضروری بوده که در ادامه تشریح شده‌اند. هر قطعه ثبتی در ترسیمات برداری به شکل یک چند ضلعی بسته از جنس پُلی‌لاین[1] (خط چندتکه) ترسیم می‌گردد. طول‌های ثبتی در هر چندضلعی در نزدیکی ضلع متناظر و داخل چندضلعی از طریق ابزار نوشتاری ثبت می‌شوند. مساحت ثبتی هر چندضلعی در داخل آن از طریق ابزار نوشتاری درج می‌شود. فرمت درج مساحت ثبتی با پیشوند $S=$ است (به‌عنوان مثال $S=1132.18$). نقاط واقع در هر قید هم‌راستایی از طریق پُلی‌لاین باز ترسیم می‌شوند. حدود متشکل از چند ضلع (در صورت وجود) نیز بصورت پُلی‌لاین ترسیم می‌شوند. برای جداسازی این قیود از قیود هم‌خطی، حدود چند تکه در لایه جداگانه ترسیم شده و در هنگام فراخوانی فایل *dxf* نام لایه مربوط به این قیود به برنامه کاربردی معرفی می‌شود. طول مربوط به حدود چندتکه نیز در لایه ترسیم آن در مجاورت یکی از اضلاع درج می‌شود.

به مرکزیت هر نقطه معلوم یک دایره ترسیم شده و امتدادهای معلوم با لاین[2] (خط ساده) ترسیم می شوند. نقاط معلوم می‌توانند خارج از رئوس قطعات ثبتی نیز تعیین گردند. عدم تعیین نقطه ثابت به معنای بکارگیری قیود داخلی مربوط به حفظ مرکز ثقل رئوس قطعات ثبتی پس از پالایش بوده و عدم تعیین امتدادهای معلوم در صورت نبود حداقل دو نقطهٔ ثابت منجر به بکارگیری قید داخلی عدم چرخش شکل می‌گردد. وجود نوشتار خارج از چند ضلعی و یا خطوط غیرمتصل به رئوس، توسط نرم‌افزار خوانده نخواهند شد. شکل (۳) مثالی از یک ترسیم بُرداری از قطعات ثبتی جهت معرفی به برنامه کاربردی را نشان می‌دهد.

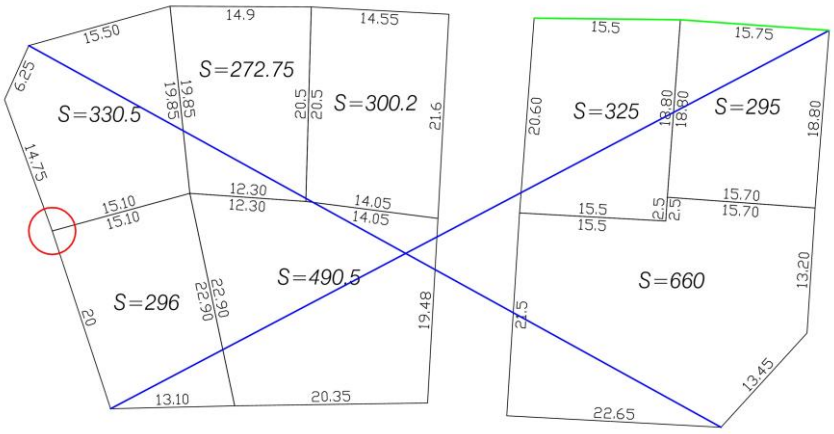
در شکل (۳)، ترسیمات اولیه از هشت قطعه ثبتی را در قالب دو بلوک غیرمتصل نشان داده که مساحت و حدود ثبتی قطعات در داخل هر قطعه مطابق با الگوی قابل خوانش در برنامه کاربردی درج شده‌اند. در این ترسیم، یک قید هم‌راستایی با مشارکت سه نقطه (پُلی‌لاین سبزرنگ)، یک نقطه ثابت (دایره سرخ رنگ) و دو امتداد ثابت (خطوط سادهٔ آبی رنگ) وجود دارد. لازم به ذکر است که علیرغم درج دوگانه فاصله ثبتی در اضلاع مشترک قطعات ثبتی شکل (۳)، الزامی به آن وجود نداشته و درج طول در اضلاع مشترک صرفاً در یکی از چندضلعی ها کافی خواهد بود. با اینحال رویکرد شناسایی قیود تکراری در هنگام تشکیل دستگاه معادلات قادر خواهد بود که این موارد را شناسایی و بطور خودکار حذف نماید.

[1] *Polyline*

[2] *Line*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]



شکل ۳: نمونه‌ای از ترسیمات بُرداری قابل خوانش در برنامه کاربردی

با انتخاب دادهٔ ورودی به یکی از دو طریق فایل اکسل یا *dxf* و اجرای برنامه کاربردی، یک شیپ‌فایل از جنس پلی‌گون[1] و یک فایل *dxf* به‌عنوان خروجی تولید می‌گردد. در فایل *dxf*، ترسیمات پالایش شده (در صورت موفقیت روند پالایش) ارائه شده و در شیپ‌فایل خروجی، به تعداد حداکثر دو برابر قطعات ثبتی معرفی شده در داده‌های ورودی، چندضلعی بسته تولید خواهد شد. بعبارت بهتر، هر چندضلعی از قطعات ثبتی معرفی شده در داده‌های ورودی یکبار به‌صورت همزمان با سایر چندضلعی‌ها و مطابق با شرایط حاکم در داده‌های ورودی مورد پالایش قرار گرفته و یکبار نیز به‌صورت منفرد و صرفاً با اعمال قیود مساحت و حدود ثبتی و همچنین قیود داخلی پالایش می‌گردد. نتایج موفقیت آمیز هر کدام در شیپ‌فایل خروجی به‌صورت یک پلی‌گون مجزا با مشخصه‌های توصیفی متمایز ثبت می‌گردد. از این رو، در صورت موفقیت آمیز بودن فرآیند پالایش در این دو مرحله، دو پلی‌گون به ازای هر قطعه ثبتی وجود خواهد داشت. عدم موفقیت در هر مرحله نیز منجر به نبود پلی‌گون مرتبط با آن مرحله در شیپ‌فایل خروجی خواهد شد. بدیهی است که در صورت استفاده از نتایج پالایش منفرد قطعات ثبتی، الزامی بر عدم تداخل قطعات ثبتی وجود نداشته و صرفاً شکل هر قطعه با هدف تطبیق یافتن با حدود و مساحت ثبتی اصلاح می‌گردد. نتایج مربوط به پالایش منفرد قطعات ثبتی در کشف اشتباهات احتمالی مفید خواهد بود. در صورتیکه پالایش یک قطعه ثبتی به‌صورت منفرد موفقیت‌آمیز نباشد؛ امکان بازیابی آن قطعه با حدود و مساحت ثبتی از نظر هندسی وجود نخواهد داشت. از این رو، رصد نتایج پالایش منفرد قطعات ثبتی می‌تواند در کشف علل عدم موفقیت احتمالی در روند پالایش همزمان قطعات ثبتی کارساز باشد. توسعه برنامه کاربردی تعاملی با این هدف به اجرا رسیده که اساساً تنوع بالایی از عوامل و قیود متفاوت در روند پالایش نقشه‌های ثبتی وجود داشته که انتخاب آنها به فراخور هر مساله متفاوت است. از این رو، توسعه یک الگوریتم واحد بمنظور اجرای فرایندهای پالایشی امکانپذیر نبوده و تعامل عامل خبره در اجرای فرایندهای پالایشی ضروری خواهد بود.

۴- آزمون‌ها و نتایج

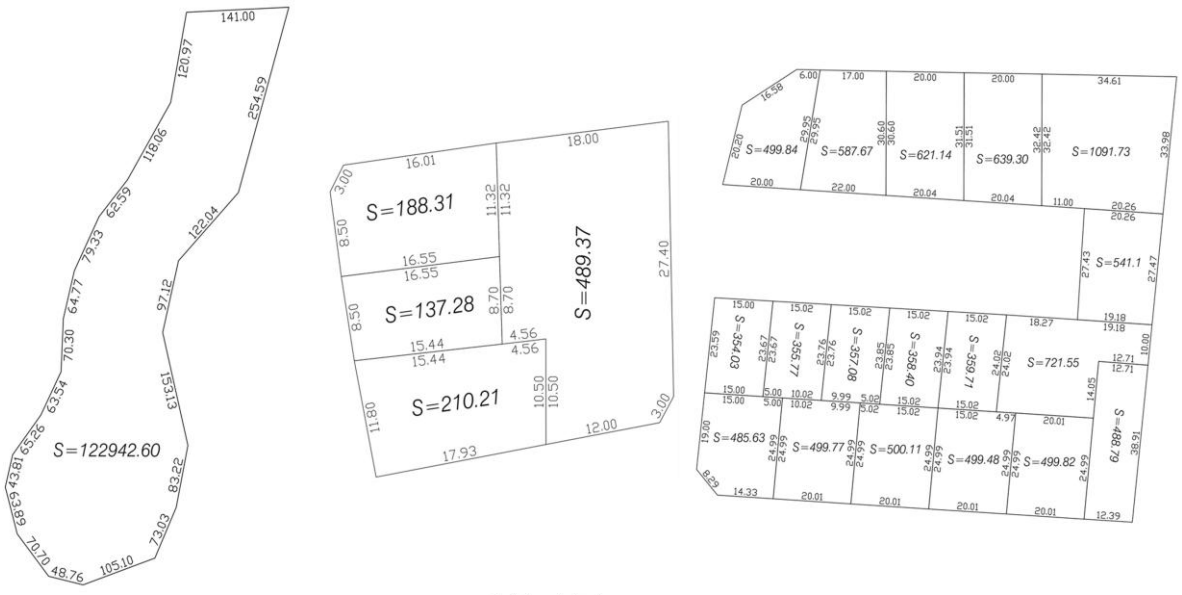
در این بخش، عملکرد روش پیشنهادی در شرایط مختلفی مورد آزمون قرار گرفته و نتایج آن گزارش شده است. از نظر تئوری صرفاً یک چهارضلعی با معلوم بودن حدود و مساحت آن (صرفنظر از درجهٔ آزادی ناشی از تعریف سیستم‌مختصات) یکتا خواهد بود. از این رو،

[1] *Polygon*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

پالایش رئوس یک چندضلعی (با بیش از ۴ ضلع) با هدف تطبیق آن با حدود و مساحت ثبتی عموماً پاسخ یکتایی ندارد. درجه آزادی فضای پاسخ‌های محتمل نیز با افزایش تعداد رئوس چندضلعی بزرگتر خواهد شد. به همین دلیل، به نظر می‌رسد که نتایج پالایش دستی دو کاربر متخصص متناسب با تجربه و عملکرد متفاوت باشد. روش پیشنهادی در این تحقیق نیز متناسب با محدودیت‌های معرفی شده در روند پالایش رئوس قطعات ثبتی، پاسخی را تولید ساخته که با حفظ قیود تحمیلی، مجموع مربعات باقیمانده‌ها (بردار r در رابطه(۱۰)) کمینه گردد. بدیهی است که تغییر در قیود تحمیلی به‌طور مستقیم بر مقادیر باقیمانده‌ها اثرگذار بوده و نتایج پالایش را متفاوت می‌سازد.

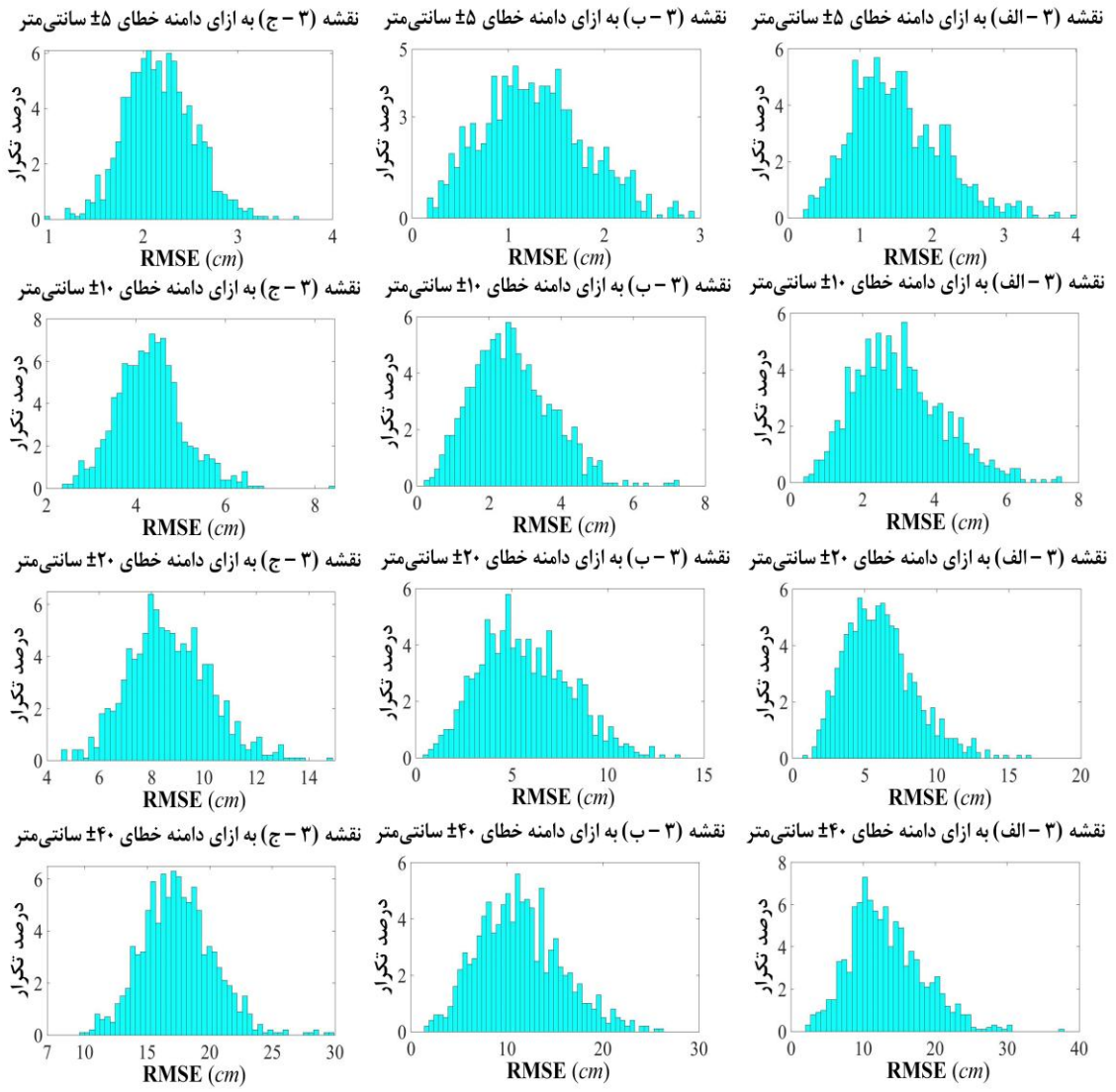
در اولین آزمون، از سه نقشه مربوط به قطعات ملکی (شکل (۴)) در شرایط وجود انطباق کامل حدود و مساحت‌های ثبتی با ترسیمات اولیه استفاده شده است. هدف از این آزمون، بررسی عملکرد روش پیشنهادی در بازیابی شکل صحیح قطعات ثبتی، هنگام وجود عدم انطباق در ترسیمات اولیه با حدود و مساحت‌های ثبتی بوده است. در این آزمون به مختصات اولیه رئوس قطعات ثبتی با فرض چهار رویکرد: ۱- اندازه‌گیری توسط سامانه‌های تعیین موقعیت جهانی (با دقت تقریبی ۵± سانتی‌متر)، ۲- بدست آمده از نقشه با مقیاس ۱:۵۰۰ (با دقت تقریبی ۱۰± سانتی‌متر)، ۳- بدست آمده از نقشه با مقیاس ۱:۱۰۰۰ (با دقت تقریبی ۲۰± سانتی‌متر) و ۴- بدست آمده از نقشه با مقیاس ۱:۲۰۰۰ (با دقت تقریبی ۴۰± سانتی‌متر)، خطای اتفاقی اعمال شده است. برای هر رویکرد، یک جامعه آماری هزار عضوی تولید شده و نتایج پالایش رئوس خطادار با شکل صحیح قطعات ثبتی مقایسه شده است. در این آزمون صرفاً از قیود داخلی تعریف سیستم‌مختصات (روابط(۸) و (۹)) استفاده شده و قبل از مقایسه شکل بازیابی شده با شکل صحیح، از یک تبدیل متشابه (دوران و انتقال) جهت انطباق مختصات پالایش شده رئوس قطعات ثبتی به مختصات صحیح رئوس استفاده شده است. هیستوگرام‌های مربوط به ریشه میانگین مربعات خطاها (*RMSE*) بدست آمده از رویکردهای چهارگانه اعمال خطای اتفاقی به مختصات اولیه رئوس قطعات ثبتی در شکل (۵) ارائه شده است.



الف) نقشه کاداستر یک　　ب) نقشه کاداستر دو　　ج) نقشه کاداستر سه

شکل۴: نقشه‌های ثبتی صحیح مورد استفاده در آزمون اول

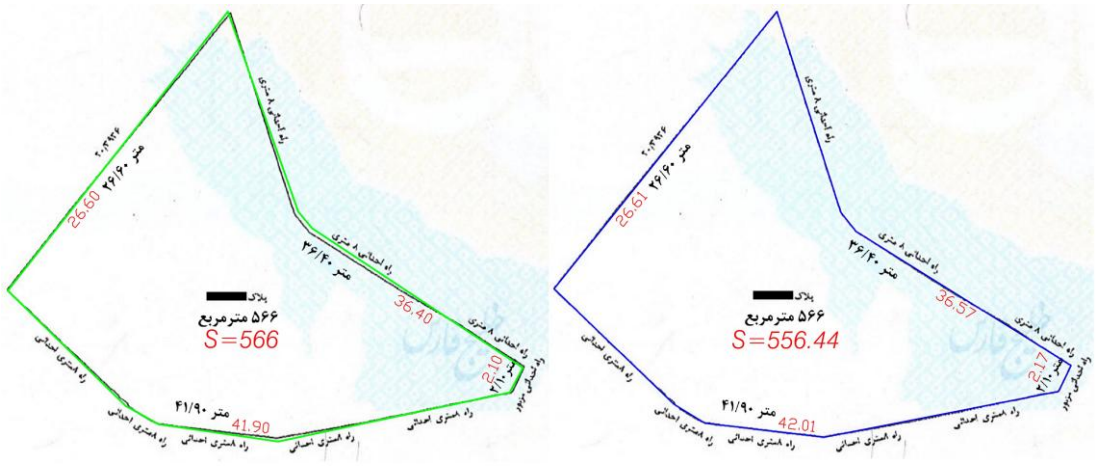
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]



شکل۵: هیستوگرام مربوط به *RMSE* بازیابی شکل نقشه‌های ثبتی در زمان وجود عدم‌قطعیت در ترسیمات اولیه

مطابق با نتایج ارائه شده در شکل (۵)، عموماً بازیابی شکل نقشه‌های ثبتی در تمامی آزمون‌ها با دقتی تا دو برابر بهتر از دقت ترسیمات اولیه صورت گرفته است. ناگفته نماند که در تمامی آزمون‌های صورت گرفته، قیود مربوط به حفظ حدود، مساحت‌های ثبتی و همچنین عدم وجود تداخل میان قطعات ثبتی تأمین شده است. بر این اساس، به نظر می‌رسد پالایش و جانمایی نقشه‌های ثبتی در نقشه‌های اولیه خللی در شکل آنها متناسب با دقت ترسیمات اولیه ایجاد نمی‌سازد. از سوی دیگر، نتایج مورد اشاره صرف‌نظر از وسعت و تعداد قطعات ثبتی موجود در نقشه‌ها به‌دست آمده که تعمیم‌پذیری نتایج از آن قابل استنباط خواهد بود. در دومین آزمون، تصویر نقشه کاداستر ارائه شده در شکل (۱) مندرج در یک سند مالکیت تک‌برگی رقومی‌سازی شده و با در نظر گرفتن قیود مربوط به حدود چندتکه مورد پالایش قرار گرفته است. ترسیمات اولیه و نتیجه پالایش این نقشه شکل (۶) ارائه شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]



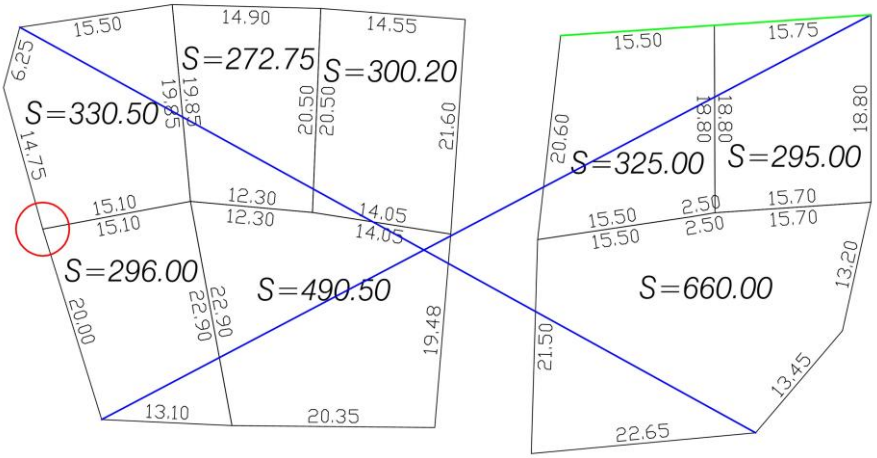
الف) ترسیمات بُرداری اولیه (رقومی سازی)

ب) نتیجه پالایش

شکل۶: نتیجه قبل و بعد از پالایش روند رقومی‌سازی یک قطعه ثبتی متشکل از حدود چندتکه

مطابق با شکل (۶)، اختلاف مساحت در فرایند رقومی‌سازی نزدیک به ده مترمربع بوده و حدود اولیه نیز تا ۱۷ سانتی‌متر با حدود ثبتی اختلاف داشته است. نتیجه پالایش (با قیود داخلی) منجر به تامین حدود و مساحت‌های ثبتی شده است. لازم به ذکر است که در ترسمات اولیه، مقیاس تصویر نقشه از طریق حد غربی (۲۶٫۶۰ متر) اعمال شده است. حدود و مساحت مندرج در ترسیمات بُرداری این شکل مقادیر صحیح واقعی هستند.

در سومین آزمون طراحی شده، عملکرد قید مربوط به هم‌راستایی در قالب دو مثال اجرا و نتایج آن ارائه شده است. در این آزمون تلاش شده تا با ارائه مثالی از شرایط ناممکن هندسی در روند پالایش ترسیمات اولیه از قطعات ثبتی، آشنایی بهتری از نمونه‌ای از این شرایط برای خواننده ایجاد گردد. در شکل (۳)، یک مثال از وجود قیدهای هم‌راستایی در کنار دو قید تثبیت نقاط و امتدادها نمایش یافته است. نتیجه پالایش رئوس این شکل در شکل (۷) ارائه شده است.



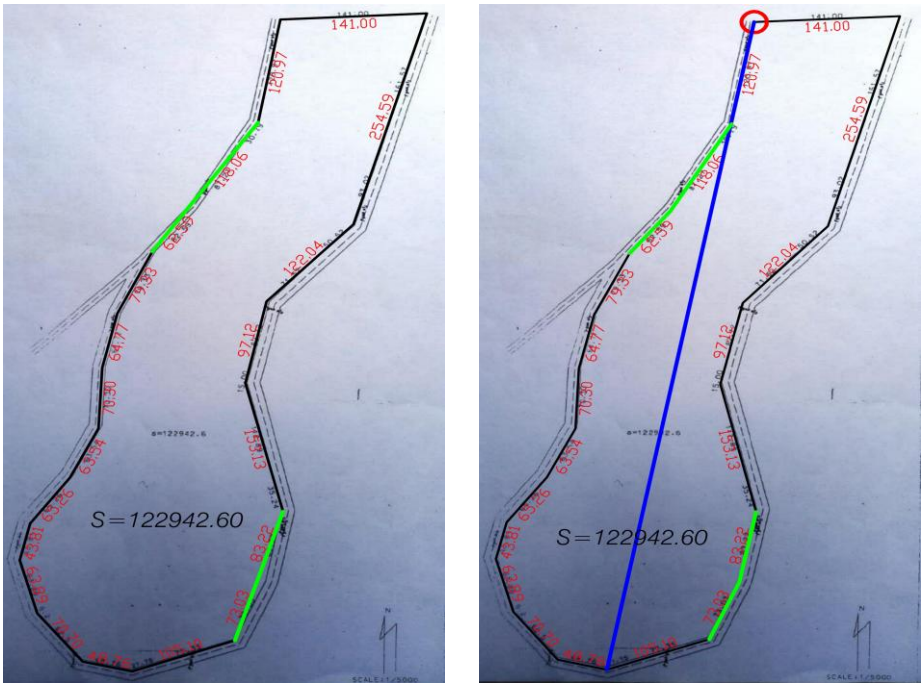
شکل۷: نتیجه پالایش نقشه ثبتی ارائه شده در شکل(۳)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

تأمین قید هم‌راستایی ترسیم شده با رنگ سبز در شکل(۳) در نتیجه پالایش آن در شکل(۷) مشهود است. در این پالایش، علاوه بر قید هم‌راستایی، دو قید تثبیت امتداد و یک نقطه ثابت نیز وجود داشته است. علیرغم تأمین کامل انتظارات از روش پیشنهادی شامل حفظ حدود و مساحت های ثبتی و همچنین عدم تداخل در قطعات ثبتی، جهت‌گیری حد ۲/۵ متری مربوط به قطعه با مساحت ۳۲۵ مترمربع انحراف زیادی را با ترسیمات اولیه تجربه کرده است. لازم به ذکر است که تحمیل هم‌زمان یک قید هم‌راستایی دیگر در این مساله به‌منظور جلوگیری از انحرف نقاط واقع در حد شرقی این قطعه ثبتی منجر به همگرایی دستگاه معادلات نمی‌گردد. این موضوع نیز موید ضرورت امکان‌پذیر بودن قیود هندسی تحمیل شده به روند پالایش قطعات ثبتی است. برنامه کاربردی توسعه‌یافته در این شرایط نقشه‌های اولیه را بدون تغییر و با هشدار عدم امکانپذیری قیود تحمیلی به کاربر باز می‌گرداند. بدیهی است که عدم موفقیت در پالایش نقشه‌های ثبتی اولیه بر اساس قیود تحمیلی نشانهٔ ناکارآمدی روش پیشنهادی نیست. به عبارت بهتر، پالایش هندسی نقشه‌های ثبتی با هدف ایجاد تطابق با مستندات مندرج در اسناد مالکیتی از طریق تغییر موقعیت رئوس قطعات ثبتی صورت می‌پذیرد. در صورتیکه نتایج یک پالایش بر اساس حدود و مساحت ثبتی و یا اعمال قیود به آن منجر به همگرایی دستگاه معادلات تشکیل شده در رابطه(۱۱) نگردد؛ نشانه‌ای از امکانپذیر نبودن قیود تحمیلی به لحاظ هندسی است. اساساً در این شرایط، تامین قیود تحمیلی با روش‌های دیگر نیز ممکن نخواهد بود.

یک مثال دیگر از عملکرد قید هم‌خطی را می‌توان در شکل (۸) مشاهده نمود. در این مثال، از نتیجه رقومی سازی تصویر نقشه ثبتی مربوط به شکل (۴-ج) استفاده شده که مقیاس آن ۱:۵۰۰۰ بوده است. رئوس متصل شده با خطوط سبزرنگ، مکان‌های واقع در قیود هم‌خطی بوده و خط آبی و دایره قرمز نیز امتداد و نقطهٔ ثابت در ترسیمات اولیه هستند.



الف) ترسیمات اولیه در محیط اتوکد ب) نتیجه پالایش مختصات رئوس با اعمال قیود

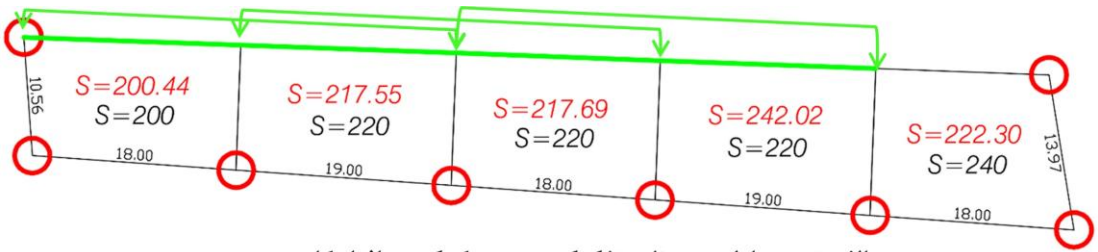
شکل۸: نتیجه بکارگیری قیود هم‌خطی در نتایج پالایش مختصات رئوس یک قطعه ثبتی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

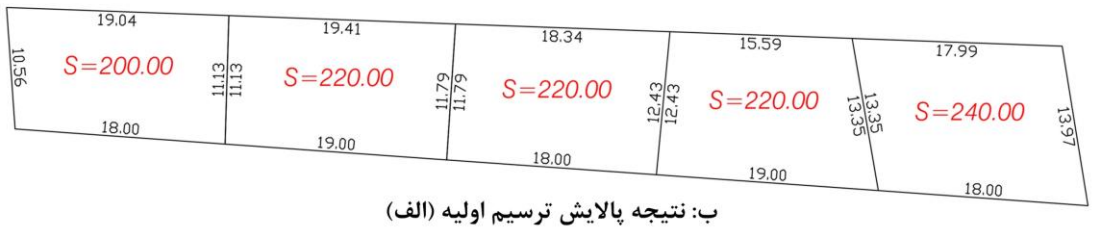
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

مطابق با شکل (۸)، دو قید هم‌خطی اعمال شده به روند پالایش مختصات رئوس توانسته ضمن حفظ سایر قیود تحمیلی و تأمین انطباق مناسب با تصویر نقشه، شرایط مورد انتظار را در موقعیت‌های هم‌خطی ایجاد سازد. یک کاربرد اجرایی برای این مثال را می‌توان در اصلاح هندسی راه‌های مجاور یک قطعه زمین با حفظ حدود و مساحت‌های ثبتی قانونی در نظر گرفت. لازم به ذکر است که حدود و مساحت‌های مندرج در شکل (۸-الف) مقادیر ثبتی (دارای عدم انطباق با ترسیمات اولیه بُرداری) بوده و در شکل (۶-ب) این مقادیر از ترسیمات استخراج شده‌اند.

از دیگر کاربردهای فرعی نرم‌افزار توسعه یافته، امکان اجرای فرایندهای مربوط به تفکیک یا افراز زمین است. به‌عنوان مثال در شکل (۹-الف) ترسیم اولیه‌ای از تفکیک یک زمین به مساحت ۱۱۰۰ مترمربع به ۵ قطعه را نشان داده که مساحت مورد انتظار از قطعات تفکیکی معلوم و موقعیت برخی از رئوس آن تثبیت شده است. مطابق با این شکل، سه رأس از قطعات شرقی و غربی و دو رأس از قطعات میانی به‌عنوان موقعیت‌های ثابت معرفی شده و موقعیت چهار رأس با حفظ هم‌راستا بودن به‌عنوان موقعیت‌های نیازمند پالایش انتخاب شده‌اند. در این شکل، مساحت قطعات در ترسیمات اولیه و مساحت مورد انتظار به‌ترتیب با دو رنگ قرمز و سیاه نمایش یافته است. لازم به یادآوری است که در روند معرفی داده‌های ورودی برای پالایش در نرم‌افزار کاربردی، مساحت‌های مربوط به ترسیمات اولیه حذف می‌گردند. نتیجه پالایش در شکل (۹-ب) ارائه شده است.



الف: ترسیم اولیه به‌منظور تفکیک زمین به کمک نرم‌افزار کاربردی



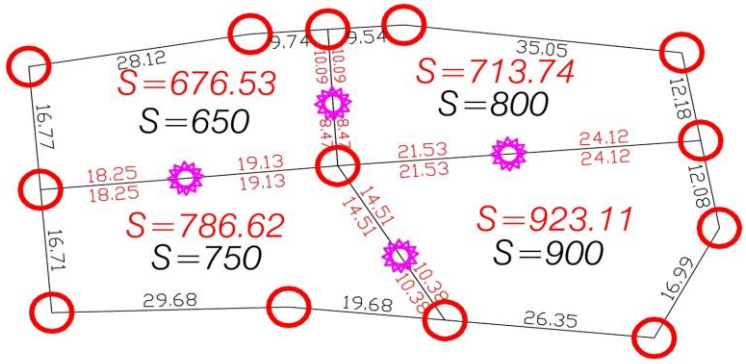
ب: نتیجه پالایش ترسیم اولیه (الف)

شکل۹: مثالی از کاربرد نرم‌افزار توسعه یافته در پالایش ترسیمات بُرداری اولیه به منظور تفکیک یک قطعه زمین

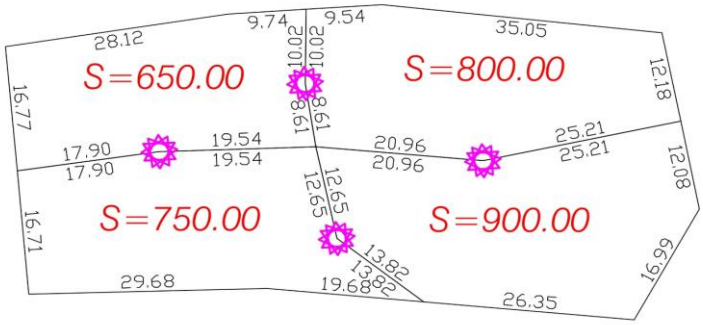
در شکل (۹-الف) مشابه با اشکال قبلی، نقاط ثابت با دایره قرمز و نقاط هم‌خط با خط سبز ترسیم شده‌اند. لازم به ذکر است که بکارگیری چهار امتداد ثابت برای رئوس مجهول نیز نتایج مشابهی با قید هم‌راستایی بدنبال خواهد داشت. در این شکل از سه قید هم‌راستایی جهت ایجاد تعدد در قیود استفاده شده که با پیکان‌های متصل در این شکل نمایش یافته‌اند. هر قید هم‌راستایی (خطوط سبزرنگ) با اتصال سه نقطه از طریق یک *polyline* ایجاد شده که هر دو قید متوالی در دو نقطه مشترک هستند. بر این اساس، در این شکل ۱۲۰ = ۱۰×۱۲ مشاهده، ۱۶ = ۸ ×۲ قید تثبیت مکان رئوس، ۵ قید تثبیت مساحت، ۷ قید فاصله معلوم و ۳ قید هم‌راستایی وجود دارد. لازم به ذکر است که در روند پالایش این ترسیمات، ۷ قید هم‌بسته شناسایی که

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

مطابق با الگوی خودکار توسعه یافته در شناسایی قیود هم‌بسته از ماتریس قیود حذف شده‌اند. قیود حذف شده مربوط به یکی از مولفه‌های مختصاتی رئوس ثابت به غیر از یک نقطه بودند. بدیهی است که در صورت مشخص بودن فاصله دو نقطه و معلوم بودن مختصات یکی از آنها، موقعیت نقطه دوم با معلوم بودن یکی از مولفه‌های مختصاتی آن تثبیت خواهد شد. نتایج پالایش نیز نشان از موفقیت روش در شناسایی صحیح موقعیت رئوس مجهول جهت تفکیک زمین به مساحت‌های دلخواه و قیود تحمیلی است. این مثال نشان داد که برنامه کاربردی توسعه یافته امکان ایجاد تنوع در بکارگیری قیود را برای کاربر فراهم ساخته و کاربر می‌تواند متناسب با نیاز، قیود تحمیلی را تنظیم و طراحی نماید. باید توجه داشت که ابزارهای موجود در نرم‌افزارهای تجاری مانند *CIVIL 3D* نیز امکان انجام فرایند افراز ارائه شده در شکل (۹) را برخوردار هستند. از این رو در مثال بعدی و در شکل (۱۰) مثال دیگری از فرایند تفکیک قطعات ثبتی با برنامه کاربردی توسعه یافته ارائه شده که ابزارهای موجود در نرم‌افزارهای تجاری مرسوم امکان اجرای آنرا برخوردار نیستند. در شکل (۱۰-الف) ترسیمات اولیه از چهار قطعه ثبتی نمایش یافته است. در این ترسیمات نیز مشابه با شکل(۹-الف) مساحت هندسی هر قطعه با رنگ قرمز و مساحت مورد انتظار با رنگ سیاه نمایش یافته است. نقاط ثابت نیز با دایره‌های قرمز ترسیم شده و نقاط مشخص شده با ستاره‌های بنفش نیز رئوسی از قطعات ثبتی بوده که قصد اصلاح/پالایش موقعیت آنها با هدف تأمین مساحت‌های مورد انتظار وجود دارد. لازم به ذکر است که برای بکارگیری ترسیمات این شکل در برنامه کاربردی توسعه یافته، ستاره‌های ترسیم شده در رئوسِ نیازمند پالایش، حدود قطعات و مساحت‌های هندسی (قرمز رنگ) حذف شده‌اند. شکل (۱۰-ب) نیز نتیجه پالایش موقعیت رئوس مورد نظر بهمراه مساحت هندسی تأمین شده برای هر قطعه را نشان می‌دهد.



الف: ترسیم اولیه به‌منظور تفکیک زمین به کمک نرم‌افزار کاربردی



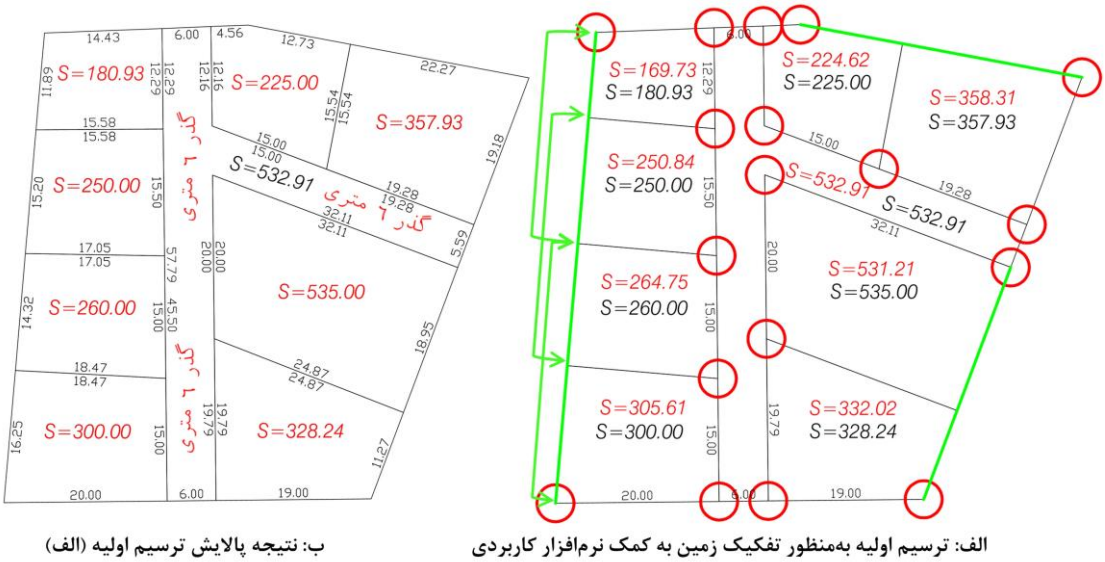
ب: نتیجه پالایش ترسیم اولیه (الف)

شکل۱۰: مثالی از کاربرد نرم‌افزار توسعه یافته در پالایش ترسیمات بُرداری اولیه به منظور تفکیک یک قطعه زمین با اصلاح موقعیت نقاط داخلی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

مطابق با شکل (۱۰-ب)، پالایش ترسیمات اولیه منجر به اصلاح موقعیت نقاط مجهول (ستاره‌های بنفش) با هدف تأمین مساحت‌های مورد انتظار شده که در این فرایند ضمن حفظ موقعیت رئوس، حدود و مساحت قطعه زمین اولیه، تداخلی نیز میان قطعات تفکیکی ایجاد نشده است. در آخرین آزمون مربوط به بررسی عملکرد روش پیشنهادی در قالب نرم‌افزار کاربردی مجدداً فرایند تفکیک یک قطعه زمین به مساحت ۲۹۷۰ مترمربع با در نظر گرفتن ضوابط مربوط به تأمین گذر و مساحت‌های مورد انتظار به اجرا رسیده است (شکل(۱۱)).



ب: نتیجه پالایش ترسیم اولیه (الف)　　الف: ترسیم اولیه به‌منظور تفکیک زمین به کمک نرم‌افزار کاربردی

شکل۱۱: مثالی از کاربرد نرم‌افزار توسعه یافته در پالایش ترسیمات بُرداری اولیه به منظور تفکیک یک قطعه زمین با در نظر گرفتن تأمین محدودیت‌های گذر

نمادهای ترسیم شده و روند بکارگیری ترسیمات اولیه در در شکل (۱۱) نیز مشابه با اشکال (۹) و (۱۰) بوده و نتیجه پالایش حاکی از موفقیت برنامه کاربردی در شناسایی موقعیت نقاط مجهول با در نظرگرفتن قیود تحمیلی است. با آزمون‌های صورت گرفته به نظر می‌رسد که روش پیشنهادی و برنامه کاربردی توسعه یافته ضمن صحت در ایده از انعطاف کافی در تعامل با کاربر متخصص برخوردار بوده و می‌توان از آن در مسائل مشابه مورد استفاده نمود.

برنامه کاربردی توسعه یافته در این تحقیق، علیرغم توانایی مناسب در پالایش و ایجاد انطباق ترسیمات اولیه از قطعات ثبتی با مستندات ثبتی؛ نیازمند تعامل با یک کاربر خبره در تشخیص کارآمدی قیود تحمیلی است. به‌عبارت بهتر، بهره‌برداری از این برنامهٔ کاربردی نیازمند تخصص کافی در حوزه نقشه‌برداری، مفاهیم تعدیل و سرشکنی خطا و دانش به حوزه‌های کاداستر و امور ثبتی است. به همین دلیل، استفاده از این برنامه کاربردی برای کاربر غیرمتخصص چالش‌برانگیز خواهد بود. با این حال می‌توان با توسعه امکانات حمایتی هوشمند در هدایت کاربر جهت تعریف قیود صحیح و کشف اشتباهات در تعریف داده‌های ورودی، کارکرد عمومی‌تری از این برنامهٔ کاربردی ایجاد ساخت. بطور کلی، در هنگام استفاده از این برنامه کاربردی، کشف اشتباهات کاربر در معرفی قیود هنگام مواجهه با بلوک‌های حاوی قطعات ثبتی متعدد امری دشوار است. ضرورت آماده‌سازی ترسیمات اولیه مطابق با الگوی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

خوانش در برنامه کاربردی نیز یکی از اقدامات زمان‌بر در روند اجرای این برنامه کاربردی محسوب می شود. با اینحال، تا به حال یک برنامه کاربردی با ویژگی‌های مورد انتظار در این تحقیق توسعه نیافته و از این رو، ایجاد آن را می‌توان نقطهٔ آغازی در روند توسعه و تکامل این ایده لحاظ نمود.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش برای پالایش نقشه‌های ثبتی مبتنی بر تخمین کمترین مربعات مقید برای ایجاد انطباق با حدود و مساحت‌های قانونی با در نظر گرفتن قیود مکانی متنوع دیگر پیشنهاد شد. هرچند که ایده اولیه از راهکار پیشنهادی، ایجاد یک الگوریتم واحد جهت اجرا در تمامی مسائل مرتبط با پالایش نقشه‌های ثبتی بود؛ اما نتایج تجربی نشان داد که مساله پالایش نقشه های ثبتی به‌منظور ایجاد تطابق با الزامات و مستندات حقوقی فرایندی پیچیده بوده و نظارت عامل خبره در تعریف محدودیت‌ها ضروری است. از این رو، این روش در قالب یک برنامه کاربردی تعاملی توسعه یافت تا کاربر متخصص بتواند با تبعیت از الگوی آماده‌سازی داده‌های ورودی در آن، شرایط پالایش ترسیمات اولیه از قطعه/قطعات ثبتی را به اجرا رساند.

راهکار پیشنهادی می‌تواند در شرایط امکانپذیر بودن هندسی اعمال قیود تحمیلی به روند پالایش نقشه‌های اولیه از قطعات ثبتی، پالایش موقعیت رئوس قطعات ثبتی را جهت تطبیق قطعی با قیود تحمیلی به اجرا رساند. عموماً منابع اصلی عدم تطابق نقشه‌ها و ترسیمات بُرداری اولیه از قطعات ثبتی با مستندات قانونی به دلایلی مانند دقت رقومی‌سازی و تمایز در دقت روش‌های تهیه/بازیابی نقشه‌ها ایجاد شده که رویکرد پیشنهادی، ابزاری کارامد برای پالایش قطعات ثبتی در زمان وجود چنین عدم‌قطعیت‌هایی خواهد بود. بدیهی است که این رویکرد برای رفع سایر مشکلات هندسی موجود در نقشه‌های کاداستر مانند وجود تداخلات میان قطعات ثبتی منا سب نبوده و لازم ا ست که کاربر متخ صص ضمن آماده سازی داده‌های ورودی به برنامه کاربردی مطابق با الگوی تعریف شده در آن، از آماده بودن آنها از منظر سامانه‌های اطلاعات مکانی (*GIS Ready*) اطمینان حاصل نماید. در برنامه کاربردی و روش‌شناسی پیشنهادی، پالایش قطعات ثبتی با حدود قوس‌دار وجود نداشته که ایجاد شرایط پالایش این حدود در دستورکار توسعه آتی برنامه کاربردی قرار دارد. از سوی دیگر، این نرم‌افزار در وضعیت فعلی در محیط نرم‌افزار متلب توسعه یافته که در آزمون‌های صورت‌گرفته از آن، توان اصلاح نقشه‌های ثبتی در ابعاد و و سعت‌های پرکاربرد و مورد نیاز کار شنا سان ر سمی دادگستری و مهندسین نقشه‌برداری شاغل در امور تفکیک آ پارتمان در سازمان های نظام‌مهندسی ساختمان به اثبات ر سیده ا ست. با این‌حال تو سعه این نرم‌افزار به شکل یک افزونه در محیط های ترسیم بُرداری (*Autocad*) در د ستورکار ادامه این پژوهش قرار دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که بکارگیری روش‌های محا سباتی مبتنی بر تخمین کمترین مربعات مقید می‌تواند از اجرای فرایندهای پر درد سر، د ستی و تجربی پالایشی جلوگیری نموده و سرعت و دقت مناسبی را در پالایش نقشه‌های ثبتی با در نظرگرفتن الزامات قانونی به اجرا رساند.

قدردانی

این اثر تحت حمایت مادی بنیاد ملی علم ایران (*INSF*) برگرفته از طرح شماره « ۴۰۳۲۸۵۰ » انجام شده است.

مراجع

[1] *A. Doskocz, "About accuracy of analytical determination of areas for cadastre and other purposes. In Environmental Engineering", Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering. ICEE (Vol. 9, p. 1). Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property, 2014.*

[2] *M. Einali, A. A. Alesheikh and B. Atazadeh,*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

"Mapping registration boundaries in 3D using Building Information Modeling in the context of Iranian jurisdiction", Journal of Geomatic Science and Technology, Vol. 11(4), 119-130, 2022.

[3] M. KhoshboreshMasouleh and S. Sadeghian, "The implementation of 3D urban cadastre based on aerial imagery by the real estate management ability in Tehran Metropolis", Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), Vol. 27(107), 25-40, 2018.

[4] C. Femenia-Ribera, G. Mora-Navarro and L. J. S. Pérez, "Evaluating the use of old cadastral maps", Land Use Policy, Vol. 114(105984), 2022.

[5] K. Fradkin, and Y. Doytsher, "Establishing an urban digital cadastre: analytical reconstruction of parcel boundaries", Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 26(5), pp. 447-463, 2002.

[6] M. Tafakorain, Law of Registration of Properties. Iran: Negah Bineh, 1403.

[7] F. Raoufirad, and H. Davarzani, "Explaining the Role of Cadaster in Prevention of Registering Crimes", International Journal of Nations Research, Vol. 4(37), 71-93, 2019.

[8] M. Bajtala, L. Hudecová, and Š. Sokol, "The reliability of parcel area. Proceedings of the International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, Albena, Bulgaria, 17, 689-696, 2017.

[9] A. Karimi and A. Karimi, "The Effect of Real Estate Registration Documents on the Mental Health of Society", Journal of Toloo-e-behdasht, Vol. 20(6), 50-60, 2022.

[10] A. Rosca, I. Juca, O. Timbota, V. Belin, R. Bertici and M. Herbei, "Methods for digitalizing information from analogic support and creating GIS databases", Research Journal of Agricultural Science, Vol. 52(4), pp. 104-112, 2020.

[11] R. Golba, A. Pilarska, and R. Czaja, "The Concept of a Georeferential Spatial Database of Topographic–Historical Objects (GSDoT-HO): A Case Study of the Cadastral Map of Toruń (Poland)", ISPRS International Journal of Geo-Information. 2023; Vol. 12(2):26, 2023.

[12] B. Fetai, J. Tekavec, M. K. Fras and A. Lisec, "Inconsistencies in Cadastral Boundary Data—Digitisation and Maintenance", Land, Vol. 11(12), 2318, 2022.

[13] S. T. Domaas, "The reconstruction of past patterns of tilled fields from historical cadastral maps using GIS", Landscape research, Vol. 32(1), pp. 23-43, 2007.

[14] J. Mango, M. Wang, S. Mu, D. Zhang, J. Ngondo, R. Valerian-Peter, C. Claramunt and X. Li, "Transform paper-based cadastral data into digital systems using GIS and end-to-end deep learning techniques", International Journal of Geographical Information Science, Vol. 37(5), pp. 1099–1127, 2023.

[15] M. A. Brovelli, M. Minghini, R. Moreno-Sanchez, and R. Oliveira, "Free and open source software for geospatial applications (FOSS4G) to support Future Earth", International Journal of Digital Earth, Vol. 10(4), 386–404, 2017.

[16] R. Hong, J. Park, S. Jang, H. Shin, H. Kim and I. Song, "Development of a Parcel-Level Land Boundary Extraction Algorithm for Aerial Imagery of Regularly Arranged Agricultural Areas", Remote Sensing, Vol. 13(6):1167, 2021.

[17] S. Berk, and M. Ferlan, "Accurate area determination in the cadaster: case study of Slovenia", Cartography and Geographic Information Science, 45(1), 1–17, 2016.

[18] P. Hanus, "Correction of location of boundaries in cadastre modernization process", Geodesy and Cartography, 62(1), 51-65, 2013.

[19] A. Hazeghi Aghdam, H. Helali, and A. A. Alesheikh, "Making Digitization of Land Parcels Precise by Preserving Area and Dimensions". Iranian Journal of Remote

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

Sensing & GIS, 10(2), 33-44, 2018.

[20] M. Sheikhi, A. Safdarinezhad, and R. Karimi, "Applying a statistical constraint to the 3D reconstruction of the un-textured surface's cross-sections using a structured light system consists of two cameras and a planer laser", Journal of Soft Computing and Information Technology, 10(1), 1-12, 2021.

[21] W. Welsch, "A review of the adjustment of free networks", Survey Review, 25(194), 167-180, 1979.

[22] S. Banerjee, and A. Roy, Linear Algebra and Matrix Analysis for Statistics. Texts in Statistical Science (1st ed.). Chapman and Hall/CRC. ISBN 978-1420095388, 2014.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.12, No.4, Winter 2025

Research Paper

Development of a Software Application for Refinement of Cadastral Maps for Preserving Legal Areas and Perimeter Lengths without Interference

Alireza Safdarinezhad *

Assistant professor, Department of Geodesy and Surveying Engineering, Tafresh University, Tafresh

Abstract

Field surveying, large-scale aerial maps, or digitizing paper maps are considered as sources of spatial information in the legal registration of real estate and cadaster systems. The uncertainties related to extracting the spatial information from each of these sources create inconsistencies with registered legal-geometrical contents. The differences between the boundary lengths and areas of the cadastral parcels(s) with the registered documents are examples of such interferences. When the geometric entries are correct, aligning the cadastral maps with these legal propositions is one of the technical tasks taken by the surveying experts and registry affairs. In this process, the positions of the vertices of the cadastral parcels are manually adjusted in such a way that, without causing interference among the cadastral parcels, the legally registered areas and boundaries match the existing maps. The quality of this procedure depends on the expert's experience and patience, and uniform results do not occur upon the repetition of this process. In this research, an interactive application has been developed to refine the initial maps from the cadastral parcel(s) with the aim of matching them with the legally registered boundaries and areas. In this method, the existing cadastral maps are used as the basis for extracting observations and the registered geometric contents as constraints in the refinement process of the parcel(s) vertices. This application allows imposing various geometric constraints, including preserving the parcels' area, preserving all or part of their boundary's length, collinearity of some vertices, and also fixing some directions and points. Utilizing this method can simplify the operational tasks related to the cadastral affairs and surveyors. It can also prevent the need for tedious manual refining procedures. The results demonstrated that the initial cadastral maps were refined with greater accuracies than the map scale uncertainties and the surveying tools. Another technical feature of this application is its ability to be used in the process of separating and dividing land, which has been proven effective in various examples.

Key words: *Cadaster maps, Map refinement, Parcel fixing, Separation, Registered boundary length and area, Property documents*

Correspondence Address*: Department of Geodesy and Surveying Engineering, Tafresh University, Tafresh, Iran.*
Tel*: +989123258852*
Email: *safdarinezhad@tafreshu.ac.ir*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.85]