

## 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 رقوم‌سازی 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 برنامه 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 عدم قطعیتی 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

## 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 ارتفافی و اطلاعات مالکیتی بصورت توصیفی بعنوان گزاره های حقوقی ثبت می شوند. در امور نقشه برداری ثبتی، تهیه، بازیابی، پیاده سازی و یا آماده سازی نقشه های مربوط به قطعات ملکی با حفظ الزامات حقوقی به اجرا می رسد. به عنوان مثال، ۱- تهیه نقشه های کادر از بلوک های ثبتی، ۲- ارائه نظرات کارشناسی در دعاوی مربوط به تداخلات ملکی با محوریت مسائل نقشه برداری، ۳- تهیه نقشه های تفکیکی و یا ۴- تعیین حدود (مرزها) و جانمایی قطعات ثبتی، از جمله کاربردهایی تلقی شده که نیازمند اقدامات نقشه برداری با حفظ الزامات حقوقی و ثبتی هستند. در این موارد، ایجاد انطباق میان نقشه های بازیابی شده از قطعات ثبتی با مستندات توصیفی مرتبط با هندسه املاک یکی از الزامات حقوقی مهم و ضروری محسوب می شود.

اطلاعات مکانی مورد نیاز برای بازیابی نقشه مربوط به قطعات ثبتی متناسب با نوع مساله و داده های موجود، از روش های مختلفی همچون نقشه برداری زمینی، بکارگیری تصاویر و نقشه های هوایی موجود و یا بر پایه استفاده از نقشه های 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 نقشه های حدنگاری، وابسته به تعداد رئوس هر قطعه و مقیاس نقشه است [۱]. از این رو، یکی از چالش های کارشناسان نقشه برداری در حوزه امور ثبتی، تلاش برای ایجاد انطباق اطلاعات مکانی جمع آوری شده از منابع مختلف با مندرجات حقوقی اسناد همچون حدود (طولها) و مساحت های ثبتی است. هرچند که نظر سنجی های صورت گرفته از متخصصین امور ثبتی حاکی از کارآمدی بیشتر رویکردهای سه بعدی در ثبت قطعات ملکی (بطور خاص آپارتمانها) است [۲ و ۳]؛ با این حال، به طور سنتی و

معمول، نقشه های ثبتی مربوط به قطعات ملکی به صورت مسطحاتی تهیه شده که حدود اضلاع و مساحت در آنها به عنوان گزاره های حقوقی درج می گردند [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 نقشه برداری، 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 نقشه های بزرگ مقیاس جهت ایجاد همگونی ثبتی و هندسی بود. در این تحقیق از تلاش برای تطبیق مساحت های ثبتی و هندسی از طریق پالایش نقشه های موجود صرف نظر شده است. با این حال، به نظر می رسد که پالایش نقشه های مربوط به قطعات ملکی به منظور ایجاد انطباق با مندرجات ثبتی تا مرز عدم تجاوز از دقت نقشه، می تواند بر ایجاد حس اعتماد به کاربران سامانه های حدنگاری موثر باشد. به عبارت بهتر، مالکان تمایلی به تغییر مساحت و حدود مندرج در اسناد مالکیت با عناوینی همچون اصلاح و یا عدم قطعیت های نقشه برداری ندارند [۹]. از این رو، دستیابی به حدود و مساحت های مندرج در اسناد مالکیت مادامیکه خطایی بزرگتر از دقت نقشه های حدنگاری ایجاد نسازد؛ می تواند راهکاری مناسب در حفظ حقوق مالکانه و اعتماد به سامانه های ثبتی تلقی گردد. بدیهی است که این ایده در صورت صحت مندرجات ثبتی در اسناد مالکیت و یا نقشه های قدیمی، قابلیت اجرایی خواهد داشت. از سوی دیگر، با توسعه و بکارگیری سامانه های اطلاعات مکانی (GIS) در سازمان های مختلف، نقشه های قدیمی و کاغذی به تدریج در حال

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 شده هندسی به قالب برداری استفاده می‌شود. 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 نقشه کاغذی، ۲- وضوح تصویربرداری، ۳- روش و دقت اصلاح هندسی و همچنین ۴- دقت ترسیم برداری 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 رقومی‌سازی قطعات ثبتي، تأمین الزامات هندسی خاص همچون انطباق مساحت‌ها و حدود (طول‌های پیرامونی) رقومی‌سازی شده با مستندات ثبتي از چالش‌های این حوزه قلمداد می‌شود.

در بازیابی و یا پیاده‌سازی نقشه‌های ثبتي همواره محدودیت‌هایی مانند ضرورت حفظ حدود و مساحت‌های ثبتي، عدم وجود تداخل بین قطعات و یا رعایت قيود 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

رقومی‌سازی و انتقال به این سامانه‌ها هستند [۱۰] و [۱۱]. با این حال 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 رقومی‌سازی آنها داشته تا بتوانند اقدامات فنی آتی را در بستر محیط‌های ترسیمی رایانه‌ای (CAD) دنبال کنند. رقومی‌سازی‌که فرایند تبدیل نقشه‌های کاغذی به نقشه‌های برداری را یا نه‌ای اطلاق شده که عموماً از چهار مرحله 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 برداری صورت می‌پذیرد [۱۱]. تصویربرداری از نقشه، اولین گام از روند رقومی‌سازی تلقی شده که از طریق دوربین‌های عکس‌برداری و یا پوشگرها<sup>۱</sup> 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<sup>۲</sup> فراهم می‌آورد [۱۲ و ۱۴]. بکارگیری تبدیلات هندسی منعطف مانند چندجمله‌ای‌های دوبعدی امکان اصلاح اعوجاجات احتمالی موجود در نقشه‌های کاغذی قدیمی را فراهم آورده که در صورت استفاده صحیح، اصلاح هندسی دقیق‌تری را تأمین می‌سازند. با این حال در صورت عدم وجود نقاط معلوم و خطوط شبکه، استفاده از تبدیلات هندسی متشابه<sup>۳</sup> افاین<sup>۴</sup> و یا پروجکتیو<sup>۵</sup> تنها گزینه‌های

<sup>5</sup> 2D Conformal Transformation

<sup>6</sup> 2D Affine Transformation

<sup>7</sup> 2D Projective Transformation

<sup>1</sup> Computer-Aided Design

<sup>2</sup> Digitization

<sup>3</sup> Scanners

<sup>4</sup> Image Resampling

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 روش های محاسباتی در اصلاح هندسی نقشه های ثبتی می توان به تحقیق برک و فرلان (۲۰۱۶) اشاره داشت [۱۷]. ایشان مساحت چندضلعی های مستخرج از نقشه های 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 سیستم های تصویر به اجرا رسیده است. هانوس (۲۰۱۳) نیز با ایده های مشابه، پالایش قطعات ثبتی موجود در نقشه های 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 نقشه های ثبتی، جزئی از الزامات حقوقی ثبت اسناد مالکیتی تلقی می شوند. از نزدیک ترین تحقیقات داخلی انجام شده در این حوزه نیز می توان 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 دستور کار قرار داشته است. در این پژوهش بکارگیری شرط مجموع زوایای چند ضلعی، خطای بسط انتقال مختصات و قید مربوط به مساحت چندضلعی در قالب یک دستگاه معادلات همزمان جهت اصلاح نقشه 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 می تواند ناهمگونی و تداخل را در نقشه های حدنگاری ایجاد سازد.

تأمین مساحت و حدود برای قطعات ثبتی تأمین نمی گردند. این چالش نه تنها در روند رقومی سازی، بلکه در فرایند نقشه برداری میدانی و یا بکارگیری عکس ها و نقشه های هوایی وجود خواهد داشت. از این رو، پس از تولید نقشه های برداری اولیه، پالایش موقعیت رئوس قطعات ثبتی با هدف تأمین الزامات ثبتی و عدم بروز تداخل میان قطعات ملکی توسط کارشناسان خبره در دستور کار قرار دارد. در این روند، یک کارشناس با تغییر موقعیت رئوس چندضلعی ها ترسیم شده، تلاش می کند 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 برداری اولیه از قطعات ثبتی به منظور تأمین الزامات ثبتی و انطباق با مستندات حقوقی مرتبط با هندسه املاک ارائه شده است. در این راستا نرم افزاری تعاملی در محیط متلب<sup>۱</sup> نیز آماده سازی شده که بر پایه روش شناسی مطرح در این تحقیق توسعه یافته است. از این نرم افزار تعاملی می توان برای مسائل مرتبط با بازایی و پالایش نقشه های ثبتی استفاده نمود. راهکار پیشنهادی در این مقاله بر پایه اصلاح موقعیت رئوس قطعات ثبتی با در نظر گرفتن قیود متنوعی همچون حفظ حدود (طول های پیرامونی قطعات ثبتی) و مساحت های ثبتی، ایجاد هم خطی بین نقاط، تثبیت موقعیت برخی از رئوس و حفظ امتداد های خاص بنا شده است. قابلیت تعریف تعاملی قیود ذکر شده در نرم افزار توسعه یافته 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 چندضلعی ها و حفظ قیود به اجرا می رساند. نتیجه این راهکار، تأمین تمامی قیود تحمیل شده به ترسیمات اولیه صرفاً در شرایط امکان پذیر بودن هندسی و عدم وجود اشتباهات فاحش در نقشه های

<sup>۱</sup> MATLAB

نسبت به سایر رئوس در ترسیمات اولیه، به‌عنوان مشاهدات و همچنین طول مرزهای پیرامونی قطعات ثبتي و مساحت آنها به‌صورت قيود قطعي در دستگاه معادلات مربوط به پالایش مختصات اولیه رئوس چندضلعي مشارکت خواهند داشت. علاوه بر آن، امکان افزودن قيود ديگري همچون هم‌خط بودن برخي از رئوس، ثابت ماندن يك يا چندین رأس و يا حفظ راستای برخي از امتدادها نیز در این روش پیش‌بینی شده که بصورت تعاملی قابل اعمال هستند.

در صورت وجود  $n$  نقطه دوبعدی  $V_i = [X_i, Y_i], i = 1, 2, \dots, n$  به‌عنوان مختصات اولیه از رئوس قطعات ثبتي ترسیم شده، تعداد  $k$  چندضلعي بسته بر اساس اتصال بهم پیوسته آنها به‌عنوان ورودی‌های روش پیشنهادی در دسترس خواهند بود. در این روش، هر چندضلعي بسته  $(P_j, j = 1, 2, \dots, k)$  از طریق یک بردار حاوی شماره نقاط رئوس آن به شکل  $\vec{P}_j = [p_{j,1}, p_{j,2}, \dots, p_{j,t_j}, p_{j,1}]^T$  مشخص شده که  $p_{j,i}$  شماره رأس  $i$  ام از چندضلعي  $j$  ام بوده و  $t_j$  تعداد رئوس آن چندضلعي هستند. در صورت اتصال رئوس هر چندضلعي مطابق با ترتیب ارائه شده در بردار  $P$ ، شکل بسته آن چندضلعي 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 رابطه (۱) محاسبه و به‌عنوان مقادیر مشاهداتی در روند پالایش مختصات رئوس مورد استفاده قرار می‌گیرند.

رابطه (۱)

$$C\alpha_{i-1,i,j} = \frac{\|v_{i-1}-v_i\| + \|v_j-v_i\| - \|v_{i-1}-v_j\|}{2 \times \sqrt{\|v_{i-1}-v_i\| \times \|v_j-v_i\|}}$$

$$V_j \neq \{i-1, i\}$$

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

## ۲- روش پیشنهادی

حدود و مساحت قطعات ثبتي، عدم وجود تداخل بین مجاورین و حفظ قيود محیطی از مهمترین ویژگی‌های هندسی املاک از منظر حقوقی و ارزشگذاری قلمداد شده که توصیف آنها در اسناد مالکیت به‌عنوان گزاره‌های حقوقی درج و در نقشه‌های ثبتي نمایش می‌یابند. دستیابی به این الزامات، در تهیه و بازیابی نقشه‌های حدنگاری، روند رقومی‌سازی نقشه‌های کاغذی و یا نقشه‌برداری میدانی، از اولویتهای اجرایی کار شنا سان متخصص در امور ثبتي 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 ثبتي و یا خطاهای رقومی‌سازی، عواملی تلقی شده که دستیابی به الزامات ثبتي 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 ثبتي، راهکارهای طاق‌فرسای 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 پایه پالایش مختصات رئوس چندضلعي‌های اولیه با اعمال قيود قطعي مربوط به حفظ طول اضلاع، مساحت‌ها، عدم بروز تداخل میان قطعات، ایجاد هم‌خطی بین رئوس منتخب و همچنین تثبیت برخي از رئوس و امتدادها بنا شده است. با توجه به تنوع و پیچیدگی در ضرورت یافتن اعمال قيود ذکر شده، روش‌شناسی ارائه شده در این تحقیق در قالب یک برنامه کاربردی تعاملی توسعه یافته تا کاربر متخصص بتواند قيود مد نظر را بصورت تعاملی برای فرایند پالایش استفاده نماید. از این رو، روش‌شناسی ارائه شده در این بخش به بیان زیربنای نظری روش توسعه یافته اختصاص داشته و در بخش نتایج نیز قابلیت‌های برنامه کاربردی در قالب مثال‌های کاربردی و تعاملی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در روش پیشنهاد شده، زوایای هر رأس از قطعات ثبتي

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 ثبتي بصورت یک حد مجزا توصیف نشده و مجموعه‌ای از اضلاع غیر هم‌خط بصورت یک حد معرفی و طول مجموع آنها در تشریح حدود قطعه ثبتي 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 رابطه (۳) خواهد بود.

در رابطه (۳)،  $V_{P_i(j)} = [X_{P_i(j)} \cdot Y_{P_i(j)}]$  مختصات مربوط به رأس متناظر با درایه  $j$  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 ثبتي 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 رابطه (۳) در روند پالایش تعریف نمود. تطبیق مساحت هر قطعه با مقادیر ثبتي، قید دیگر مورد استفاده در روند پالایش مختصات رئوس بوده که مطابق با رابطه (۴) به ازای هر قطعه (به‌عنوان مثال قطعه  $i$  ام) ایجاد و به مجموعه معادلات قید اضافه می‌شوند. رابطه (۴) فرمول گوس در

رابطه (۱) قابل تأمین خواهد بود. هر معادله مشاهداتی در این روند، مختصات سه رأس از قطعات ثبتي را درگیر ساخته و با توجه به تأمین آن برای تمامی زوایای ممکن از رئوس قطعات ثبتي، 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 ثبتي، 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 ثبتي اعم از طول اضلاع، مساحت قطعات، هم‌خط بودن برخی از نقاط و همچنین تثبیت موقعیت برخی از نقاط یا حفظ امتدادهای 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 ثبتي (به‌عنوان مثال قطعه  $i$  ام) به صورت رابطه (۲) به مجموعه معادلات قید اضافه می‌گردد.

رابطه (۲)

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

در رابطه (۲)،  $l_{ij}$  طول ثبتي مربوط به ضلع  $j$  ام از قطعه ثبتي  $i$  ام بوده که متصل‌کننده دو رأس  $V_{P_i(j)}$  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 ثبتي، تعداد  $\sum_{i=1}^k t_i$  معادله قید مربوط به حفظ طول ثبتي 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 ثبتي به انتخاب کاربر نیز فراهم شده است. از سوی دیگر، باید توجه داشت که در صورت وجود مجاورت (اضلاع مشترک) میان قطعات ثبتي، قیود تکراری در روابط (۲) ایجاد شده که در ادامه

که پالایش صورت گرفته در رئوس قطعات ثبتي منجر به به هم خوردن هم‌راستايي برخی از رئوس می‌گردد. منظور از هم‌خطی، هم‌راستا ماندن برخی از نقاط منتخب پس از پالایش مختصات رئوس قطعات ثبتي 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 می‌شود. با در نظر گرفتن بردار  $\vec{LP}_j = [lp_{j,1} \ lp_{j,2} \ \dots \ lp_{j,m_j}]^T$  به عنوان بردار مشخص‌کننده مجموعه زام از نقاط هم‌خط که  $lp_{j,i}$   $i=1,2,\dots,m_j$  معرف شماره رئوسی بوده که در قید هم‌خطی زام مشارکت داشته؛ معادله قید هم‌خط کننده رئوس  $\vec{LP}_j$  به شکل رابطه (۵) خواهد بود. در این رابطه  $m_j$  تعداد نقاط مشارکت کننده در قید هم‌خطی زام است.

محاسبه مساحت یک چندضلعی به کمک مختصات رئوس آن بوده که در آن  $X$  و  $Y$  مختصات مرتب شده 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 ثبتي 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 چندضلعی شناسایی شده و در ادامه از آنها تا انتهای روند تکراری پالایش مختصات رئوس قطعات استفاده می‌گردند.

هم‌خط بودن برخی از رئوس قطعات ثبتي از قیود دیگری تلقی شده که به فراخور نیاز می‌توان به سایر قیود اضافه نمود. این نیاز عموماً زمانی احساس می‌شود



شکل ۱: نمونه‌ای از تشریح چند ضلع بعنوان یک حد در حدود اربعه یک قطعه ثبتي (حد شمال و جنوب که با رنگ‌های قرمز و آبی برجسته شده‌اند)

رابطه (۳)

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

رابطه (۴)

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

$$i = 1, 2, \dots, k$$

رابطه (۵)

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

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 رابطه (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 دستور کار قرار گیرد. از دیدگاه فنی، وجود حداقل یک نقطه و یک راستای ثابت در روند پالایش مختصات رئوس با هدف رفع نقص در تعریف سیستم مختصات دوبعدی ضروریست. از این رو در صورت عدم تعیین حداقل‌های مورد اشاره، افزودن قیود داخلی ارائه شده در روابط (۸) و (۹) به مجموعه قیود اجتناب‌ناپذیر 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)

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

رابطه (۵)، فرمول محاسبه درمیانان ماتریس کواریانس  $\bar{X}_j$  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 درمیان 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 ثبتي 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)

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

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

<sup>1</sup> Inner Constraints

معادلات مربوط به مشاهدات و قیود پس از تشکیل خودکار از طریق برنامه کاربردی متناسب با مساله و داده ورودی به شکل رابطه (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 رابطه (۱) به ازای مختصات اولیه رئوس قطعات ثبتي است. این بردار  $n \times (n-2)$  درایه خواهد داشت.  $r$  بردار مقادیر باقیمانده 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 مجهول (مختصات پالایش شده رئوس قطعات ثبتي) است.  $[B]_{N_L, 2n}$  ماتریس ژاکوبین بردار  $F_L$  نسبت به مجهولات بوده که درایه های آن مشتق معادلات مشاهدهتی 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 ( $\Delta_0$ ) جهت به‌روزرسانی اضافه می‌شود. بردار  $g$  نیز حاوی مقادیر قید (حدود و مساحت‌های ثبتي، 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 سیستم مختصات) بوده که تعداد اولیه درایه‌های آن از طریق رابطه (۱۱) تعیین می‌گردد.

رابطه (۱۱)

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

$$fp \text{ and } fd \geq 1$$

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

قیود سه‌گانه داخلی ارائه شده در روابط (۸) و (۹) با ایجاد آزادی در پالایش مختصات تمامی رئوس قطعات ثبتي، 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 ثبتي 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 به کار 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 رابطه (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

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 توسعه یافته و حسب اختیار کاربر متخصص، امکان کاهش تعداد طول‌های معلوم در نقشه اولیه از قطعه/قطعات ثابتی وجود داشته و چنین طول‌هایی امکان اصلاح در فرایند تخمین کمترین مربعات را برخوردار خواهند بود.

مطابق با الگوی تخمین کمترین مربعات مقید، پس از مقداردهی بردارهای  $F_C, F_I$  و ماتریس‌های  $B$  و  $C$  از طریق مقادیر تقریبی مجهولات  $(\Delta_0)$ ، بردار تصحیح مقادیر مجهولات  $(\delta)$  به کمک رابطه (۱۲) قابل برآورد خواهد بود. لازم به ذکر است که مقادیر اولیه بردار مجهولات از طریق مختصات رئوس قطعات ثابتی در ترسیمات اولیه در دسترس هستند. فرایند تکراری اصلاح مقادیر اولیه مجهولات تا زمان رسیدن به شرط  $\|\delta\| < \varepsilon$  یک عدد کوچک و مثبت مانند  $10^{-6}$  است. بدیهی است که اعمال اصلاح مختصات رئوس قطعات ثابتی در بازه  $10^{-6}$  متر بی‌معنا خواهد بود.

$$\begin{bmatrix} \delta \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B(\Delta_0)^T B(\Delta_0) & -C^*(\Delta_0)^T \\ C^*(\Delta_0) & \mathbf{0} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} B(\Delta_0)^T (\bar{L} - F_I(\Delta_0)) \\ \bar{g}^* - F_C^*(\Delta_0) \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

دوسوی طول معلوم (نمونه‌هایی از قیود وابسته محسوب می‌شوند. از طرفی، تعریف برخی از قیود بواسطه شرایط هندسی حاکم بر نقشه قطعات ثابتی 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

نقاط هم‌خط هستند. سایر نمادهای این رابطه قبل‌تر معرفی شده‌اند. در صورت عدم تعیین نقطه ثابت توسط کارشناس متخصص، دو قید داخلی مربوط به ثابت مرکز ثقل رئوس قطعات ثابتی  $(fp = I)$  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  $(fd = I)$  به‌عنوان قیود رفع نقص در تعریف سیستم مختصات ضروری بوده که بطور خودکار به معادلات قید اضافه می‌شود. در ادامه معرفی نمادهای رابطه (۸)،  $F_C(\bar{\Delta})$  برداری حاوی تمامی معادلات قید اولیه بوده که  $\sum_{i=1}^k t_i$  درایه از آن مربوط به طول‌های معلوم پیرامونی از قطعات ثابتی،  $k$  درایه از آن به قیود مربوط به مساحت‌های معلوم قطعات ثابتی (این مقدار حداکثر تعداد قیود مرتبط با مساحت ثابتی بوده و در برنامه کاربردی امکان نبود چنین قیدی برای هر یک از قطعات ثابتی بطور تعاملی وجود خواهد داشت)،  $n\Delta l$  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

در رابطه (۱۲)،  $\lambda$  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 رتبه این ماتریس نسبت به مقدار  $N_C$  می‌گردد [۲۲]. در این شرایط، دستگاه معادلات ارائه شده در رابطه (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

شده، تداخلی بین قطعات ثبتي رخ نداده و ساير محدودیت‌های اعمال شده در شرایط کمترین اصلاح ممکن به مختصات اولیه رئوس قطعات ثبتي تأمین خواهند شد. روش پیشنهادی در مورد قطعات ثبتي منفرد، بلوک‌های حاوی قطعات ثبتي بهم‌متصل و یا در شرایط وجود جدایی میان قطعات ثبتي قابل استفاده است.

### ۳- تشریح نحوه 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 برداری با قالب  $dxg$  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 می‌شوند. نحوه نامگذاری برگه‌ها اختیاری است.

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 بردارهای  $g$  و  $F_C$  پس از حذف سطرهای تکراری هستند.

همگرایی دستگاه معادلات ارائه شده در رابطه (۱۲) صرفاً در شرایط ممکن بودن قیود هندسی تحمیل شده، محقق می‌گردد. در صورت همگرایی دستگاه معادلات، حدود و مساحت‌های ثبتي برای چندضلعی‌ها حفظ

Vertex Coordinates (V)	Noun Distances (L)	MultipleLines Vertices	MultipleLines (ΣI)	Polygons	Polygon Areas (A)	ColinearPoints	Fixed Points	Fixed Directions
برگه درج مختصات رئوس قطعات ثبتي ( $V_i, i=1,2,\dots,n$ )	برگه درج حدود ثبتي معلوم (L)	برگه تعریف رئوس مربوط به حدود ثبتي چندتکه	برگه درج حدود ثبتي چندتکه (ΣI)	برگه تعریف چندضلعی‌ها ثبتي چندتکه (A)	برگه درج مساحت ثبتي چندضلعی‌ها (A)	برگه تعیین نقاط همراستا	برگه تعیین نقاط ثابت	برگه تعیین امتدادهای ثابت

شکل ۲: برگه‌های ضروری در فایل اکسل به‌عنوان ورودی برنامه کاربردی

درج می‌شود. هر سطر این برگه مبین یک حد چندتکه بوده که تعداد ستون‌های آن متناسب با تعداد رئوس سازنده آن حد خواهد بود. در برگه درج حدود ثبتي چندتکه نیز، مقادیر عددی حدود چندتکه (مجموع طول اضلاع - ΣI) ثبت می‌گردد. هر سطر از این برگه با همان سطر در برگه تعریف رئوس چندتکه مرتبط خواهد بود. در برگه تعریف چندضلعی‌ها، شماره رئوس هر قطعه ثبتي (بدون درج رأس تکراری) به‌صورت یک سطر درج می‌شود. اتصال ترتیبی رئوس مشخص شده در هر سطر، شکل چندضلعی را (بدون ترسیم

در برگه حاوی مختصات رئوس قطعات ثبتي، مختصات هر رأس  $(X, Y)$  بصورت یک سطر (دو ستون) ثبت می‌شود. تعداد سطرهای این برگه با تعداد کل رئوس قطعات ثبتي (بدون تکرار) برابر خواهد بود. در برگه حاوی حدود ثبتي، هر طول معلوم به‌صورت یک سطر (سه ستون) به ترتیب شامل شماره رئوس متصل‌کننده و طول معلوم آن ثبت می‌شود. تعداد سطرهای مقاردهی شده در این برگه مبین تعداد طول‌های معلوم خواهد بود. در صورت وجود حدود ثبتي چندتکه، شماره رئوس هر حد در برگه تعریف رئوس چندتکه

<sup>2</sup> Data Exchange Format

<sup>1</sup> Format

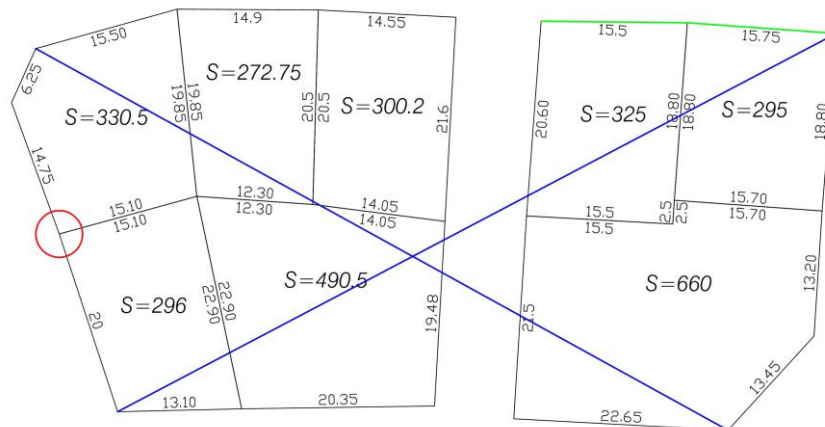
(در صورت وجود) نیز بصورت پلی لاین ترسیم می شوند. برای جداسازی این قیود از قیود هم خطی، حدود چند تکه در لایه جداگانه ترسیم شده و در هنگام فراخوانی فایل *dxf* نام لایه مربوط به این قیود به برنامه کاربردی معرفی می شود. طول مربوط به حدود چندتکه نیز در لایه ترسیم آن در مجاورت یکی از اضلاع درج می شود. به مرکزیت هر نقطه معلوم یک دایره ترسیم شده و امتدادهای معلوم با لاین (خط ساده) ترسیم می شوند. نقاط معلوم می توانند خارج از رئوس قطعات ثبتي نیز تعیین گردند. عدم تعیین نقطه ثابت به معنای بکارگیری قیود داخلی مربوط به حفظ مرکز ثقل رئوس قطعات ثبتي پس از پالایش بوده و عدم تعیین امتدادهای معلوم در صورت نبود حداقل دو نقطه ثابت منجر به بکارگیری قیود داخلی عدم چرخش شکل می گردد. وجود نو شتار خارج از چند ضلعي و یا خطوط غیرمتصل به رئوس، توسط نرم افزار خوانده نخواهند شد. شکل (۳) مثالی از یک ترسیم برداری از قطعات ثبتي جهت معرفی به برنامه کاربردی را نشان می دهد.

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

آخرین ضلع) نشان می دهد. تعداد سطرهای این برگه تعداد قطعات ثبتي موجود در روند پالایش مختصات رئوس را نشان می دهد. در برگه نقاط هم راستا نیز، شماره رئوس این نقاط مشخص می شود. شماره رئوس هر یک از مجموعه نقاط هم راستا به صورت یک سطر در این برگه درج می شوند. لزومی بر برابری تعداد نقاط هم راستا در مجموعه های مختلف وجود ندارد. تعداد سطرهای پر شده در این برگه مشخص کننده تعداد قیود مرتبط با هم راستایی هستند. در برگه نقاط ثابت، شماره رئوس انتخاب شده به عنوان موقعیت های ثابت به صورت ستونی مشخص می شوند. خالی بودن این برگه منجر به بکارگیری قیود داخلی مربوط به تثبیت مرکز ثقل رئوس قطعات ثبتي می گردد. در برگه 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 قیود داخلی عدم چرخش کلی رئوس قطعات ثبتي می گردد. تعداد سطرهای برگه های نقاط و امتدادهای ثابت مبین تعداد این قیود هستند.

شکل دیگر معرفی مقادیر ورودی در برنامه کاربردی از طریق ترسیمات برداری 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 می آورد. در آماده سازی فایل برداری، رعایت نکاتی ضروری بوده که در ادامه تشریح شده اند. هر قطعه ثبتي در ترسیمات برداری به شکل یک چند ضلعي بسته از جنس پلی لاین (خط چندتکه) ترسیم می گردد. طول های ثبتي در هر چندضلعي در نزدیکی ضلع متناظر و داخل چندضلعي از طریق ابزار نوشتاری ثبت می شوند. مساحت ثبتي هر چندضلعي در داخل آن از طریق ابزار نوشتاری درج می شود. فرمت درج مساحت ثبتي با پیشوند  $S=$  است (به عنوان مثال  $S=1132.18$ ). نقاط واقع در هر قیود هم راستایی از طریق پلی لاین باز ترسیم می شوند. حدود متشکل از چند ضلع

<sup>2</sup> Line<sup>1</sup> Polyline



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

شکل هر قطعه با هدف تطبیق یافتن با حدود و مساحت ثبتي اصلاح می‌گردد. نتایج مربوط به پالایش منفرد قطعات ثبتي در کشف اشتباهات احتمالی مفید خواهد بود. در صورتیکه پالایش یک قطعه ثبتي به‌صورت منفرد موفقیت‌آمیز نباشد؛ امکان بازپایی آن قطعه با حدود و مساحت ثبتي از نظر هندسی وجود نخواهد داشت. از این رو، رصد نتایج پالایش منفرد قطعات ثبتي می‌تواند در کشف علل عدم موفقیت احتمالی در روند پالایش همزمان قطعات ثبتي 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 ثبتي وجود داشته که انتخاب آنها به فراخور هر مساله متفاوت است. از این رو، توسعه یک الگوریتم وا حد 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 درجه آزادی ناشی از تعریف سیستم‌مختصات) یکتا خواهد بود. از این رو،

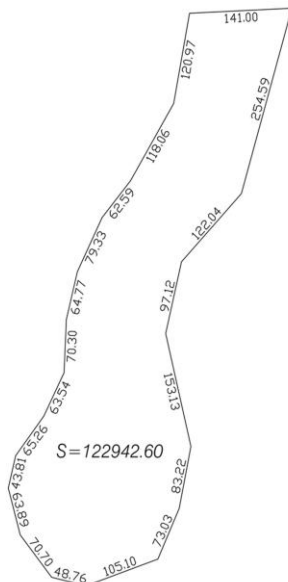
با انتخاب داده ورودی به یکی از دو طریق فایل اکسل یا *dxf* و اجرای برنامه کاربردی، یک شیپ‌فایل از جنس پلی‌گون<sup>۱</sup> و یک فایل *dxf* به‌عنوان خروجی تولید می‌گردد. در فایل *dxf*، ترسیمات پالایش شده (در صورت موفقیت روند پالایش) ارائه شده و در شیپ‌فایل خروجی، به تعداد حداکثر دو برابر قطعات ثبتي معرفی شده در داده‌های ورودی، چندضلعی بسته تولید خواهد شد. عبارت بهتر، هر چندضلعی از قطعات ثبتي 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 ثبتي و همچنین قیود داخلی پالایش می‌گردد. نتایج موفقیت‌آمیز هر کدام در شیپ‌فایل خروجی به‌صورت یک پلی‌گون مجزا با مشخصه‌های توصیفی متمایز ثبت می‌گردد. از این رو، در صورت موفقیت‌آمیز بودن فرآیند پالایش در این دو مرحله، دو پلی‌گون به ازای هر قطعه ثبتي 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 ثبتي، الزامی بر عدم تداخل قطعات ثبتي وجود نداشته و صرفاً

<sup>۱</sup> Polygon

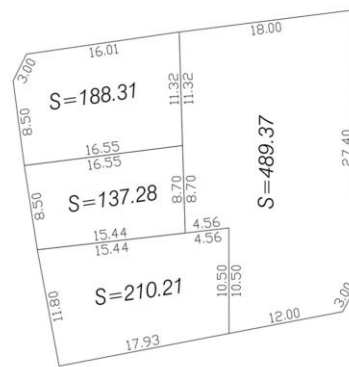
پالایش رئوس یک چندضلعی (با بیش از ۴ ضلع) با هدف تطبیق آن با حدود و مساحت ثابتی عموماً پاسخ یکتایی ندارد. درجه آزادی فضای پاسخ‌های محتمل نیز با افزایش تعداد رئوس چندضلعی بزرگتر خواهد شد. به همین دلیل، به نظر می‌رسد که نتایج پالایش دستی دو کاربر متخصص متناسب با تجربه و عملکرد متفاوت باشد. روش پیشنهادی در این تحقیق نیز متناسب با محدودیت‌های معرفی شده در روند پالایش رئوس قطعات ثابتی، 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 ثابتی با ترسیمات اولیه استفاده شده است. هدف از این آزمون، بررسی عملکرد روش پیشنهادی در بازیابی شکل صحیح قطعات ثابتی، هنگام وجود عدم انطباق در ترسیمات اولیه با حدود و مساحت‌های ثابتی بوده است. در این آزمون به مختصات اولیه رئوس

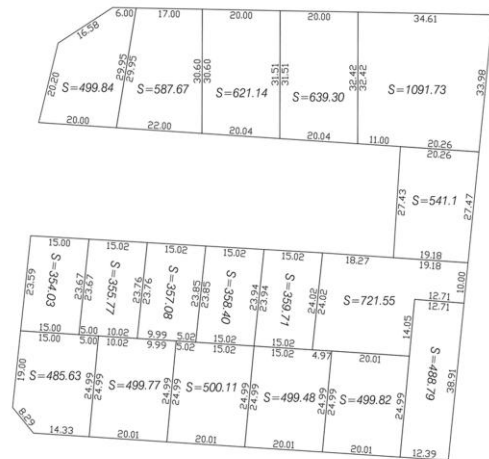
قطعات ثابتی با فرض چهار رویکرد: ۱- اندازه‌گیری توسط سامانه‌های تعیین موقعیت جهانی (با دقت تقریبی  $\pm 5$  سانتی‌متر)، ۲- بدست آمده از نقشه با مقیاس ۱:۵۰۰ (با دقت تقریبی  $\pm 10$  سانتی‌متر)، ۳- بدست آمده از نقشه با مقیاس ۱:۱۰۰۰ (با دقت تقریبی  $\pm 20$  سانتی‌متر) و ۴- بدست آمده از نقشه با مقیاس ۱:۲۰۰۰ (با دقت تقریبی  $\pm 40$  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 ثابتی 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 ثابتی 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 ثابتی در شکل (۵) ارائه شده است.



ج) نقشه کاداستر سه

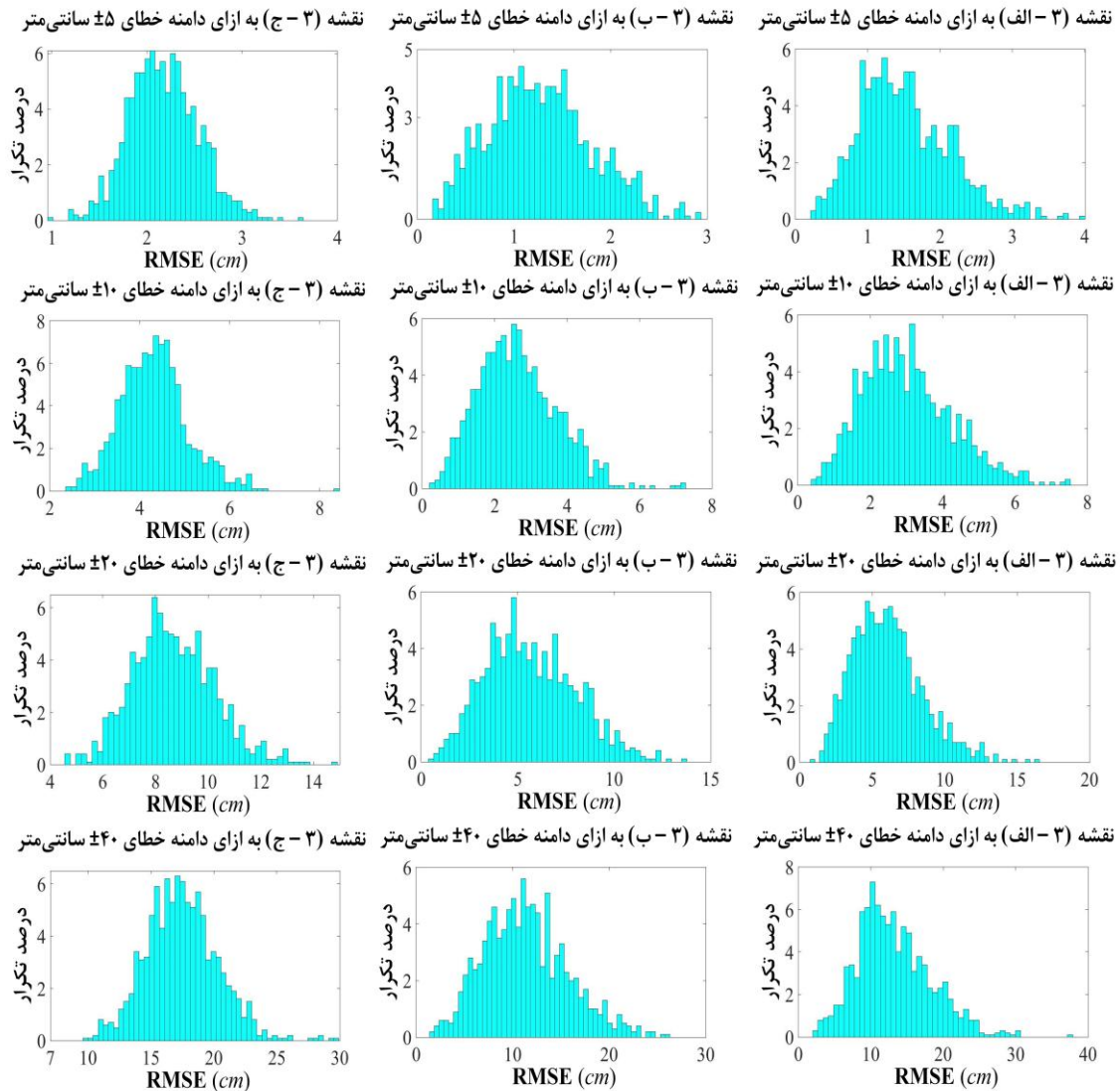


ب) نقشه کاداستر دو



الف) نقشه کاداستر یک

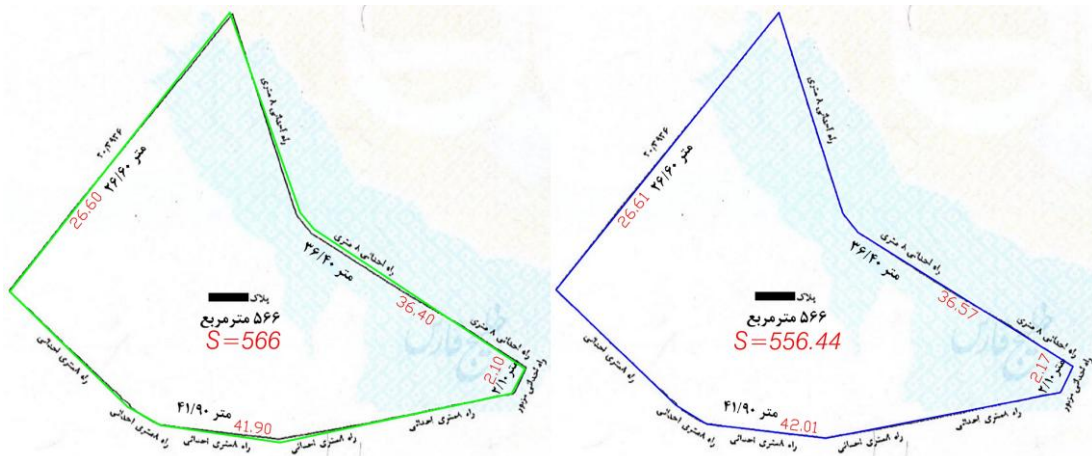
شکل ۴: نقشه‌های ثابتی صحیح مورد استفاده در آزمون اول



شکل ۵: هیستوگرام مربوط به  $RMSE$  بازبایی شکل نقشه‌های ثبتی در زمان وجود عدم قطعیت در ترسیمات اولیه

نمی‌سازد. از سوی دیگر، نتایج مورد اشاره صرف‌نظر از وسعت و تعداد قطعات ثبتی موجود در نقشه‌ها به دست آمده که تعمیم‌پذیری نتایج از آن قابل استنباط خواهد بود. در دومین آزمون، تصویر نقشه کادا ستر ارائه شده در شکل (۱) مندرج در یک سند مالکیت تک‌برگی رقوم‌سازی 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.

مطابق با نتایج ارائه شده در شکل (۵)، عموماً بازبایی 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



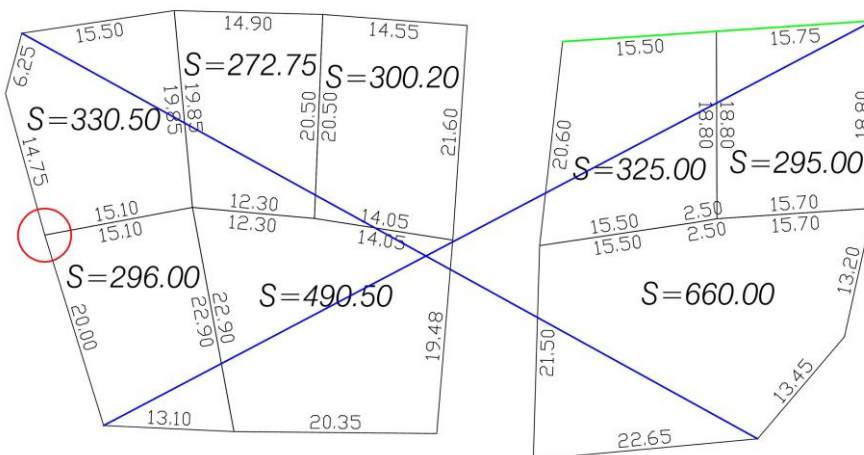
(ب) نتیجه پالایش

(الف) ترسیمات برداری اولیه (رقومی سازی)

شکل ۶: نتیجه قبل و بعد از پالایش روند رقومی سازی یک قطعه ثبتی متشکل از حدود چندتکه

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 قیدهایی همراستایی در کنار دو قید تثبیت نقاط و امتدادها نمایش یافته است. نتیجه پالایش رؤس این شکل در شکل (۷) ارائه شده است.

مطابق با شکل (۶)، اختلاف مساحت در فرایند رقومی سازی 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 تأمین حدود و مساحت‌های ثبتی شده است. لازم به ذکر است که در ترسیمات اولیه، مقیاس تصویر نقشه از طریق حد غربی اعمال شده است. حدود و مساحت مندرج در ترسیمات برداری این شکل مقادیر صحیح واقعی هستند.

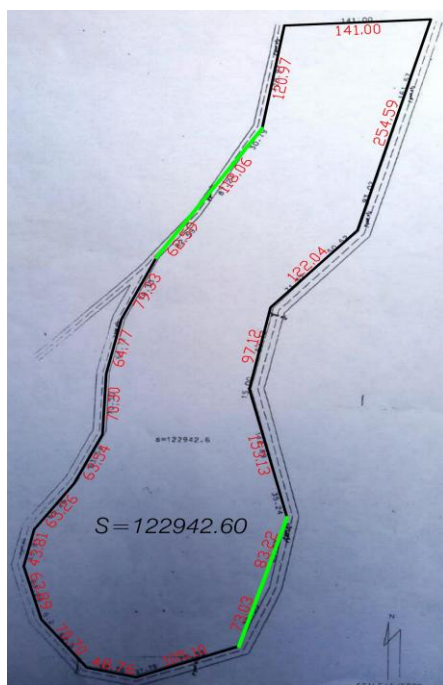


شکل ۷: نتیجه پالایش نقشه ثبتی ارائه شده در شکل (۳)

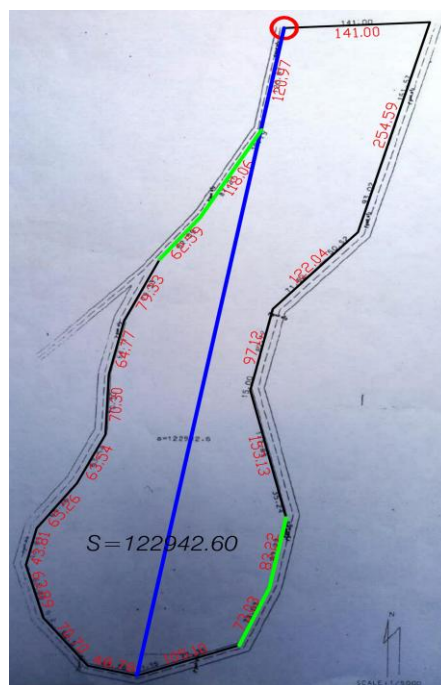
تحمیلی نشانه ناکارآمدی روش پیشنهادی نیست. به عبارت بهتر، پالایش هندسی نقشه‌های ثبتی با هدف ایجاد تطابق با مستندات مندرج در اسناد مالکیتی از طریق تغییر موقعیت رئوس قطعات ثبتی صورت می‌پذیرد. در صورتیکه نتایج یک پالایش بر اساس حدود و مساحت ثبتی و یا اعمال قیود به آن منجر به همگرایی دستگاه معادلات تشکیل 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 قیود 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 سبز رنگ، مکان‌های واقع در قیود هم‌خطی بوده و خط آبی و دایره قرمز نیز امتداد و نقطه ثابت در ترسیمات اولیه هستند.

تأمین قیود هم‌راستایی ترسیم شده با رنگ سبز در شکل (۳) در نتیجه پالایش آن در شکل (۷) مشهود است. در این پالایش، علاوه بر قیود هم‌راستایی، دو قیود تثبیت امتداد و یک نقطه ثابت نیز وجود داشته است. علیرغم تأمین کامل انتظارات از روش پیشنهادی شامل حفظ حدود و مساحت‌های 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 قیود هم‌راستایی دیگر در این مساله به منظور جلوگیری از انحراف 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



ب) نتیجه پالایش مختصات رئوس با اعمال قیود

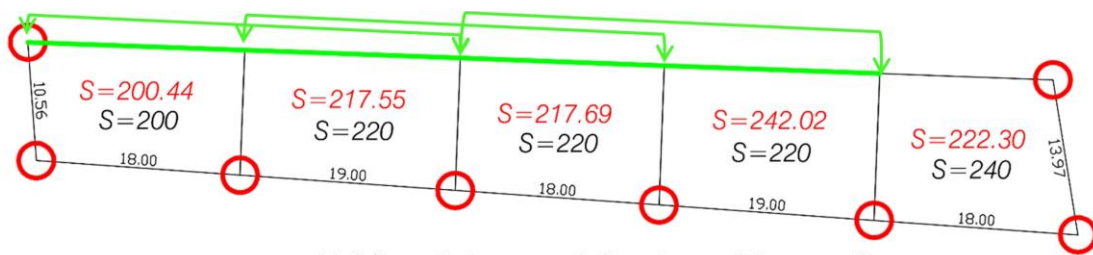


الف) ترسیمات اولیه در محیط اتوکد

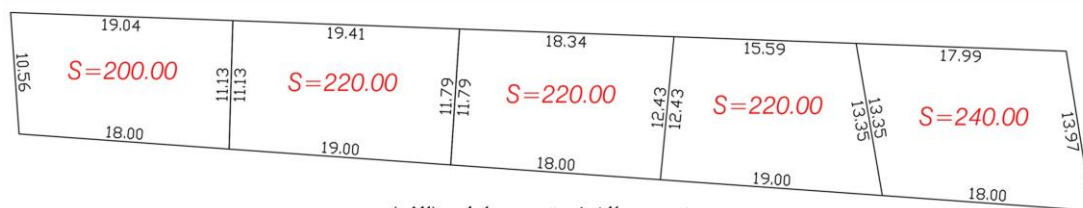
شکل ۸: نتیجه بکارگیری قیود هم‌خطی در نتایج پالایش مختصات رئوس یک قطعه ثبتی

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 به عنوان موقعیت‌های ثابت معرفی شده و موقعیت چهار رأس با حفظ هم‌راستای بودن به عنوان موقعیت‌های نیازمند پالایش انتخاب شده‌اند. در این شکل، مساحت قطعات در ترسیمات اولیه و مساحت مورد انتظار به ترتیب 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.

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 ثبتي قانونی در نظر گرفت. لازم به ذکر است که حدود و مساحت‌های مندرج در شکل (۸-الف) مقادیر ثبتي (دارای عدم انطباق با ترسیمات اولیه برداری) 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



الف: ترسیم اولیه به‌منظور تفکیک زمین به کمک نرم‌افزار کاربردی



ب: نتیجه پالایش ترسیم اولیه (الف)

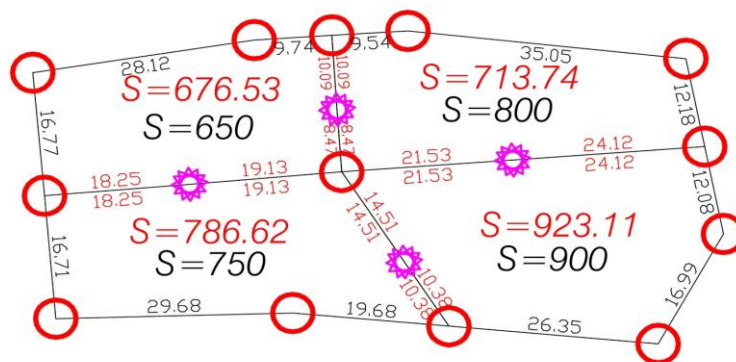
شکل ۹: مثالی از کاربرد نرم‌افزار توسعه یافته در پالایش ترسیمات برداری اولیه به منظور تفکیک یک قطعه زمین

قید هم‌راستایی (خطوط سبز رنگ) 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  $12 \times 10 = 120$  مشاهده،  $16 = 2 \times 8$  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

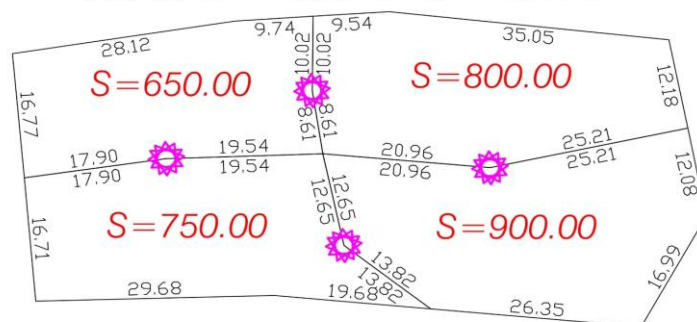
در شکل (۹-الف) مشابه با اشکال قبلی، نقاط ثابت با دایره قرمز و نقاط هم‌خطی با خط سبز ترسیم شده‌اند. لازم به ذکر است که بکارگیری چهار امتداد ثابت برای رئوس مجهول نیز نتایج مشابهی با قید هم‌راستایی بدنبال خواهد داشت. در این شکل از سه قید هم‌راستایی جهت ایجاد تعدد در قیود استفاده شده که با پیکان‌های متصل در این شکل نمایش یافته‌اند. هر

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 رؤسی 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 رؤس نیازمند پالایش، حدود قطعات و مساحت‌های هندسی (قرمز رنگ) حذف شده‌اند. شکل (۱۰-ب) نیز نتیجه پالایش موقعیت رؤس مورد نظر به همراه مساحت هندسی تأمین شده برای هر قطعه را نشان می‌دهد.

مطابق با الگوی خودکار توسعه یافته در شناسایی قیود هم‌بسته از ماتریس قیود حذف شده‌اند. قیود حذف شده مربوط به یکی از مولفه‌های مختصاتی رؤس 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 رؤس 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



الف: ترسیم اولیه به منظور تفکیک زمین به کمک نرم‌افزار کاربردی

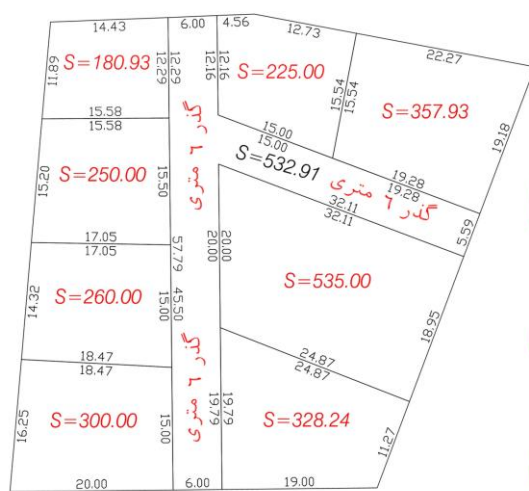


ب: نتیجه پالایش ترسیم اولیه (الف)

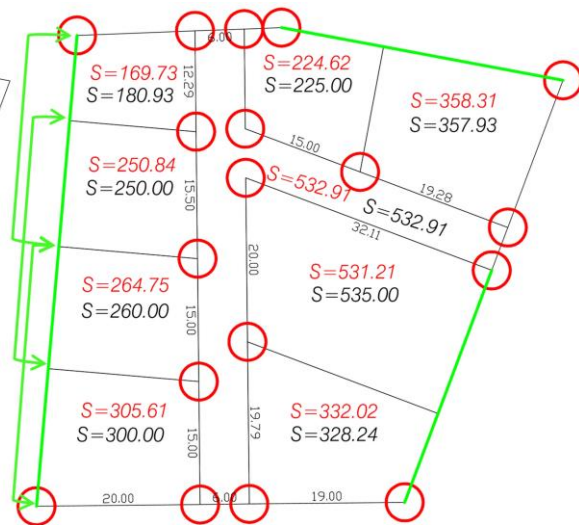
شکل ۱۰: مثالی از کاربرد نرم‌افزار توسعه یافته در پالایش ترسیمات برداری اولیه به منظور تفکیک یک قطعه زمین با اصلاح موقعیت نقاط داخلی

عملکرد روش پیشنهادی در قالب نرم افزار کاربردی مجدداً فرایند تفکیک یک قطعه زمین به مساحت ۲۹۷۰ مترمربع با در نظر گرفتن ضوابط مربوط به تأمین گذر و مساحت های مورد انتظار به اجرا رسیده است (شکل (۱۱)).

مطابق با شکل (۱۰-ب)، پالایش ترسیمات اولیه منجر به اصلاح موقعیت نقاط مجهول (ستاره های بنفش) با هدف تأمین مساحت های 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



ب: نتیجه پالایش ترسیم اولیه (الف)



الف: ترسیم اولیه به منظور تفکیک زمین به کمک نرم افزار کاربردی

شکل ۱۱: مثالی از کاربرد نرم افزار توسعه یافته در پالایش ترسیمات برداری اولیه به منظور تفکیک یک قطعه زمین با در نظر گرفتن تأمین محدودیت های گذر

است. به عبارت بهتر، بهره برداری از این برنامه کاربردی نیازمند تخصص کافی در حوزه نقشه برداری، مفاهیم تعدیل و سرشکنی خطا و دانش به حوزه های کاداستر و امور ثبتی است. به همین دلیل، استفاده از این برنامه کاربردی برای کاربر غیرمتخصص چالش برانگیز خواهد بود. با این حال می توان با توسعه امکانات حمایتی هوشمند در هدایت کاربر جهت تعریف قیود صحیح و کشف اشتباهات در تعریف داده های ورودی، کارکرد عمومی تری از این برنامه کاربردی ایجاد ساخت. بطور کلی، در هنگام استفاده از این برنامه کاربردی، کشف اشتباهات کاربر در معرفی قیود هنگام مواجهه با بلوک های حاوی قطعات ثبتی متعدد امری دشوار است. ضرورت آماده سازی ترسیمات اولیه مطابق با الگوی

نمادهای ترسیم شده و روند بکارگیری ترسیمات اولیه 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 نظر گرفتن قیود تحمیلی است. با آزمون های صورت گرفته به نظر می رسد که روش پیشنهادی و برنامه کاربردی توسعه یافته ضمن صحت در ایده از انعطاف کافی در تعامل با کاربر متخصص برخوردار بوده و می توان 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

ثبتی در زمان وجود چنین عدم قطعیت‌هایی خواهد بود. بدیهی است که این رویکرد برای رفع سایر مشکلات هندسی موجود در نقشه‌های کاداستر مانند وجود تداخلات میان قطعات ثبتی مناسب نبوده و لازم است که کاربر متخصص 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 صورت گرفته از آن، توان اصلاح نقشه‌های ثبتی در ابعاد و وسعت‌های پرکاربرد و مورد نیاز کارشناسان رسمی دادگستری و مهندسان نقشه‌برداری شاغل در امور تفکیک آپارتمان در سازمان‌های نظام‌مهندسی ساختمان به اثبات رسیده است. با این حال توسعه این نرم‌افزار به شکل یک افزونه در محیط‌های ترسیم برداری (*Autocad*) در دستورکار ادامه این پژوهش قرار دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که بکارگیری روش‌های محاسباتی مبتنی بر تخمین کمترین مربعات مقید می‌تواند از اجرای فرایندهای پردردسر، دستی و تجربی پالایشی جلوگیری نموده و سرعت و دقت مناسبی را در پالایش نقشه‌های ثبتی با در نظر گرفتن الزامات قانونی به اجرا رساند.

#### قدردانی

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

خوانش در برنامه کاربردی نیز یکی از اقدامات زمان‌بر در روند اجرای این برنامه کاربردی محسوب می‌شود. 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 نقطه 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 نقشه‌های 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 برداری 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 کارآمد برای پالایش قطعات

#### مراجع

[1] A. Daskocz, "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,

- "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*

*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.



## ***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