

به‌هنگام‌سازی نقشه ساختمان‌ها مبتنی بر مدل‌های منحنی فعال

مهدی غریبی^{۱*}، حسین عارفی^۲، حیدر راستی‌ویس^۲، حسین هاشمی^۱

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

{mahdigharibi, hosseinhashemi}@ut.ac.ir

^۲ استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

{hossein.arefi, hrasti}@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت خرداد ۱۳۹۴، تاریخ تصویب بهمن ۱۳۹۴)

چکیده

در حال حاضر، به‌روزرسانی پایگاه داده مکانی با اتکا به اطلاعات موجود در پایگاه داده و استفاده از تصاویر هوایی جدید، از موضوعات مهم در حیطه مهندسی ژئوماتیک می‌باشد. اطلاعات موجود در نقشه قدیمی می‌تواند به‌عنوان داده آموزشی در طبقه‌بندی، ایجاد مدل مفهومی، کاهش فضای جستجو و نیز در برآورد پارامترهای مجهول، مورد استفاده قرار گیرد. لذا، در این تحقیق، از اطلاعات هندسی پلیگون‌های نقشه قدیمی جهت کاهش فضای جستجو، بهینه نمودن مقداردهی اولیه به‌منظور بهبود فرآیند استخراج ساختمان مبتنی بر مدل‌های منحنی فعال و نیز عدم نیاز به الگوریتم‌های فیلترینگ داده‌های ارتفاعی، استفاده خواهد شد. این فرآیند در یک رویکرد سلسله مراتبی و مبتنی بر ترکیبی از دو مدل منحنی فعال هندسی انجام می‌گیرد که موجب رفع نقص این مدل‌ها در استخراج ساختمان‌های با رفتار طیفی و هندسی متفاوت می‌گردد. در روش پیشنهادی، هر یک از پلیگون‌های قدیمی، به‌طور مجزا، به‌عنوان منحنی اولیه به یک مدل هندسی ناحیه‌مبنا معرفی می‌شوند. پس از اجرای مدل بر روی بخشی از DSM، متناسب با موقعیت پلیگون قدیمی و شناسایی ساختمان از DSM، آشکارسازی تغییرات هندسی رخ داده انجام می‌گیرد. به‌منظور بهبود مرزهای استخراج‌شده، نتایج حاصله به یک مدل هندسی لبه مبنای مقید، معرفی شده و بر روی اطلاعات طیفی اجرا می‌گردد. در نهایت، مرزهای بهبودیافته طی فرآیند خلاصه‌سازی و منظم‌سازی به روش MBR، در پایگاه داده ذخیره می‌گردند. ارزیابی نتایج، موفقیت روش پیشنهادی در مناطق شهری در استخراج ساختمان‌های با رفتار طیفی و هندسی متفاوت را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که صحت کلی فرآیند آشکارسازی تغییرات هندسی رخ داده و ضریب کاپا به‌ترتیب ۷۹ درصد و ۷۴ درصد بوده و صحت نسبی مرزهای ساختمانی استخراج‌شده برابر ۹۲ درصد می‌باشد.

واژگان کلیدی: به‌هنگام‌سازی نقشه ساختمان‌ها، آشکارسازی تغییرات هندسی و به‌روزرسانی نقشه، مدل‌های منحنی فعال، MBR

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

رشد جمعیت و توسعه محیط‌های شهری انگیزه زیادی را در محققان فعال در زمینه اطلاعات مکانی به‌منظور ارائه روش‌های بهینه به‌منظور پایش تغییرات^۱ و به‌هنگام‌سازی^۲ نقشه‌ها، ایجاد کرده است [۱]. ساختمان‌ها به‌عنوان مهم‌ترین عارضه شهری از جنبه‌های گوناگون، کانون توجه بسیاری از پژوهشگران حوزه استخراج ساختمان و به‌هنگام‌سازی این عارضه در پایگاه داده می‌باشد. بازنگری نقشه‌های قدیمی ساختمان‌ها، مستلزم اجرای سه مرحله استخراج ساختمان از داده‌های اپک دوم، آشکارسازی تغییرات رخ داده و پس‌پردازش نتایج حاصله به‌منظور ثبت در پایگاه داده می‌باشد. طبق تعریف، آشکارسازی تغییرات، پروسه شناسایی اختلاف در وضعیت و شرایط یک شیء یا پدیده در یک بازه زمانی معین می‌باشد [۲].

در حال حاضر، به‌روزرسانی پایگاه داده مکانی با اتکا به اطلاعات موجود و استفاده از اطلاعات طیفی و ارتفاعی جدید، از موضوعات مهم در حیطه مهندسی ژئوماتیک می‌باشد. نحوه استفاده از نقشه‌های رقومی قدیمی در دسترس، به‌منظور بهبود استخراج عوارض و آشکارسازی تغییرات، یکی از مباحث مهم در این زمینه می‌باشد [۳]. استفاده از اطلاعات نقشه جهت بهبود استخراج عوارض و در نتیجه بهبود نتایج آشکارسازی تغییرات، عمده‌تاً محدود به استفاده از اطلاعات هندسی بوده [۴-۷] و اطلاعات مفهومی موجود در پایگاه داده، به دلیل پیچیدگی مدل‌سازی، کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد [۸].

آشکارسازی تغییرات را می‌توان از ۳ جنبه بررسی نمود: تکنیک‌های مورد استفاده، عارضه مورد بررسی و ساختار داده ورودی. فرآیند آشکارسازی تغییرات از لحاظ ساختار داده ورودی در هر یک از اپک‌ها، به دو استراتژی تصویر به تصویر و نقشه به تصویر طبقه‌بندی می‌شوند [۸].

روش‌های قدیمی آشکارسازی تغییرات مبتنی بر استراتژی تصویر به تصویر می‌باشد. این استراتژی عموماً بر اساس مقایسه پیکسل به پیکسل دو تصویر اخذ شده در دو زمان متفاوت جهت تعیین تغییرات رخ داده در تصویر، بوده و داده‌های ورودی هر یک از دو یا چند اپک زمانی از

یک جنس (طیفی یا ارتفاعی) می‌باشند. مهم‌ترین معایب این استراتژی عبارت‌اند از: لزوم همزمانی تصویربرداری از لحاظ فصلی، لزوم تناسب قدرت تفکیک مکانی و طیفی و رادیومتریکی تصاویر، مواجهه با حجم عظیمی از داده‌های تصویری و کارایی پائین در مناطق متراکم و پیچیده.

امروزه، با توجه به تولید و در دسترس بودن نقشه‌های رقومی، آشکارسازی تغییرات، عموماً بر مبنای استراتژی نقشه به تصویر می‌باشد. استراتژی نقشه به تصویر در دو رویکرد Post-extraction و Map-guided طبقه‌بندی می‌شود [۸]. در رویکرد Post-extraction ابتدا عارضه مورد نظر به‌طور مستقل و بدون توجه به نقشه قدیمی، از مجموعه داده جدید، استخراج شده و سپس با عوارض متناظر در نقشه مقایسه می‌گردد. این رویکرد، مشابه روش پس طبقه‌بندی^۴ است که در آن هر یک از تصاویر اپک اول و دوم به‌طور مجزا طبقه‌بندی شده و سپس، نتایج طبقه‌بندی با یکدیگر مقایسه می‌گردند. در رویکرد Map-guided از نقشه‌های رقومی موجود جهت تفسیر و پردازش بهتر تصویر و استخراج بهینه عوارض از مجموعه داده جدید استفاده می‌شود. اطلاعات موجود در نقشه قدیمی می‌تواند به‌عنوان داده آموزشی در طبقه‌بندی، ایجاد مدل مفهومی، کاهش فضای جستجو و نیز در برآورد پارامترهای مجهول، مورد استفاده قرار گیرد. فرض بنیادین در این رویکرد، بالا بودن میزان قابلیت اعتماد به نقشه‌های رقومی است [۷]. مسئله مقایسه بین نقشه و تصویر با مقایسه بین دو تصویر به دلیل وجود سطحی از طبقه‌بندی و خلاصه‌سازی در نقشه جهت نمایش فضای واقعی، متفاوت می‌باشد. لذا، در نظر گرفتن موارد زیر جهت به‌کارگیری استراتژی نقشه به تصویر به‌منظور دستیابی به نتیجه مطلوب، ضروری می‌باشد:

۱. نحوه نمایش عوارض در نقشه و تصویر، در سیستم مختصات محلی با یکدیگر متفاوت است.
۲. نقشه، چارچوب واقعی ساختمان را نمایش می‌دهد در حالی که در اطلاعات طیفی و ارتفاعی، پشت‌بام آن‌ها مشاهده می‌گردد و ممکن است با مرز واقعی ساختمان انطباق نداشته باشد.
۳. بین نقشه و تصویر متناظر آن، همیشه خطایی به دلیل فرآیند R2V^۵ و V2R^۶ وجود دارد.

^۴ Post-classification

^۵ Raster2Vector

^۶ Vector2Raster

^۱ Change detection

^۲ Map updating

^۳ Map revision

ناحیه آموزشی مشخص می‌گردد. Le Bris و همکاران [۶] از اطلاعات موجود در نقشه قدیمی به‌عنوان یک تابع احتمال در طبقه‌بندی تصویر به روش MAP استفاده نموده‌اند. این روش قابلیت استفاده از اطلاعات جانبی به شکل یک تابع احتمال معین را دارد.

Bouziani و همکاران [۸] با استفاده از پایگاه داده قدیمی یک مدل مفهومی^۲ از عوارض موجود و قوانین مربوط به تغییرات احتمالی عوارض ایجاد کرده‌اند. سپس تصویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا را به کمک این پایگاه قطعه‌بندی نموده‌اند. اطلاعات هندسی عوارض موجود در پایگاه داده به‌عنوان یک قید در فرآیند قطعه‌بندی وارد شده و موجب تعیین بهینه پارامترهای قطعه‌بندی می‌شود. سپس با طبقه‌بندی تصویر به روش فازی و شناسایی ساختمان‌ها، به آشکارسازی تغییرات رخ داده در آن‌ها پرداخته‌اند. از اطلاعات پایگاه داده نه تنها در مرحله قطعه‌بندی بلکه در مرحله یادگیری نیز استفاده شده است. این کار موجب حذف بسیاری از عدم قطعیت‌ها^۳ در مرحله آشکارسازی تغییرات شده است. تحقیق Baillouel و همکاران [۴] در رابطه با بهبود اطلاعات مکانی نقشه^۴ می‌باشد. در این تحقیق به‌هنگام-سازی نقشه^۵ مورد توجه نبوده است و صرفاً دقت مسطحاتی پلیگون ساختمان‌ها توسط یک مدل منحنی فعال هندسی ناحیه‌مبنای مقید که بر روی یک تصویر ماهواره‌ای پانکروماتیک با قدرت تفکیک بالا اجرا می‌گردد، بهبود می‌یابد. به‌منظور افزایش پایداری مدل از اطلاعات ارتفاعی نیز استفاده شده است. در این تحقیق، استخراج عارضه از تصویر بر مبنای ایجاد یک رابطه ریاضی بین پلیگون نقشه و عارضه موجود در تصویر، انجام می‌گیرد. مدل اولیه در این روش همان پلیگون موجود در نقشه است که با قرارگیری مدل اولیه بر روی تصویر و بهبود مدل در تکرارهای معین، با در نظر گرفتن جزئیات موجود در تصویر و قید هندسی مربوط به شکل پلیگون، مرز نهایی عارضه استخراج شده از تصویر، تولید می‌گردد.

Jin و همکاران [۹] یک روش جدید با عنوان CCDDM^۶ به‌منظور آشکارسازی تغییرات رخ داده در پوشش اراضی

در این تحقیق، ابتدا مروری بر تحقیقات صورت گرفته در زمینه استخراج ساختمان با رویکرد بکارگیری اطلاعات مکانی موجود انجام می‌گیرد. سپس، مبانی تئوری مدل-های منحنی فعال، به‌عنوان روش استخراج ساختمان، تشریح شده است. در ادامه، پس از بیان جزئیات روش پیشنهادی، نتایج بدست آمده از پیاده‌سازی آن بر روی منطقه تست، ارائه و مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲- مروری بر تحقیقات گذشته

مطالعات محدودی در زمینه آشکارسازی تغییرات با استراتژی نقشه به تصویر مبتنی بر رویکرد Map-guided انجام گرفته است. Hanson و همکاران [۵] با استفاده از اطلاعات هندسی عوارض موجود در پایگاه داده قدیمی در دو مرحله قطعه‌بندی و طبقه‌بندی تصویر با کمک ویژگی‌های بافتی و طیفی تصویر ماهواره‌ای و DSM حاصل از داده‌های SAR، به شناسایی تغییرات رخ داده در منطقه پرداخته‌اند. در فرآیند قطعه‌بندی تصویر، اطلاعات هندسی عوارض موجود در پایگاه داده قدیمی به‌عنوان قید هندسی به‌منظور برآورد بهینه پارامترهای قطعه‌بندی^۱ معرفی می‌شوند. مرحله طبقه‌بندی شیء‌گرا، با تعدادی از ویژگی‌های موجود در DSM و تصویر هوایی و اطلاعات پایگاه داده در رابطه با کلاس عوارض موجود در آن، انجام گرفته است. Malpica و همکاران [۷] از اطلاعات موجود در پایگاه داده قدیمی به‌منظور استخراج ساختمان از مجموعه داده‌های جدید که شامل یک تصویر ماهواره‌ای و داده‌های لایدار است، استفاده نموده‌اند. هدف از این کار، به‌هنگام‌سازی نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ پایگاه داده مکانی اسپانیا بوده است. آن‌ها پارسل‌های ساختمانی را که در پایگاه داده وجود داشت، به‌عنوان داده‌های آموزشی به‌منظور طبقه‌بندی داده‌ها به روش SVM و استخراج ساختمان‌ها، بکار بردند. برای این منظور تعداد زیادی نقاط نمونه تصادفی در سطح تصویر پخش نموده‌اند و بر اساس ۵ معیار طیفی و هندسی معین، وضعیت این نقاط را از جهت قرار گرفتن بر روی محدوده ساختمانی و یا محدوده غیرساختمانی ارزیابی کرده‌اند. در صورتی که هر یک از نقاط تصادفی در کلاس ساختمان قرار گرفته باشند پارسل متناظر با آن نقطه در پایگاه داده در صورت وجود، به‌عنوان

^۲ Contextual Model

^۳ Uncertainties

^۴ Map refinement

^۵ Map updating

^۶ Comprehensive Change Detection Method

^۱ Segmentation

کشور آمریکا جهت تولید نقشه تغییرات و به‌روزرسانی پایگاه داده ملی پوشش اراضی (NLCD)^۱ ارائه نموده اند. آنان برای این منظور، از اطلاعات زوج تصاویر ماهواره‌ای Landsat استفاده نموده و با دو مدل MIIC^۲ و یک مدل نوین موسوم به Zone، تغییرات پوشش اراضی را تعیین نموده اند. روش CCDM شامل یک سیستم دانش مینا^۳ است که از اطلاعات موجود (پوشش اراضی سال ۲۰۰۶) و الگوی تغییرات مربوط به آن (تغییرات رخ داده نسبت به سال ۲۰۰۱) جهت تلفیق نتایج حاصل از دو مدل MIIC و Zone برای تولید نتیجه نهایی با کمترین خطای Commission و Omission بهره برده است. پایگاه داده مذکور (NLCD)، به‌صورت رایگان قابل دانلود است.

همان‌طور که اشاره شد، مرحله استخراج ساختمان از مجموعه داده جدید، مهم‌ترین مرحله در به‌همگام‌سازی نقشه ساختمان‌ها است. مدل‌های منحنی فعال^۴ به‌عنوان یکی از روش‌های مطرح و موفق در قطعه‌بندی^۵ تصاویر می‌باشد که در این تحقیق، جهت استخراج ساختمان به‌کاربرده می‌شود. این مدل‌ها برای اولین بار توسط Kass و همکاران در سال ۱۹۸۸ معرفی گردید [۱۰]. با توسعه و تکامل این مدل‌ها، در حال حاضر مدل‌های منحنی فعال را در یک چارچوب مشخص، از دو دیدگاه مختلف، طبقه‌بندی می‌کنند: از لحاظ نحوه مدل‌سازی و از لحاظ اطلاعات تصویری مورد استفاده. این مدل‌ها از لحاظ نحوه مدل‌سازی به دو نوع مدل‌های پارامتریک (صریح) و مدل‌های هندسی (غیر پارامتریک) تقسیم‌بندی می‌شوند. از منظر نوع اطلاعات تصویری مورد استفاده، هریک از مدل‌های پارامتریک و هندسی بر اساس نوع اطلاعاتی که از تصویر اخذ نموده و بکار می‌گیرند، به دو گروه لبه‌مبنا و ناحیه‌مبنا تقسیم می‌شوند. حرکت و تکامل منحنی در مدل‌های لبه‌مبنا مبتنی بر نزدیک شدن به لبه‌های موجود در تصویر بوده و از اطلاعات گرادیان بهره می‌گیرند، درحالی‌که حرکت و تکامل منحنی در مدل‌های ناحیه‌مبنا بر اساس همگونی پیکسل‌های داخل و خارج منحنی بوده و به دلیل عدم استفاده مستقیم از گرادیان، حساسیت کمتری به نویز دارند. در مدل‌های پارامتریک، فرآیند

بهینه‌سازی فقط بر روی تعدادی نقاط از پیش تعیین‌شده^۶ انجام می‌شود درحالی‌که در مدل‌های هندسی، این فرآیند مبتنی بر تئوری سطح هم‌تراز بوده^۷ و بر روی کل تصویر انجام می‌گیرد که ناشی از رفتار Global این مدل‌هاست. تحقیقات گسترده‌ای در رابطه با توسعه هر یک از مدل‌های پارامتریک [۱۱-۱۶] و هندسی [۱۷-۲۵] انجام گرفته است. سه ویژگی مهم مدل‌های هندسی که منجر به کاربرد گسترده آن در رشته‌های مرتبط با پردازش تصویر شده است عبارت‌اند از: سهولت در تعریف منحنی اولیه، عدم حساسیت منحنی اولیه به نزدیکی با مرز عوارض و مدیریت تغییرات توپولوژیک. ویژگی سوم این مدل‌ها موجب به‌کارگیری آن در این تحقیق شده است. با توجه به استفاده از مدل‌های هندسی در این تحقیق، در ادامه، مبانی تئوریک این دسته از مدل‌ها تشریح می‌گردند.

۳- مبانی تئوریک

نمایش و پیاده‌سازی مدل‌های هندسی مبتنی بر تئوری سطح هم‌تراز است که برای اولین بار توسط Osher و همکاران ارائه گردید [۲۳]. در این تئوری، به‌جای تعریف منحنی به‌صورت پارامتریک، یک تابع رستری φ هم‌اندازه با تصویر ورودی تعریف می‌شود و منحنی C، وابسته به این تصویر خواهد بود. منحنی C، مکان هندسی نقاطی از تابع رستری φ است که مقدار تابع در آن نقاط، صفر می‌باشد. با تعریف غیرصریح منحنی C، مدیریت تغییرات توپولوژیک توسط این مدل، ممکن خواهد بود.

در این تحقیق، ترکیبی از دو مدل هندسی لبه‌مبنا و ناحیه‌مبنا جهت شناسایی ساختمان‌ها از اطلاعات ارتفاعی و طیفی موجود، بکار گرفته می‌شود که در ادامه به بیان آن می‌پردازیم. مدل هندسی ناحیه‌مبنای معرفی‌شده توسط Chan و Vese به‌منظور قطعه‌بندی تصاویر با لبه‌های ضعیف و یا تصاویر دارای نویز معرفی گردید [۱۹]. ایده اصلی قطعه‌بندی تصویر در این مدل‌ها، بررسی میزان همگونی پیکسل‌های داخل و خارج منحنی بر اساس وزن دهی به دو ترم داخلی و خارجی تعریف‌شده در تابع انرژی می‌باشد. مجموع مربعات اختلاف مقادیر پیکسل‌های داخل و خارج منحنی از میانگین آن‌ها، به ترتیب ترم‌های داخلی

^۱ National Land Cover Database

^۲ Multi-Index Integrated Change Analysis

^۳ Knowledge-base System

^۴ Active contour, Moving front, Snake

^۵ Segmentation

^۶ Snake nodes

^۷ Level set theory

به دلیل تکنیکی تابع دلتای دیراک، تابع هویساید را با یک تابع دیگر تقریب می‌زنند:

$$H_\varepsilon(x) = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2}{\pi} \arctan \left(\frac{x}{\varepsilon} \right) \right); \quad 0 < \varepsilon < 1 \quad (۸)$$

لذا، تابع دلتای دیراک برابر خواهد بود با:

$$\delta(x) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon^2 + x^2} \quad (۹)$$

مهمترین نقص این مدل، کارایی پائین آن در مواجهه با تصاویر با ابعاد بزرگ و جزئیات زیاد، می‌باشد، به‌طوری‌که نمی‌توان با یک‌بار اجرای مدل بر روی تصویر ورودی، به قطعات تصویری موردنظر دست یافت. این نقص ذاتی بسته به نوع تصویر ورودی به شکل متفاوتی بروز خواهد کرد. در صورتی‌که تصویر ورودی، یک تصویر اپتیک باشد، بسیاری از عوارض مانند خودروها و معابر همراه با ساختمان‌ها قطعه‌بندی و استخراج‌شده و نتیجه آن حجم انبوهی از قطعات تصویری است که فقط برخی از آن‌ها قطعات تصویری موردنظر می‌باشد. درواقع، در چنین حالتی با افزونگی قطعات استخراج‌شده مواجه خواهیم بود. برای رفع این مشکل، احمدی و همکاران [۱۷] دو ترم به تابع انرژی معرفی شده توسط [۱۹] اضافه نموده‌اند که همانند داده آموزشی عمل کرده و فقط عوارض ساختمانی استخراج می‌گردند. ویژگی ممتاز تابع انرژی معرفی‌شده، برخلاف بسیاری از تحقیقات صورت‌پذیرفته در حوزه استخراج ساختمان، عدم وابستگی به داده‌های ارتفاعی می‌باشد.

در مدل‌های لبه مبنای هندسی که اولین بار توسط Caselles و همکاران ابداع شده است [۱۸]، تابع انرژی، تابعی از طول منحنی اولیه بوده و در یک مجموعه تکرار معین، منحنی اولیه با ضرب شدن در یک تابع نشانگر لبه^۱، در جهت بردار نرمال بر منحنی، کاهش (افزایش) طول یافته و به مرز عارضه می‌رسد. تابع انرژی کلی به‌صورت زیر است:

$$E(t) = \int_0^1 g(I) \left| \frac{\partial C}{\partial P} \right| dp \quad (۱۰)$$

و خارجی تابع انرژی را تشکیل می‌دهند. در این مدل‌ها، از تئوری سطح هم‌تراز به‌منظور نمایش منحنی و کمینه‌سازی تابع انرژی تعریف‌شده استفاده می‌گردد. در چنین مدل‌هایی، تابع سطح هم‌تراز اولیه (تابع تعریف شده رستری φ) در یک فرآیند تکراری، به نحوی تغییر می‌یابد که درنهایت، تابع انرژی مدل در کمترین مقدار خود قرار بگیرد. تابع انرژی معرفی‌شده عبارت است از [۱۹]:

$$E(C) = \mu \cdot \text{Length}(C) + v \cdot \text{Area}(\text{inside}(C)) + \lambda_1 \iint_{\text{inside}} |I(x, y) - c_1|^2 dx dy + \lambda_2 \iint_{\text{outside}} |I(x, y) - c_2|^2 dx dy \quad (۱)$$

بازنویسی معادله فوق بر مبنای تئوری سطح هم‌تراز به‌صورت زیر خواهد بود:

$$E(\varphi) = \mu \int_{\Omega} \delta(\varphi) |\nabla \varphi| + v \iint_{\Omega} H(\varphi) dx dy + \lambda_1 \iint_{\Omega} |I(x, y) - c_1|^2 H(\varphi) dx dy + \lambda_2 \iint_{\Omega} |I(x, y) - c_2|^2 (1 - H(\varphi)) dx dy \quad (۲)$$

ثوابت c_1 و c_2 میانگین مقادیر پیکسل‌های داخل و خارج منحنی هستند و در هر مرحله تکرار طبق روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$c_1(\varphi) = \frac{\int_{\Omega} I(x, y) \cdot H(\varphi(x, y)) dx dy}{\int_{\Omega} H(\varphi(x, y)) dx dy} \quad (۳)$$

$$c_2(\varphi) = \frac{\int_{\Omega} I(x, y) \cdot (1 - H(\varphi(x, y))) dx dy}{\int_{\Omega} (1 - H(\varphi(x, y))) dx dy} \quad (۴)$$

معادله نهایی تغییرات تابع φ به‌صورت زیر است:

$$\frac{\partial E}{\partial \varphi} = \delta(\varphi) \cdot [-\mu \cdot \text{div} \left(\frac{\nabla \varphi}{|\nabla \varphi|} \right) + v + \lambda_1 (u_0(x, y) - c_1)^2 - \lambda_2 (u_0(x, y) - c_2)^2] \quad (۵)$$

که در هر تکرار، تابع φ تغییر کرده و می‌توان منحنی C را از آن استخراج نمود. تابع H و δ به‌ترتیب توابع هویساید و دلتای دیراک است و به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\text{Heaviside}(x) = H(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (۶)$$

$$\text{Dirac}(x) = \delta(x) = \frac{d}{dx} H(x) \quad (۷)$$

^۱ Edge indicator function

در رابطه ۱۰، $C(p)$ یک مجموعه منحنی بسته بوده که p پارامتر منحنی و مقدار آن بین $0 < p < 1$ می باشد. I تصویر ورودی و $g(I)$ تابع نشانگر لبه بوده که تابعی از گرادیان تصویر می باشد و به صورت زیر تعریف می گردد:

$$g(I) = \frac{1}{1 + |\nabla G_{\sigma} * I|^a} \quad (11)$$

a ضریبی بزرگتر از یک و G_{σ} تابع گوسین با پارامتر σ است که به منظور حذف نویزهای احتمالی در تصویر بکار برده می شود. پارامتر a مهم ترین پارامتر در این مدل محسوب می شود. معادله حرکت منحنی (تغییرات منحنی نسبت به زمان) عبارت است از:

$$\frac{\partial C(t)}{\partial t} = g(I)k\vec{N} - (\nabla g \cdot \vec{N}) \quad (12)$$

معادله فوق طبق تئوری سطح هم تراز به صورت زیر بازنویسی می شود:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = g(I)(k + c)|\nabla \varphi| + \nabla \varphi \nabla g \quad (13)$$

که k میزان انحنا و c مقدار ثابت مثبتی است که بهبود همگرایی مدل، به پارامتر انحنا اضافه می گردد. طبق تساوی زیر می توان معادله فرآیند تکامل منحنی را بدست آورد:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = -\frac{\partial E}{\partial \varphi} \quad (14)$$

معادله نهایی تابع φ برابر خواهد بود با:

$$\varphi^{n+1}(x, y) = \varphi^n(x, y) - \frac{\partial E}{\partial \varphi(x, y)} \cdot dt \quad (15)$$

در مدل فوق، در هر مرحله تکرار، نیاز به اجرای فرآیند Re-initialization می باشد که بار محاسباتی زیادی داشته و زمان بر است. به منظور رفع این مشکل، Li و همکاران یک ترم جدید به نام ترم تنبیهی به مدل فوق اضافه نموده اند که موجب بهبود عملکرد مدل و حذف مرحله مذکور می گردد [۲۱]. این ترم به صورت زیر تعریف می شود:

$$\rho(\varphi) = \int_{\Omega} \frac{1}{2} (|\nabla \varphi| - 1)^2 dx dy \quad (16)$$

که Ω محدوده تصویر ورودی می باشد.

مدل فوق علیرغم کارایی و سرعت بالا در فرآیند تکامل، در مواجهه با اشیا تصویری با لبه های ضعیف به درستی عمل نمی کند. در چنین مواردی، فرآیند تکامل، ناپایدار گشته و موجب همگرایی منحنی به مرزهای اشتباه می گردد.

این تحقیق روشی را به منظور استخراج ساختمان مبتنی بر مدل های منحنی فعال ارائه می نماید که بتوان از اطلاعات هندسی موجود در نقشه قدیمی استفاده نمود تا با اتکا بر نقاط قوت هر یک از مجموعه داده های طیفی و ارتفاعی در دسترس، از اطلاعات موجود در آن ها به نحو احسن بهره برداری گردد. چنین رویکردی موجب رفع نواقص مذکور در مدل ناحیه مبنای معرفی شده توسط [۱۹]، از جمله عدم کارایی آن در مواجهه با تصاویر با ابعاد بزرگ و جزئیات زیاد و عدم موفقیت آن با یک بار اجرا بر روی اینگونه تصاویر می گردد. همچنین موجب رفع نقص مدل هندسی لبه مبنای پیشنهادی توسط [۲۱] در مواجهه با تصاویر با اطلاعات گرادیان ضعیف می گردد. لذا در ابتدا به بیان روش پیشنهادی خواهیم پرداخت و سپس به پیاده سازی آن بر روی داده های موجود و ارزیابی نتایج خواهیم پرداخت.

۴- روش تحقیق

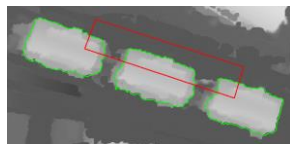
در این تحقیق، پروسه آشکارسازی تغییرات هندسی ساختمان ها، بر اساس رویکرد Map-guided بوده که از اطلاعات هندسی پایگاه داده در مرحله استخراج ساختمان از داده های جدید جهت بهبود فرآیند شناسایی ساختمان، استفاده می کند. چنین رویکردی موجب کاهش فضای جستجو، کاهش خطای شناسایی ساختمان و افزایش دقت استخراج مرز ساختمان می گردد.

در تحقیق پیش رو، از داده های مرجع تهیه شده توسط جامعه بین المللی فتوگرامتری و سنجش از دور^۱ استفاده می گردد. منطقه مورد مطالعه بخشی از شهر وایهینگن واقع در کشور آلمان می باشد. این داده ها شامل یک تصویر اورتو و یک مدل رقومی سطح با قدرت تفکیک مکانی ۹ سانتی متر حاصل از تناظریابی زوج تصاویر موجود و نیز، نقشه قدیمی مربوط به آن منطقه می باشد. زوج تصاویر

^۱ ISPRS

نوآوری‌های این تحقیق به شمار می‌رود. در این روش، به جای اجرای یکباره مدل ناحیه مبنا [۱۹] بر روی کل DSM، مدل مذکور بر روی بخشی از DSM، متناسب با موقعیت پلیگون‌های قدیمی موجود در پایگاه داده، اجرا می‌گردد. در روش مذکور، از الگوریتم‌های فیلترینگ به-منظور تولید nDSM استفاده نشده است بلکه محدوده تقریبی ساختمان‌ها^۲ از DSM موجود به کمک مدل هندسی ناحیه مبنای مذکور شناسایی شده‌اند.

محدوده مذکور توسط موقعیت هر یک از پلیگون‌های نقشه تعیین می‌گردد. برای این منظور، یک Bounding box با یک بافر مناسب برای هر یک از پلیگون‌ها تعریف می‌گردد. این محدوده که همانند یک پنجره جستجو می‌باشد، بر روی DSM، نگاشت شده و DSM متناظر با آن، انتخاب می‌گردد. با تعریف هر یک از پلیگون‌های قدیمی به‌عنوان منحنی اولیه جهت اجرای مدل ناحیه مبنا می‌توان به محدوده تقریبی ساختمان دست یافت. در صورتی که ساختمان تغییر کرده باشد، با افزایش ابعاد پنجره جستجو متناسب با شرایط، در یک یا چند جهت، و اجرای مجدد مدل می‌توان به مرز اولیه ساختمان دست یافت. به‌طور مثال، در شکل ۲، مستطیل قرمز رنگ، پلیگون قدیمی بوده که به‌عنوان منحنی اولیه به مدل هندسی ناحیه مبنا معرفی می‌شود. خروجی مدل، محل قرارگیری ساختمان‌های جدید می‌باشند که با رنگ سبز نشان داده شده است. دلیل استفاده از این نوع مدل، قابلیت مدیریت تغییرات توپولوژیک می‌باشد که می‌تواند تمام تغییرات هندسی احتمالی در ساختمان مانند حالت تخریب، چند به یک، یک به چند، بزرگ شده، کوچک شده، تخریب شده، بدون تغییر، حالت‌های ممکن تغییرات هندسی



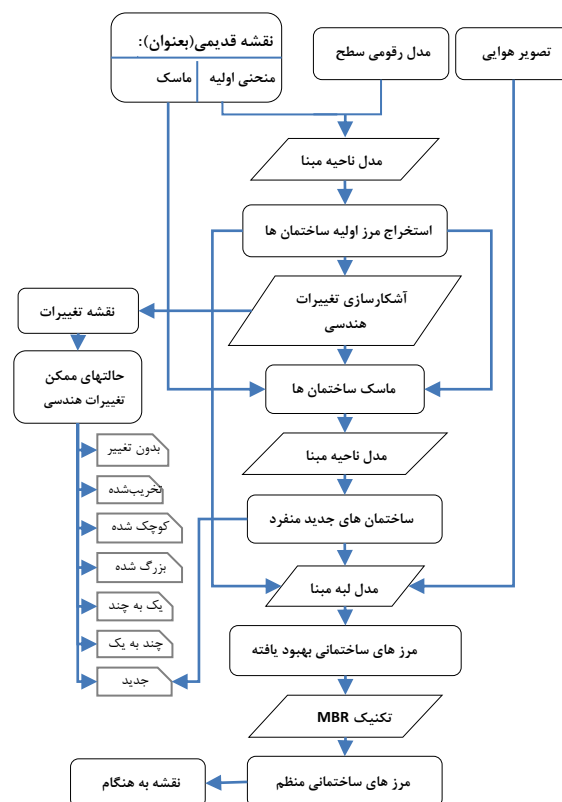
شکل ۲- معرفی پلیگون قدیمی به‌عنوان منحنی اولیه و اجرای مدل

خروجی ارزیابی نقشه قدیمی، مجموعه‌ای از ساختمان‌های استخراج شده از DSM می‌باشد که شامل ساختمان‌های جدیدالاحداث منفرد نیست. شکل ۳ نقشه قدیمی و شکل ۴ خروجی مرحله ارزیابی نقشه قدیمی توسط مدل هندسی

بکاررفته جهت تولید داده‌های فوق، تصاویر دوربین DMC ZI با قدرت تفکیک مکانی ۸ سانتی متر می‌باشد.

با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه از پوشش گیاهی زیادی برخوردار است، شناسایی و حذف آن از مدل رقومی سطح توسط شاخص پوشش گیاهی^۱ انجام گرفته است.

طبق فلوجارت پیشنهادی نمایش داده شده در شکل ۱، در یک رویکرد سلسله‌مراتبی، ترکیبی از دو مدل منحنی فعال هندسی به‌منظور استخراج ساختمان انتخاب می‌گردد. چنین رویکردی، برای شناسایی ساختمان‌های با ویژگی‌های هندسی و رفتار طیفی متفاوت، مناسب می‌باشد.



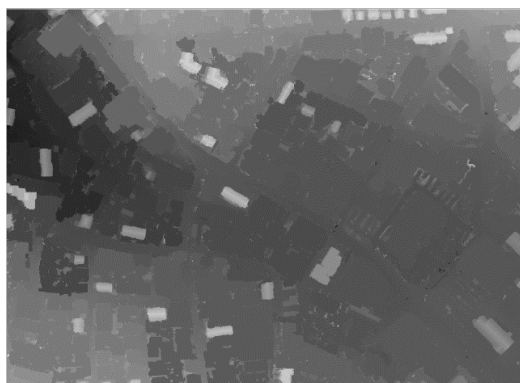
شکل ۱- فلوجارت روش پیشنهادی جهت به‌هنگام‌سازی نقشه ساختمان‌ها

۴-۱- استخراج مرز اولیه ساختمان‌ها و آشکارسازی تغییرات هندسی رخ داده

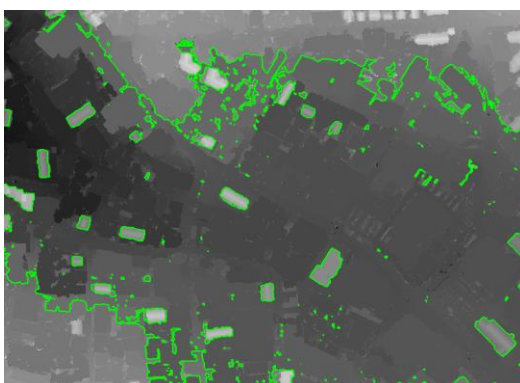
همانطور که اشاره گردید، مدل ناحیه مبنای هندسی ارائه شده توسط [۱۹] در شناسایی ساختمان‌ها به صورت یکجا و با یکبار اجرای مدل، نا موفق می‌باشد. برای رفع این مشکل، مدل هندسی ناحیه مبنا در یک محدوده مشخص بر روی DSM اجرا می‌گردد که یکی از

^۲ Building Blobs

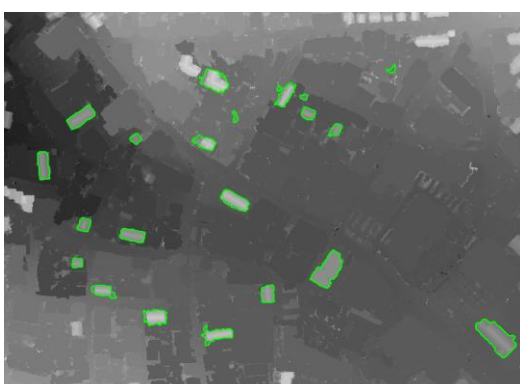
^۱ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)



شکل ۵- DSM حاصل از اعمال ماسک



شکل ۶- خروجی اجرای مدل ناحیه مبنا بر روی DSM حاصل از اعمال ماسک



شکل ۷- پس پردازش نتایج و شناسایی ساختمان های جدید منفرد

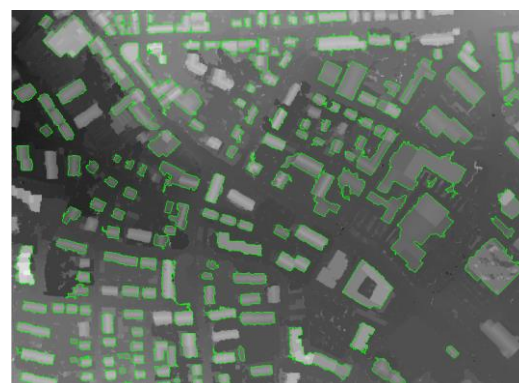
همان طور که در شکل ۷ مشاهده می گردد برخی از ساختمان های جدید، شناسایی نشده و برخی از عوارض نیز، اشتباهاً به عنوان ساختمان شناسایی شده اند.

پس از شناسایی ساختمان های جدید، بررسی تمام حالت های تغییرات به اتمام می رسد و می توان نقشه تغییرات^۱ را تولید نمود. پس از اجرای فرآیند آشکارسازی تغییرات هندسی رخ داده در پلیگون ها (مقایسه پلیگون های قدیمی و ساختمان های استخراج شده)، مرزهای تقریبی

ناحیه مبنا را نشان می دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می شود، ساختمان های جدیدالاحداث منفرد شناسایی نشده اند. برای شناسایی این گروه از ساختمان ها، نقشه قدیمی و ساختمان های استخراج شده به عنوان ماسک بر روی DSM نگاشت می شوند. با کاهش ارتفاع محدوده های نگاشت شده، می توان به حالتی از مدل رقومی سطح منطقه رسید که فقط ساختمان های جدید منفرد در آن وجود دارند (شکل ۵). با اجرای مدل هندسی ناحیه مبنا بر روی شکل ۵، ساختمان های جدید به همراه انبوهی از منحنی های زائد استخراج می شوند که در شکل ۶ نمایش داده شده است. لذا با انجام یک مرحله پس پردازشی شامل حذف منحنی های باز، حذف منحنی های کوچک تر از ۵۰ مترمربع و نیز حذف منحنی های با پارامتر فشردگی بیشتر از ۳، می توان ساختمان های جدید منفرد را استخراج نمود (شکل ۷). لازم به ذکر است که مقادیر مربوط به حد آستانه های مرحله پس پردازش منحنی های تولید شده به صورت تجربی، بر اساس ابعاد ساختمان های موجود در منطقه، نحوه تولید DSM و ابعاد زمینی پیکسل های آن تعیین شده است.



شکل ۸- نقشه قدیمی منطقه



شکل ۹- خروجی مدل ناحیه مبنا (نتیجه ارزیابی نقشه قدیمی)

^۱ Change Map

اعمال چنین قیدی موجب می‌گردد که منحنی فعال طی فرآیند تکامل، در صورت عبور از لبه واقعی با گرادیان ضعیف، بعد از طی فاصله کوتاهی به سطح هم‌تراز مقید رسیده و متوقف شود و مانع فاصله گرفتن بیش از حد منحنی از لبه واقعی و یا ناپایدار شدن فرآیند تکامل گردد. قید مذکور به صورت زیر تعریف می‌گردد:

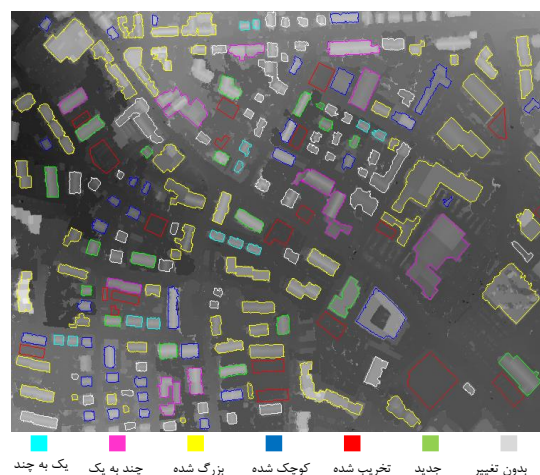
$$\psi(\varphi) = \text{mean}(\int_Q \varphi(x, y) dx dy) \quad (17)$$

که Q مکان هندسی محدوده خارج از منحنی تولید شده توسط مدل هندسی ناحیه‌مبنا برای هر یک از ساختمان‌هاست. با اعمال قید فوق در تابع φ ، فرآیند تکامل تابع φ و در نتیجه تکامل منحنی، به صورت زیر خواهد بود:

$$\varphi^{n+1}(x, y) = \varphi^n(x, y) - \frac{\partial E}{\partial \varphi(x, y)} \cdot dt + \psi(\varphi^n) \quad (18)$$

به منظور پیاده سازی روش پیشنهادی جهت استخراج مرز دقیق ساختمان‌های شناسایی شده، مرزهای استخراج شده از DSM با اعمال فرآیند فرسایش^۲ توسط یک المان ساختاری^۳ ۱۸ پیکسلی، به عنوان منحنی اولیه به مدل هندسی مقید لبه‌مبنا که در بالا به آن اشاره شد، معرفی می‌گردد و بر روی تصویر هوایی اجرا می‌شود. قید مذکور یکی از نوآوری‌های این تحقیق به شمار می‌رود که از خروجی مدل ناحیه‌مبنا نشأت گرفته و موجب رفع نقص موجود در مدل لبه‌مبنا می‌گردد. نتیجه اجرای مدل هندسی لبه‌مبنای مقید بر روی تصویر هوایی اورتو با قدرت تفکیک زمینی^۴ ۹ سانتی‌متر، یک مجموعه اطلاعات برداری حاوی مرز دقیق ساختمان‌ها می‌باشد. به منظور نمایش بهتر نتایج حاصله، خروجی مدل هندسی لبه‌مبنای مقید بر روی تصویر هوایی منطقه نشان داده شده است (شکل ۹). می‌توان نتایج حاصله را بر روی دو ساختمان نمونه در شکل ۱۰ مشاهده کرد.

استخراج شده متناسب با تغییر رخ داده در آن، با رنگ مربوطه، مشخص و نمایش داده می‌شوند. این نقشه اطلاعات مفیدی در رابطه با نوع تغییرات و توزیع مکانی آن‌ها ارائه می‌کند و می‌تواند در تحلیل‌های مرتبط با سیستم‌های اطلاعات مکانی مانند پیش‌بینی تغییرات آتی مفید باشد. عوارض تغییر یافته، با توجه به نوع تغییر، مرزهای استخراج شده با رنگ‌های متفاوتی نمایش داده می‌شوند. نقشه نهایی تغییرات در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸- نقشه تغییرات

۴-۲- استخراج مرز دقیق ساختمان‌ها

در ادامه به منظور استخراج مرز دقیق ساختمان‌های شناسایی شده، از حالت بهبود یافته مدل ارائه شده توسط [۲۱] استفاده می‌شود. همانطور که اشاره شد، این مدل با وجود توانایی بالا در استخراج خودکار عوارض از تصویر، در استخراج مرز ساختمان‌های با لبه‌های ضعیف به درستی عمل نکرده و از مرز واقعی عبور نموده و بر لبه دیگری منطبق می‌شود و یا فرآیند تکامل، ناپایدار شده و منحنی بطور کلی به عارضه دیگری همگرا می‌شود. در این تحقیق، جهت رفع این نقص، یک قید به مدل لبه‌مبنای مذکور اضافه می‌گردد که از نوآوری‌های این تحقیق به شمار می‌آید. این قید، نشأت گرفته از مرز ساختمان‌های استخراج شده از DSM می‌باشد که به عنوان یک سطح هم‌تراز مقید^۱ به تابع φ اضافه می‌شود و موجب بهبود عملکرد این مدل در مواجهه با لبه‌های ضعیف می‌گردد.

^۲ Erosion

^۳ Structure Element

^۴ Ground Sampling Interval (GSD)

^۱ Constrained Level Set



شکل ۹- خروجی مدل هندسی لبه مبنای مقید



شکل ۱۰- نمونه ای از خروجی مدل لبه مبنای



شکل ۱۱- تأثیر قید پیشنهادی

نتایج با قابلیت اعتماد بیشتر، شده و امکان استفاده از این نوع مدل منحنی فعال جهت استخراج ساختمان را افزایش داده است زیرا تحقیقات محدودی در زمینه به کارگیری مدل هندسی لبه مبنای در استخراج ساختمان انجام پذیرفته است [۲۶]. مهم ترین دلیل این امر، عدم توانایی استخراج برخی از اشیاء تصویری^۱ به دلیل اطلاعات گرادیان متفاوت و ضعیف می باشد که عامل آن وجود سایه و یا روشنایی نامناسب محیط می باشد. در چنین حالتی، بدون اعمال قید پیشنهادی، منحنی عموماً از مرز واقعی عارضه عبور کرده و به حاشیه تصویر می رسد و نتیجه نادرستی به همراه خواهد داشت. همان طور که مشاهده می شود، روش ارائه شده، هیچ محدودیتی در رابطه با استخراج ساختمان های با رفتار هندسی و طیفی متفاوت، نداشته و با دقت مناسبی مرز ساختمان ها را استخراج می نماید.

با وجود قابلیت بالای مدل لبه مبنای در استخراج مرز ساختمان ها، در برخی از ساختمان ها به دلیل بافت خاص پوشش پشت بام، منحنی فعال در طی فرآیند تکامل، اشتباهاً بر روی لبه دیگری متوقف شده است. مطابق شکل ۱۲، منحنی فعال حین فرآیند تکامل به یک لبه کاذب با گرادیان بالا، رسیده و متوقف شده است.



شکل ۱۲- عدم موفقیت مدل لبه مبنای در شناسایی مرز ساختمان های دارای بافت خاص

۴-۳- خلاصه سازی و منظم سازی نتایج

مجموعه اطلاعات برداری حاصله که مرز بهبود یافته ساختمان هاست، دارای دو نقص عمده است: نامنظم بودن مرزها و افزونگی اطلاعات. لذا فرآیند خلاصه سازی و منظم سازی^۲ مرزهای نهایی به روش MBR^۳، به منظور ثبت

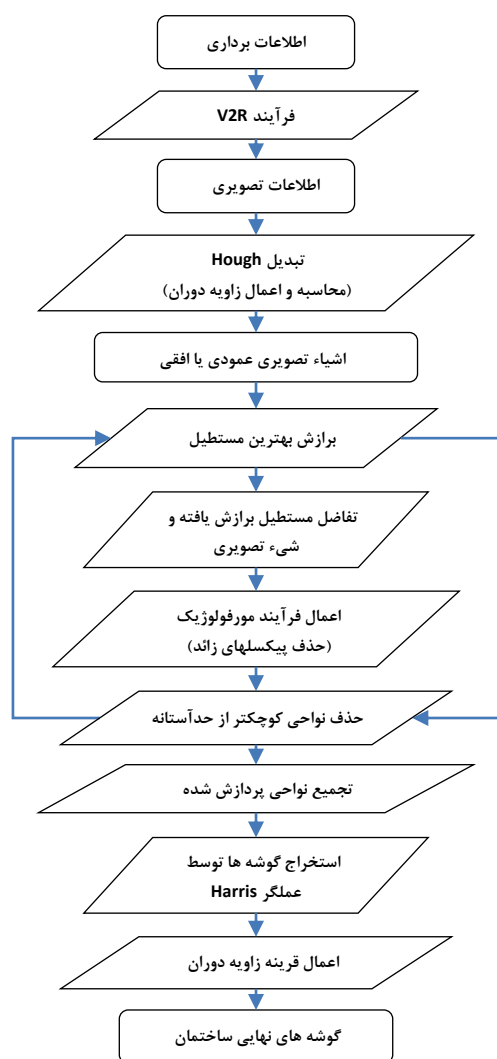
همچنین، می توان تأثیر اعمال قید پیشنهادی را در شکل ۱۱ مشاهده نمود که موجب توقف منحنی در مناطق با اطلاعات گرادیان ضعیف، شده است. منحنی سبز رنگ خروجی اجرای مدل هندسی ناحیه مبنای بر روی DSM و منحنی قرمز رنگ خروجی مدل هندسی لبه مبنای مقید پیشنهادی می باشد. این قید موجب حصول

^۱ Image objects

^۲ Approximation, Generalization, Simplification

^۳ Minimum Bounding Rectangle

هاف^۴ بکار رفته است که با رنگ سبز نمایش داده شده است. شناسایی این گروه از ساختمان‌ها که دارای چندین جهت توجیه^۵ هستند، به صورت اتوماتیک می‌باشد. با توجه به پیچیدگی ساختمان‌های موجود در منطقه و حدآستانه از پیش تعیین شده برای خلاصه‌سازی و ساده‌سازی مرزهای نهایی، روش MBR حداکثر در ۱۰ تکرار به نتیجه می‌رسد. لذا، در آن دسته از ساختمان‌هایی که این روش در تعداد تکرارهای مذکور به نتیجه معینی نمی‌رسد و فرآیند تکرار واگرا می‌شود، تبدیل هاف مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱۳- فلوچارت روش MBR

نتایج در پایگاه داده انجام می‌گیرد. بدون اجرای این مرحله، ذخیره اطلاعات در پایگاه داده و نمایش آن امکان پذیر نخواهد بود. فلوچارت کلی روش MBR جهت منظم‌سازی و خلاصه‌سازی اطلاعات برداری حاصله در شکل ۱۳ نشان داده شده است. این روش جزو تکنیک‌هایی است که از رویکرد بالا به پائین^۱ تبعیت می‌کند و لذا، برخلاف روش‌های دیگر، وجود برخی جزئیات و نویز در نتایج، تأثیری در عملکرد آن ندارد. همچنین، با توجه به اینکه اغلب ساختمان‌های ارزیابی شده در این تحقیق دارای زوایای قائمه هستند، این روش، مناسب‌تر بوده و نتایج بهتری را به همراه دارد.

طبق فلوچارت نمایش داده شده در شکل ۱۳، ابتدا اطلاعات برداری طی فرآیند V2R^۲ به اطلاعات رستری تبدیل شده و جهت کلی شیء تصویری توسط تبدیل هاف محاسبه می‌گردد. با اعمال زاویه بدست آمده از تبدیل هاف، شیء تصویری تا حد زیادی به صورت افقی یا عمودی قابل نمایش خواهد بود. سپس، بهترین مستطیل به شیء تصویری مذکور برازش داده شده و از آن کسر می‌گردد. در ادامه، جهت حذف پیکسل‌های زائد، یک فرآیند مورفولوژیک^۳ بر روی تصویر اعمال می‌شود و نواحی کوچک‌تر از حد آستانه حذف گشته و برای هر یک از نواحی باقیمانده، بهترین مستطیل برازش داده می‌شود. فرآیند تکراری برازش مستطیل و تفاضل آن از شیء تصویری باقیمانده و اعمال فرآیند مورفولوژیک تا جایی ادامه می‌یابد که مساحت نواحی باقیمانده، کمتر از حد آستانه تعریف شده باشد. حال، با تجمیع نواحی پردازش شده و اعمال عملگر Harris، می‌توان به گوشه‌های شیء تصویری دست یافت. با اتصال گوشه‌های بدست آمده، مرز ساختمان‌ها قابل نمایش خواهد بود.

می‌توان در شکل ۱۴ خروجی روش MBR را که مجموعه‌ای از نقاط هستند، مشاهده نمود. حاصل اتصال این نقاط، با رعایت ترتیب قرارگیری آن‌ها نسبت به هم، نمایی از مرز نهایی ساختمان‌ها خواهد بود که در شکل ۱۵ نشان داده شده است. روش MBR با وجود قابلیت و انعطاف بالا، قادر به مدل‌سازی برخی از ساختمان‌های پیچیده نبوده و برای این تعداد از ساختمان‌ها روش تبدیل

^۴ Hough Transform
^۵ Multi Orientation

^۱ Top-down
^۲ Vector 2 Raster
^۳ Morphological Refinement

داده های مرجع می پردازیم. داده های مرجع، به صورت دستی، توسط اپراتور انسانی با دقت بالا تهیه شده است. به منظور تحلیل آماری نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات هندسی، از ماتریس خطا استفاده می گردد. معیار صحت کلی^۱، میانگینی از دقت آشکارسازی تغییرات است که نسبت تغییرات شناسایی شده صحیح به کل تغییرات گزارش شده را بیان می کند. ضریب کاپا^۲ دقت طبقه بندی را نسبت به یک طبقه بندی کاملاً تصادفی محاسبه می کند. این پارامتر، دقت طبقه بندی را نسبت به حالتی که یک تصویر کاملاً به صورت تصادفی طبقه بندی شود ارائه می دهد. جدول ۱ دقت کلی و ضریب کاپا مربوط به نتیجه آشکارسازی تغییرات هندسی رخ داده را نشان می دهد که شامل تمام تغییرات می باشد.

جدول ۱- صحت کلی و ضریب کاپا

صحت کلی	ضریب کاپا
٪۷۹	٪۷۴

جهت ارزیابی کمی مرزهای نهایی استخراج شده از معیار صحت نسبی^۳ استفاده شده است که از رابطه ۱۹ محاسبه می گردد:

$$Shape Accuracy = 100 * \left(1 - \frac{M - N}{M}\right) \quad (19)$$

که M و N معادل مساحت پلیگون های مرجع و مساحت ساختمان های بدست آمده حاصل از مرزهای استخراج شده توسط روش پیشنهادی می باشد. جدول ۲ بیانگر صحت نسبی مرزهای استخراج شده می باشد:

جدول ۲- صحت نسبی مرزهای ساختمانی نهایی

صحت نسبی (بر حسب درصد)	Max	Mean	Min
	۹۹	۹۲	۶۲

با توجه به ماتریس خطاها و محاسبه مقادیر TP، TN، FP و FN بدون احتساب ساختمان های جدیدالاحداث، پارامترهای صحت^۴ و تمامیت^۵، به عنوان آماره های مهم در ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی، به ترتیب برابر ۹۱٪ و ۷۸٪ می باشد.

^۱ Overall Accuracy (O.A)

^۲ Kappa coefficient

^۳ Shape Accuracy

^۴ Correctness

^۵ Completeness



شکل ۱۴- خروجی روش MBR



شکل ۱۵- اتصال نقاط بدست آمده از MBR



شکل ۱۶- نمونه ای از خروجی MBR

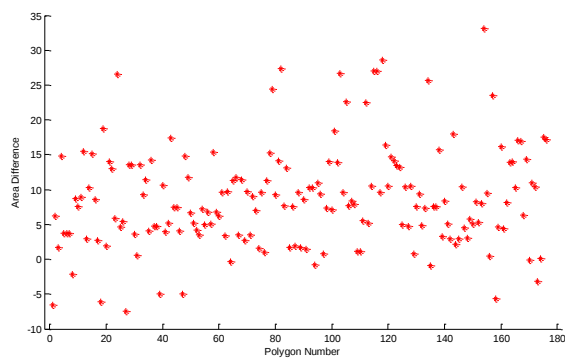
در شکل ۱۶ خروجی روش MBR، برای دو ساختمان نمونه که در شکل ۱۵ قابل مشاهده می باشد، نمایش داده شده است. نقاط سبز رنگ خروجی عملگر Harris و خطوط زرد رنگ، خط واصل نقاط مذکور می باشد.

۵- ارزیابی نتایج

در این بخش به ارزیابی نتایج حاصل از شناسایی تغییرات رخ داده در منطقه و نیز نتایج حاصل از استخراج ساختمان از مدل رقومی سطح و تصویر هوایی اورتو و خروجی MBR نسبت به یکدیگر و نیز مقایسه آن با

مستطیل برازش داده شده، محاط بر چندضلعی است، مثبت بودن مقادیر فوق، طبیعی خواهد بود.

جدول ۴ مبین نتایج حاصل از تحلیل آماری اختلاف مساحت بین خروجی مدل لبه مبنای پیشنهادی و حالت خلاصه سازی شده آن به روش MBR، می باشد.



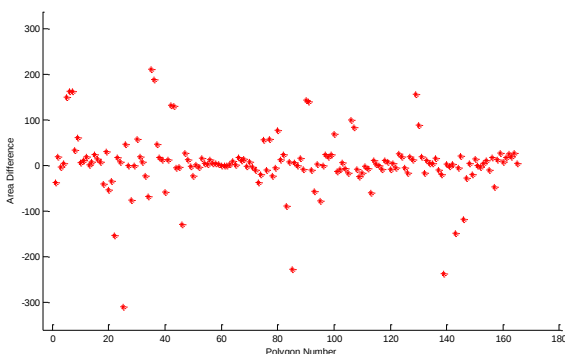
شکل ۱۸- اختلاف مساحت بین خروجی مدل لبه مبنای و حالت خلاصه سازی شده آن به روش MBR

جدول ۴- پارامترهای آماری شکل ۱۸

Min	Max	Mean	Median	Std
-7.4	58.8	9.40	8.30	8.31

شکل ۱۹ اختلاف مساحت بین خروجی روش MBR به عنوان مرز نهایی ساختمان ها و پلیگون های مرجع را نشان می دهد. همانطور که در شکل ۱۹ مشاهده می گردد، ۱۶۹ پلیگون مورد ارزیابی قرار گرفته است که نسبت به نمودارهای شکل ۱۷ و شکل ۱۸ از تعداد کمتری برخوردار است. دلیل این امر، عدم شناسایی برخی از ساختمان های جدید و نیز عدم استخراج صحیح بعضی از ساختمان های نزدیک به هم می باشد.

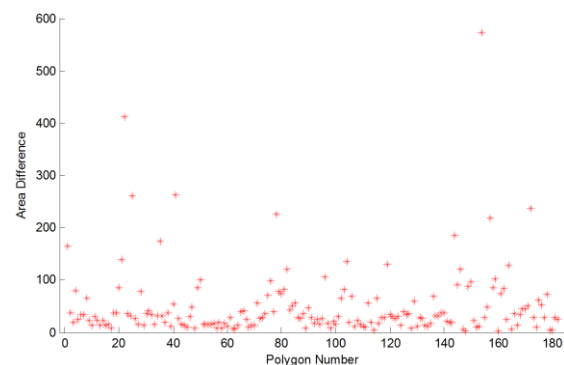
پارامترهای آماری حاصل از تحلیل نتایج بدست آمده از اختلاف مساحت بین خروجی MBR به عنوان مرز نهایی و پلیگون های مرجع، در جدول ۵ قابل مشاهده است.



شکل ۱۹- اختلاف مساحت بین خروجی روش MBR به عنوان مرز نهایی و پلیگون های مرجع

شکل ۱۷ اختلاف مساحت بین مرز تولید شده توسط مدل ناحیه مبنای و مدل لبه مبنای مقید را که به ترتیب بر روی مدل رقومی سطح زمین و تصویر هوایی اورتو اجرا شده اند، نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، این اختلاف در برخی از ساختمان ها مقدار زیادی بوده که دلیل آن عدم رسیدن منحنی به مرز واقعی، به دلیل وجود لبه های زائد در پشت بام می باشد که عمدتاً مربوط به ساختمان های با ابعاد بزرگ هستند. به دلیل قید اعمال شده در مدل لبه مبنای، تمام مقادیر، بالاتر از صفر می باشد.

جدول ۳، نتایج حاصل از تحلیل آماری اختلاف مساحت بین مرز تولید شده توسط مدل ناحیه مبنای و مدل لبه مبنای مقید را نشان می دهد.



شکل ۱۷- اختلاف مساحت بین مرز تولید شده توسط مدل ناحیه مبنای و مدل لبه مبنای مقید

جدول ۳- پارامترهای آماری شکل ۱۷

Min	Max	Mean	Median	Std
2.4	573.6	48.3	28.9	65.4

شکل ۱۸، اختلاف مساحت بین خروجی مدل لبه مبنای و حالت خلاصه سازی شده آن به روش MBR را نشان می دهد. حداکثر اختلاف مساحت حدود ۳۳ مترمربع است که مربوط به یک ساختمان نسبتاً بزرگ می باشد. کمترین اختلاف مساحت مربوط به ساختمان های ساده و بدون پیچیدگی هندسی و بافتی می باشد. در این دسته از ساختمان ها میزان اختلاف به کمترین مقدار خود رسیده و به عدد صفر نزدیک می گردد. نکته قابل تأمل در این نمودار، مثبت بودن اکثر مقادیر است که از ویژگی ذاتی روش MBR نشأت می گیرد. در روش MBR بهترین مستطیل به یک چندضلعی محاط می شود و در صورتی که اختلاف مساحت بین مستطیل برازش داده شده و چندضلعی مذکور، کمتر از حد آستانه تعریف شده باشد، فرآیند به اتمام می رسد. با توجه به اینکه همیشه

جدول ۵- پارامترهای آماری شکل ۱۹

Min	Max	Mean	Median	RMSE
-310	211.5	5.4	5.1	63

۶- نتیجه گیری

در این تحقیق، یک روش جدید به منظور به هنگام سازی نقشه ساختمان ها با رویکرد استفاده از اطلاعات هندسی موجود در نقشه قدیمی جهت استخراج ساختمان، ارائه گردید. فرآیند استخراج ساختمان در یک رویکرد دو مرحله ای توسط ترکیبی از دو مدل هندسی ناحیه مبنا و لبه مبنا به بهبود یافته انجام گرفت. چنین رویکردی در بکارگیری مدل های منحنی فعال یکی از نقاط قوت روش پیشنهادی بوده و موجب رفع نقص این مدل ها در مواجهه با تصاویر با ابعاد بزرگ و جزئیات زیاد می شود. در این روش، از اطلاعات هندسی پلیگون های قدیمی، در شناسایی و استخراج مرز تقریبی ساختمان ها از DSM استفاده شد. بکارگیری این اطلاعات موجب کاهش فضای جستجو، بهبود مقیاس دهی آغازین مدل و نیز عدم نیاز به استفاده از الگوریتم های فیلترینگ داده های ارتفاعی می شود. برای این منظور، هر یک از پلیگون های قدیمی به عنوان منحنی اولیه به یک مدل هندسی ناحیه مبنا، معرفی شده و بر روی بخشی از DSM، متناسب با ابعاد و موقعیت پلیگون قدیمی، اجرا شدند. یکی از دلایل استفاده از چنین مدلی، ویژگی ذاتی DSM، به عنوان یک تصویر فاقد عوارض خاص^۱ و اطلاعات لبه می باشد که مهم ترین مشخصه آن، وجود نواحی همگون است. مدل ناحیه مبنا به کاررفته، جهت استخراج عارضه از چنین تصاویری مناسب می باشد. از مهمترین توانایی این مدل می توان به مدیریت تغییرات توپولوژیک اشاره نمود که منجر به شناسایی انواع تغییرات رخ داده در ساختمان ها می شود.

مراجع

- [1] Olsen, B.P. and T. Knudsen. Automated change detection for validation and update of geodata. in 6th Geomatic Week Conference. 2005.
- [2] Singh, A., Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. International journal of remote sensing, 1989. 10(6): p. 989-1003.
- [3] Baltsavias, E., Object extraction and revision by image analysis using existing geodata and knowledge: current status and steps towards operational systems. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2004. 58(3): p. 129-151.

^۱ Non-feature Image

پس از استخراج اولیه ساختمان ها، آشکارسازی تغییرات هندسی انجام پذیرفت و حالت های ممکن در تغییرات هندسی ساختمان ها مورد ارزیابی قرار گرفت که نتیجه آن تولید نقشه تغییرات، بود. این نقشه اطلاعات مناسبی در رابطه با نوع، تعداد و توزیع مکانی تغییرات رخ داده در منطقه، ارائه می دهد که کاربردهای فراوانی در حوزه های مرتبط با شهرسازی و مدیریت شهری دارد. به دلیل عدم وجود جزئیات در داده های ارتفاعی، مخصوصاً DSM در دسترس که حاصل از تناظرایی زوج تصاویر هوایی می باشد، جهت بهبود مرز ساختمان ها از مدل هندسی لبه مبنا می قید استفاده شد. به دلیل ناکارآمدی مدل اولیه در استخراج مرز عوارض با گرادیان ضعیف، یک قید به صورت یک سطح هم تراز می قید به تابع انرژی افزوده شد که موجب بهبود عملکرد آن گردید. بهبود مذکور در رابطه با افزایش پایداری مدل و همگراشدن منحنی به مرز واقعی ساختمان و نیز عدم فاصله گرفتن زیاد از مرز واقعی در ساختمان های با اطلاعات گرادیان ضعیف کاملاً مشهود بوده است.

در نهایت، به منظور ثبت نتایج در پایگاه داده، فرآیند خلاصه سازی و منظم سازی بر مبنای تکنیک MBR، که کارایی بالایی در مدل سازی مرزهای قائم الزویه دارند، انجام گرفت.

علیرغم وابستگی روش پیشنهادی به کیفیت داده های ارتفاعی و عدم موفقیت آن در شناسایی ساختمان های متراکم با اختلاف ارتفاع زیاد، ارزیابی نتایج حاصله مبین قابلیت بالای روش ارائه شده در استخراج ساختمان های با هندسه و رفتار طیفی متفاوت می باشد. لذا می تواند به عنوان روشی پایدار جهت به هنگام سازی نقشه ساختمان ها مورد استفاده قرار گیرد.

- [4] Bailloleul, T., et al., Digital building map refinement from knowledge-driven active contours and very high resolution optical imagery. *Photogrammetrie fernerkundung geoinformation*, 2005. 2005(6): p. 511.
- [5] Hanson, E. and E. Wolff, Change detection for update of topographic databases through multi-level region-based classification of VHR optical and SAR data. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 2010. 38.
- [6] Le Bris, A. and N. Chehata, Change detection in a topographic building database using submetric satellite images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2011. 38: p. 3.
- [7] Malpica, J.A., et al., Change detection of buildings from satellite imagery and lidar data. *International Journal of Remote Sensing*, 2013. 34(5): p. 1652-1675.
- [8] Bouziani, M., K. Goïta, and D.-C. He, Automatic change detection of buildings in urban environment from very high spatial resolution images using existing geodatabase and prior knowledge. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2010. 65(1): p. 143-153.
- [9] Jin, S., et al., A comprehensive change detection method for updating the National Land Cover Database to circa 2011. *Remote Sensing of Environment*, 2013. 132: p. 159-175.
- [10] Kass, M., A. Witkin, and D. Terzopoulos, Snakes: Active contour models. *International journal of computer vision*, 1988. 1(4): p. 321-331.
- [11] Cohen, L.D. and R. Kimmel, Global minimum for active contour models: A minimal path approach. *International journal of computer vision*, 1997. 24(1): p. 57-78.
- [12] Kabolizade, M., H. Ebadi, and S. Ahmadi, An improved snake model for automatic extraction of buildings from urban aerial images and LiDAR data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2010. 34(5): p. 435-441.
- [13] Paragios, N. and R. Deriche, Geodesic active regions: A new framework to deal with frame partition problems in computer vision. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2002. 13(1): p. 249-268.
- [14] Xiang, Y., A.C. Chung, and J. Ye, An active contour model for image segmentation based on elastic interaction. *Journal of computational physics*, 2006. 219(1): p. 455-476.
- [15] Xu, C. and J.L. Prince, Snakes, shapes, and gradient vector flow. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 1998. 7(3): p. 359-369.
- [16] Rebouças Filho, P.P., et al., Novel Adaptive Balloon Active Contour Method based on internal force for image segmentation—A systematic evaluation on synthetic and real images. *Expert Systems with Applications*, 2014. 41(17): p. 7707-7721.
- [17] Ahmadi, S., et al., Automatic urban building boundary extraction from high resolution aerial images using an innovative model of active contours. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2010. 12(3): p. 150-157.
- [18] Caselles, V., et al., A geometric model for active contours in image processing. *Numerische mathematik*, 1993. 66(1): p. 1-31.
- [19] Chan, T.F. and L.A. Vese, Active contours without edges. *Image processing, IEEE transactions on*, 2001. 10(2): p. 266-277.
- [20] Li, C., et al. Implicit active contours driven by local binary fitting energy. in *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2007. CVPR'07. IEEE Conference on. 2007. IEEE.
- [21] Li, C., et al. Level set evolution without re-initialization: a new variational formulation. in *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on. 2005. IEEE.
- [22] Osher, S. and R.P. Fedkiw, Level set methods: an overview and some recent results. *Journal of Computational physics*, 2001. 169(2): p. 463-502.
- [23] Osher, S. and J.A. Sethian, Fronts propagating with curvature-dependent speed: algorithms based on Hamilton-Jacobi formulations. *Journal of computational physics*, 1988. 79(1): p. 12-49.
- [24] Ge, Q., et al., A hybrid active contour model with structured feature for image segmentation. *Signal Processing*, 2015. 108: p. 147-158.
- [25] Jiang, X., et al., A novel active contour model driven by local and global intensity fitting energies. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2014. 125(21): p. 6445-6449.
- [26] Nosrati, M.S. and P. Saeedi. A Combined Approach for Building Detection in Satellite Imageries using Active Contours. in *IPCV*. 2009.