

آشکارسازی تغییرات مناطق شهری در تصاویر بزرگ مقیاس ماهواره‌ای با استفاده از عوارض محلی

امین صداقت^{۱*}، حمید عبادی^۲، محمودرضا صاحبی^۳، یاسر مقصودی^۳، مهدی مختارزاده^۳

^۱ دانشجوی دکتری فتوگرامتری - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
am.sedaghat@kntu.ac.ir

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
ebadi@kntu.ac.ir

^۳ استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
{sahebi, ymaghsoudi, m_mokhtarzade}@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت بهمن ۱۳۹۱، تاریخ تصویب اسفند ۱۳۹۱)

چکیده

آشکارسازی اتوماتیک تغییرات مناطق شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بزرگ مقیاس، یکی از پردازش‌های مهم در فتوگرامتری و سنجش از دور است. روش‌های معمول جهت آشکارسازی تغییرات در تصاویر ماهواره‌ای عموماً بر مبنای مقایسه پس از طبقه‌بندی تصاویر هستند. این روش‌ها نیازمند ثبت دقیق تصاویر با یکدیگر می‌باشند. تصاویر ماهواره‌ای بزرگ مقیاس دارای تغییرشکل‌های محلی ناشی از ارتفاع عوارض زمینی بوده و ثبت دقیق آنها با یکدیگر بسیار دشوار می‌باشد. در این تحقیق روشی کارآمد و کاملاً اتوماتیک جهت شناسایی تغییرات در مناطق شهری با بهره‌گیری از تصاویر بزرگ مقیاس ماهواره‌ای ارائه شده‌است. روش پیشنهادی بر مبنای خصوصیات برجسته‌ی عوارض محلی در تصویر شامل گوشه‌ها، حباب‌ها و نواحی می‌باشد. جهت شناسایی مناطق تغییر یافته در دو تصویر ماهواره‌ای مربوط به دو زمان مختلف، در ابتدا عوارض محلی شامل گوشه‌های حاصل از الگوریتم تناسب فاز، حباب‌های حاصل از الگوریتم UR-SIFT و نواحی حاصل از الگوریتم MSER در تصاویر استخراج می‌شوند. در ادامه برای هر یک از عوارض مستخرج توصیفگر کارآمد SIFT ایجاد شده و فرآیند تناظریابی میان آنها در یک ساختار شبکه‌ای انجام شده و تناظرهای اشتباه میان آنها با استفاده از یک روش جدید بر مبنای نسبت فواصل حذف می‌شوند. در مرحله‌ی بعد تصویر تشابه میان تصاویر با استفاده از یک معیار جدید بر مبنای تناظرهای مستخرج ایجاد شده و با انتخاب اتوماتیک یک مقدار آستانه، مناطق تغییر یافته تصاویر تعیین می‌شوند. جهت ارزیابی روش پیشنهادی از دو تصویر ماهواره‌ای از دو سنجنده‌ی QuickBird و World view مربوط به سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۱، شهر سانفرانسیسکو آمریکا استفاده شده‌است. نتایج بیانگر قابلیت بالای روش پیشنهادی در شناسایی تغییرات تصاویر با دقت بالا می‌باشد.

واژگان کلیدی: آشکارسازی تغییرات، تصاویر ماهواره‌ای بزرگ مقیاس، الگوریتم تناسب فاز، الگوریتم UR-SIFT، الگوریتم MSER، تناظریابی، تصویر تشابه

۱- مقدمه

امروزه به دلیل افزایش جمعیت، مهاجرت و پیشرفت تکنولوژی، شهرها به سرعت رشد یافته و تغییر می‌کنند. آشکارسازی اتوماتیک تغییرات پوشش زمین در مناطق شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بزرگ مقیاس کاربردهای گسترده‌ای در تولید و به روزرسانی نقشه‌ها در GIS [۱]، طراحی شهری [۲] و مدیریت بحران [۳] دارد. آشکارسازی اتوماتیک تغییرات خصوصاً در مناطق شهری، فرآیندی بسیار دشواری بوده و اغلب روش‌ها نیازمند بازبینی‌های انسانی هستند [۴].

روش‌های آشکارسازی تغییرات در تصاویر به هفت دسته‌ی کلی شامل: (۱) مقایسه‌ی مستقیم، (۲) طبقه‌بندی، (۳) روش‌های شی‌گرا، (۴) روش‌های مبتنی بر مدل، (۵) روش‌های مبتنی بر پردازش سری‌های زمانی، (۶) روش‌های بصری و (۷) روش‌های ترکیبی، قابل تقسیم‌بندی هستند [۵]. در میان این روش‌ها، متداول‌ترین روش مورد استفاده برای استخراج اطلاعات از تصاویر و آشکارسازی تغییرات آنها، روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی تصاویر چندطیفی می‌باشد [۶]. پرکاربردترین روش‌های طبقه‌بندی برای این منظور نیز الگوریتم‌های ماکزیمم احتمال (MLC) [۷] و ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) [۸] می‌باشند.

با وجود قابلیت‌های بالای روش‌های آشکارسازی تغییرات مبتنی بر طبقه‌بندی تصاویر، این روش‌ها دارای محدودیت‌هایی می‌باشند. محدودیت اساسی این روش‌ها وابستگی آنها به کیفیت ثبت^۱ تصاویر چندزمانه می‌باشد. از آنجا که در این روش‌ها تصاویر، پیکسل به پیکسل با یکدیگر مقایسه می‌شوند لذا دقت فرآیند ثبت تصاویر در تمامی مناطق آنها باید محدود به یک پیکسل و کمتر باشد تا کشف تغییرات با دقت مناسب، قابل دستیابی شود [۹]. تصاویر ماهواره‌ای بزرگ مقیاس دارای تغییر شکل‌های محلی نامنظم ناشی از ارتفاع عوارض زمینی بوده و ثبت دقیق آنها بسیار دشوار بوده و نیازمند اطلاعات ارتفاعی دقیق (مدل رقومی زمین) از منطقه دارد [۱۰].

مشکل بعدی روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی تصویر، خصوصیات عوارض در تصاویر بزرگ مقیاس می‌باشد. عوارض دست‌ساز بشر در مناطق شهری دارای تنوع گسترده‌ای از مصالح (بتن، فلزات، شیشه، خاک و ...) بوده که باعث ایجاد تنوع طیفی در تصاویر شده و فرآیند طبقه‌بندی در این تصاویر را با اشکال ایجاد می‌کند. به علاوه سایه‌ها و پنهان‌شدگی‌های موجود در تصاویر بزرگ مقیاس باعث ایجاد ابهام در فرآیند طبقه‌بندی و تعیین کلاس اشتباه برای بعضی از پیکسل‌ها می‌شود. محدودیت بعدی این روش‌ها نیاز به تصاویر چند طیفی و در طول موج‌های مختلف می‌باشد تا فرآیند طبقه‌بندی تصاویر با کیفیت مناسبی قابل انجام باشد. به علاوه این روش‌ها عموماً نیازمند پیش‌پردازش تصاویر و تصحیح رادیومتریکی آنها می‌باشند.

ویژگی‌های برجسته‌ی تصویر که در بینایی ماشین، عوارض محلی^۲ نامیده می‌شوند، دارای خصوصیات برجسته‌ای بوده و امروزه به طور گسترده‌ای در کاربردهای مختلف در فتوگرامتری و سنجش از دور نظیر تناظریابی تصاویر [۱۱، ۱۴]، ثبت تصاویر [۱۵، ۱۷]، تشخیص عوارض^۳ [۱۸] و شناسایی اهداف [۱۹] استفاده می‌شوند. الگوریتم‌های استخراج عوارض محلی شامل دو قسمت استخراج موقعیت عارضه^۴ و ایجاد توصیفگر عارضه^۵ هستند [۲۰]. در قسمت اول موقعیت‌های متمایزی از تصویر که نسبت به تبدیلات مختلفی (نظیر دوران، مقیاس و روشنایی) پایدار هستند استخراج شده و در قسمت دوم برای هر یک از عوارض مستخرج یک توصیفگر با استفاده از خصوصیات ناحیه‌ی اطراف هر عارضه نظیر درجات خاکستری، مقادیر اندازه و جهت گرادیان، اطلاعات شکل، بافت و لبه‌ها ایجاد می‌شود. فرآیند تناظریابی عوارض با استفاده از یک معیار مشابهت میان توصیفگرهای عوارض، انجام می‌گیرد.

روش‌های مختلفی برای استخراج عوارض، ایجاد توصیفگرها و انجام تناظریابی میان آنها ارائه شده‌است [۲۰، ۲۲]. اغلب اپراتورهای استخراج عوارض محلی دو دسته از عوارض شامل (۱) عوارض نقطه‌ای (گوشه‌ها) و (۲)

^۱ Local features

^۲ Object recognition

^۳ Feature detection

^۴ Feature description

^۵ Image registration

تابع چگالی احتمال چند متغیری با استفاده از موقعیت و جهت عوارض مستخرج، موقعیت ساختمان‌ها را در تصاویر تعیین می‌کنند [۳۵].

در تمامی روش‌های فوق از خصوصیات عوارض مستخرج در یک تصویر استفاده شده و به علاوه از اطلاعات حاصل از توصیفگر عوارض نیز هیچ استفاده‌ای نمی‌شود. در این تحقیق روشی کارآمد جهت شناسایی تغییرات در مناطق شهری با بهره‌گیری از خصوصیات عوارض محلی حاصل از سه الگوریتم تناسب فاز [۲۴]، [۲۶]، UR-SIFT^۱ [۱۰] و MSER [۳۱، ۳۰] استفاده شده‌است. هر یک از این عوارض خصوصیات متفاوتی داشته و ترکیب آنها با یکدیگر همانطور که در بخش بعدی بیان خواهد شد، توصیف کاملی از ساختارهای موجود در مناطق شهری ارائه می‌دهند. بعد از استخراج عوارض توصیفگر SIFT برای هریک از آنها ایجاد شده و فرآیند تناظریابی میان آنها در دو تصویر انجام می‌شود. در ادامه با توسعه‌ی یک معیار جدید بر مبنای تناظرهای مستخرج، ماتریس تشابه میان تصاویر تعیین شده و با تعیین یک آستانه به صورت اتوماتیک، مناطق تغییر یافته شناسایی می‌شوند.

روش پیشنهادی نیازمند ثبت دقیق تصاویر نبوده و نیازی نیز به اطلاعات تصاویر در باند‌های مختلف ندارد و تنها بر روی تصاویر سیاه و سفید عمل می‌کند. به علاوه در انتها یک مجموعه از جفت نقاط متناظر حاصل خواهد شد که برای دیگر کاربردهای احتمالی در تصاویر نظیر تولید اطلاعات ارتفاعی قابل استفاده می‌باشد. در ادامه در بخش بعدی عوارض محلی مورد استفاده در این تحقیق بیان شده و جزئیات استخراج آنها تشریح می‌شود. سپس در بخش سوم جزئیات روش پیشنهادی بیان شده و در بخش چهارم نیز نتایج پیاده‌سازی و ارزیابی آن بیان شده و مورد بحث قرار می‌گیرد. در نهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات بیان می‌شود.

۲- استخراج عوارض

منظور از عوارض، ساختارهای محلی تصویر می‌باشد و استخراج آنها به معنی تعیین موقعیت مکانی این

عوارض ناحیه‌ای، را استخراج می‌کنند [۲۰]. عوارض نقطه‌ای موقعیت‌هایی از تصویر هستند که تغییرات درجات خاکستری در همسایگی آن‌ها شدید می‌باشد. از جمله الگوریتم‌های متداول استخراج عوارض نقطه‌ای می‌توان به Harris [۲۳]، اپراتور تناسب فاز^۱ [۲۴، ۲۶] و SUSAN [۲۷] اشاره کرد.

عوارض ناحیه‌ای اغلب به وسیله مرکز ثقل‌شان که نسبت به دوران و مقیاس ثابت بوده و در برابر نویزهای تصادفی و تغییرات درجه خاکستری پایدار هستند، بیان می‌شوند. بعضی از الگوریتم‌های استخراج نواحی نظیر DoG^۲ [۲۸]، Harris-Affine و Hessian-Affine [۲۹]، یک مجموعه از موقعیت‌های نقطه‌ای تصویر را استخراج نموده و سپس با استفاده از خصوصیات همسایگی نزدیک آنها، یک ناحیه به صورت دایره یا بیضی در اطراف آنها در نظر می‌گیرند. دسته‌ی دیگر نظیر MSER^۳ [۳۰، ۳۱] یک ناحیه‌ی نامنظم را در تصویر استخراج می‌کنند.

با توجه به قابلیت بالای عوارض محلی از آنها به منظور استخراج ساختمان در تصاویر ماهواره‌ای نیز استفاده شده‌است [۳۲، ۳۵]. Fonte و همکاران [۳۲] از عوارض گوشه‌ای (Harris و SUSAN) جهت تعیین نوع ساختارهای شهری در تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرده‌اند. اخیراً Sirmacek و Ünsalan [۳۳] از الگوریتم SIFT^۴ و نظریه‌ی گراف جهت استخراج ساختمان در تصاویر ماهواره‌ای IKONOS استفاده کرده‌اند. در تحقیق دیگر Ünsalan و Sirmacek [۳۴] از عوارض نقطه‌ای حاصل از فیلتر گابور^۵ [۳۶] جهت تعیین محدوده‌های ساختمان‌ها در تصاویر هوایی و ماهواره‌ای استفاده کرده‌اند، به این ترتیب که در ابتدا عوارض حاصل از فیلتر گابور استخراج شده و با استفاده از یک استراتژی رأی‌گیری و یک روش تصمیم‌گیری، نواحی مربوط به ساختمان‌ها تعیین می‌شوند. به طور مشابه آنها در یک تحقیق دیگر از عوارض نقطه‌ای حاصل از چهار الگوریتم Harris، GMSR [۳۷]، فیلتر گابور و اپراتور Rosten [۳۸]، جهت استخراج عوارض محلی استفاده نموده و در نهایت با برازش یک

^۱ Phase-congruency

^۲ Difference of Gaussian

^۳ Maximally Stable Extremal Region

^۴ Scale Invariant Feature Matching

^۵ Gabor filters

^۱ Uniform Robust Scale Invariant Feature Transform

در روش تناسب فاز، اطلاعات فرکانس در تصویر با استفاده از فیلترهای گابور در مقیاس‌ها و جهت‌های مختلف به دست می‌آید. بر این اساس مقدار تناسب فاز، $P(x,y)$ در هر نقطه از تصویر با استفاده از رابطه‌ی (۱) به ترتیب زیر برآورد می‌شود:

$$P(x,y) = \frac{\sum_n W(x,y) [A_n(x,y)\Delta\Phi(x,y) - T]}{\sum_n A_n(x,y) + \varepsilon} \quad (1)$$

که در آن

$$\Delta\Phi(x,y) = \cos(\phi_n(x,y) - \bar{\phi}(x,y)) - |\sin(\phi_n(x,y) - \bar{\phi}(x,y))| \quad (2)$$

در روابط بالا، (x,y) بیانگر موقعیت یک نقطه در تصویر، $W(x,y)$ فاکتور وزن بر اساس بسط فرکانس، $A_n(x,y)$ و $\phi_n(x,y)$ به ترتیب دامنه و فاز تابع تبدیل ویولت^۳ در مقیاس n ام، $\bar{\phi}(x,y)$ فاز میانگین، آستانه‌ی نویز و ε نیز یک ثابت بسیار کوچک می‌باشد. مقادیر مورد استفاده برای پارامترهای فوق $(W(x,y), n, A_n(x,y), \phi_n(x,y), \bar{\phi}(x,y) \text{ و } T)$ در این تحقیق دقیقاً مطابق با مقادیر پیشنهادی در منبع اصلی [۲۵] می‌باشد. در ادامه معیار کشف گوشه در این روش، با استفاده از مؤلفه‌های اصلی تناسب فاز برآورد می‌شود. برای این منظور گشتاور مینیمم^۴، m_c با استفاده از رابطه ۳ به ترتیب زیر برآورد می‌شود:

$$m_c = 0.5(c + a - \sqrt{b^2 + (a-c)^2}) \quad (3)$$

که در آن

$$\begin{aligned} a &= \sum_{\theta} (P_{\theta}(x,y) \cos(\theta))^2 \\ b &= 2 \sum_{\theta} (P_{\theta}(x,y) \cos(\theta)) \cdot (P_{\theta}(x,y) \sin(\theta)) \\ c &= \sum_{\theta} (P_{\theta}(x,y) \sin(\theta))^2 \end{aligned} \quad (4)$$

ساختارها و توصیف یک ناحیه از همسایگی محلی آنها می‌باشد که ابزاری برای تناظریابی میان عوارض خواهد بود. یک عارضه مناسب باید نسبت به همسایگی خود متمایز بوده و دقت موقعیت بالایی داشته باشد. به علاوه باید مستقل از اعوجاجات هندسی و رادیومتریکی بوده و در برابر نویز نیز پایدار باشد [۱۰]. در این تحقیق از سه دسته‌ی مختلف از عوارض شامل (۱) گوشه‌ها، (۲) حباب‌ها و (۳) نواحی نامنظم استفاده می‌شود. گوشه‌ها به عنوان نقاطی از تصویر که تغییرات درجات خاکستری در همسایگی آنها شدید می‌باشد، تعریف می‌شوند. حباب‌ها نواحی از تصویر هستند که روشن‌تر و یا تیره‌تر از همسایگی محلی خود بوده و با استفاده از یک دایره قابل تقریب می‌باشند. دسته سوم عوارض ناحیه‌ای به صورت مرزهای بسته نظیر ساختمان‌ها می‌باشند.

۲-۱- عوارض گوشه‌ای مبتنی بر تناسب فاز

ساختارهای موجود در مناطق شهری نظیر ساختمان‌ها به میزان زیادی دارای عوارض گوشه‌ای هستند که می‌توانند به عنوان عوارض پایدار، برای تناظریابی با قابلیت اطمینان بالا به کار روند. یکی از روش‌های کارآمد جهت استخراج عوارض گوشه‌ای روش مبتنی بر تناسب فاز می‌باشد [۲۴، ۲۶]. روش تناسب فاز جهت استخراج گوشه‌ها بر مبنای مدل انرژی محلی^۱ [۳۹] و بر این فرض می‌باشد که عوارض گوشه‌ای پایدار در مناطقی از تصویر واقع هستند که فاز مؤلفه‌های تبدیل فوریه^۲، ماکزیمم می‌باشد.

عوارض گوشه‌ای حاصل از مدل تناسب فاز پایداری بسیار بالایی در برابر تغییرات روشنایی و کنتراست تصاویر داشته و جهت تناظریابی تصاویر ماهواره‌ای (که اغلب اختلافات روشنایی آنها قابل توجه می‌باشد)، بسیار مناسب می‌باشد [۴۰]. این روش از عوارض گوشه‌ای حاصل از الگوریتم‌های مبتنی بر گرادیان تصویر نظیر Harris [۲۳] نیز پایداری بیشتری در برابر تغییرات روشنایی دارد [۴۰]. با توجه به عملکرد بالای این الگوریتم در استخراج و تناظریابی عوارض در تصاویر ماهواره‌ای، در این تحقیق از این روش استفاده می‌شود.

^۳ Wavelet

^۴ Minimum moments

^۱ Local-energy model

^۲ Fourier components

مقدار $P_\theta(x,y)$ در روابط بالا بیانگر تناسب فاز در جهت θ می باشد. نقاطی از تصویر که معیار m_c در همسایگی ۸ تایی آنها یک ماکزیمم محلی بوده و از یک مقدار آستانه بیشتر باشد، به عنوان گوشه استخراج می گردند. در نهایت موقعیت زیر پیکسل هر گوشه، با برازش یک صفحه به مقادیر معیار m_c در یک پنجره 3×3 به مرکزیت آن تعیین می شود. جهت دریافت جزئیات بیشتر از این الگوریتم به [۲۶] مراجعه شود. در این تحقیق جهت استخراج یک مجموعه متراکم از گوشه ها و در یک توزیع مکانی مناسب از یک روش شبکه ای مطابق با [۱۶] استفاده می شود.

۲-۲- عوارض حبابی UR-SIFT

روش های مختلفی برای استخراج حباب های تصویر وجود دارد. اپراتور مورد استفاده در الگوریتم SIFT [۲۰] که شامل اکسترمم های تابع DoG می باشد، یکی از روش های شناخته شده و کارآمد برای این منظور می باشد. تابع DoG تقریبی از لاپلاسیان نرمالیزه^۱ (LoG) تصویر می باشد و روند استخراج عوارض حبابی در آن نیز بر مبنای ایجاد فضای مقیاس می باشد. فضای مقیاس نمایش ساختارهای تصویر در مقیاس های مختلف بوده و متشکل از مجموعه ای از تصاویر گوسی و تصاویر DoG، در ابعاد مختلف می باشد که در لایه های منظمی تحت عنوان اکتاو^۲ مرتب شده اند.

به منظور ایجاد فضای مقیاس، تصویر ورودی در یک روند تکراری با کرنل گوسی با مقیاس های مختلف کانولوشن^۳ می شود تا تصاویر گوسی فضای مقیاس در هر اکتاو ایجاد شود. در ادامه تصاویر DoG، با استفاده از تفاضل دو تصویر گوسی مجاور از فضای مقیاس محاسبه می شوند. بعد از ایجاد هر اکتاو، تصویر گوسی که مقیاس آن دو برابر مقیاس اولیه می باشد، انتخاب شده و ابعاد آن با نمونه برداری مجدد، نصف شده و به عنوان تصویر ابتدایی اکتاو بعدی در نظر گرفته می شود و فرآیند تکرار می شود.

جهت استخراج عوارض هر پیکسل در سطوح میانی تصاویر DoG، در هر اکتاو، با ۸ پیکسل همسایگی خود و ۹ پیکسل همسایگی تصویر DoG بالایی و ۹ پیکسل همسایگی تصویر DoG پایینی (همسایگی ۲۶ تایی) مقایسه شده و اگر یک اکسترمم (ماکزیمم یا مینیمم) باشد به عنوان یک عارضه ی کاندیدا ذخیره می شود. بعد از استخراج عوارض اولیه در تمامی فضای مقیاس، موقعیت و مقیاس دقیق آنها با استفاده از برازش یک تابع 3D Quadratic در همسایگی ۲۶ تایی هر عارضه، تعیین می شود. به این ترتیب فرآیند استخراج عوارض در الگوریتم SIFT به پایان می رسد.

عوارض SIFT مستقل از مقیاس بوده، در برابر تغییرات روشنایی، تغییر شکل ناشی از تغییر منظر تصویربرداری و نویز پایدار بوده و همچنین دقت بالایی دارند [۲۸]. با وجود کارایی بالای الگوریتم SIFT در تصاویر ماشین بینایی، این الگوریتم در استخراج عوارض در تصاویر سنجش از دور به دلیل خصوصیات این تصاویر با اشکال روبرو می شود [۱۰]. اخیراً نسخه ی بهبود داده شده ای از الگوریتم SIFT با عنوان UR-SIFT [۱۰] جهت استخراج عوارض پایدار و متمایز در تصاویر ماهواره ای و در توزیع یکنواختی از مکان و مقیاس ارائه شده است. در این روش با بهره گیری از خصوصیات فضای مقیاس و بر مبنای ضریب مقیاس سطوح آن، تعداد عوارض مورد نیاز در هر سطح تعیین شده و با بهره گیری از دو معیار پایداری و تمایز و در یک ساختار شبکه ای عوارض استخراج می گردند. جهت دریافت جزئیات بیشتر از این الگوریتم به [۱۰] مراجعه شود.

۲-۳- عوارض ناحیه ای MSER

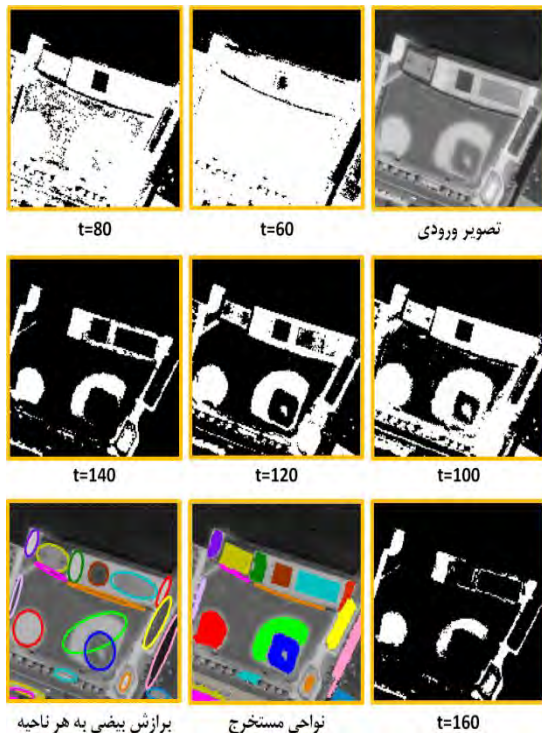
یکی از کارآمدترین روش های استخراج عوارض ناحیه ای الگوریتم MSER^۴ [۳۰، ۳۱] است. عوارض MSER مستقل از تغییر شکل های هندسی و رادیومتریکی تصویر بوده و مطابق با تحقیقات Mikolajczyk و همکاران [۲۱]، پایدارترین عوارض تصویری در میان انواع مختلف اپراتورهای استخراج عوارض ناحیه ای می باشد.

^۱ Normalized Laplacian of Gaussian

^۲ Octave

^۳ Convolution

^۴ Maximally Stable Extremal Region



شکل ۱- روش آستانه‌گذاری جهت استخراج عوارض MSER

شکل ۲ یک تصویر ماهواره‌ای را از یک منطقه‌ی شهری نشان می‌دهد که در آن عوارض گوشه‌ای، حبابی و ناحیه‌ای مستخرج از آن نمایش داده شده‌است. هریک از این عوارض دارای خصوصیات متفاوتی می‌باشند اما مجموعه‌ی آنها با یکدیگر توصیف کاملی از عوارض موجود در تصاویر را ارائه می‌دهند. فرض بر این است که ترکیب این سه دسته از عوارض اکثر ساختارهای برجسته‌ی تصاویر را که مناسب برای تناظریابی میان آنها می‌باشند در اختیار قرار می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود تقریباً تمامی ساختارهای برجسته‌ی تصویر در قالب یکی از عوارض گوشه‌ای، حبابی و یا ناحیه‌ای استخراج شده‌است.

بعد از استخراج عوارض مرحله‌ی بعدی ایجاد توصیفگر عوارض به عنوان ابزاری برای تناظریابی میان آنها می‌باشد. مطابق با تحقیقات Mikolajczyk و همکاران [۲۲]، توصیفگر SIFT، بالاترین کارایی را در تناظریابی تصاویر با انواع تغییر شکل‌های هندسی و رادیومتریکی، در مقایسه با دیگر توصیفگرها نظیر Shape context [۱۸] دارد. قبل از ایجاد توصیفگر به منظور انجام تناظریابی مستقل از دوران، برای هر یک از عوارض مستخرج، پارامتر جهت تعیین می‌شود. توصیفگر SIFT یک هیستوگرام ۳ بعدی از موقعیت و جهت گرادیان‌ها

عوارض ناحیه‌ای MSER منحنی‌های بسته در تصویر می‌باشد که با روشی مشابه روش Watershed در ناحیه‌بندی تصویر و با به کارگیری یک روش آستانه‌گذاری استخراج می‌شوند. عبارت «اکسترمم»^۱ بیانگر این است که همه‌ی درجات خاکستری در یک ناحیه‌ی MSER، کمتر (مناطق با اکسترمم‌های تیره) یا بیشتر (مناطق با اکسترمم‌های روشن) از درجات خاکستری بیرون ناحیه هستند. جهت استخراج عوارض MSER در یک تصویر سیاه سفید، ابتدا با استفاده از مقادیر مختلف از آستانه‌ها، مجموعه‌ای از تصاویر باینری، E_t ، ایجاد می‌شود:

$$E_t(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } I(x,y) \geq t \\ 0 & \text{Otherwise.} \end{cases} \quad (5)$$

که در آن t بیانگر مقادیر آستانه می‌باشد.

شکل ۱ تصاویر باینری ایجاد شده برای یک تصویر ماهواره‌ای را در فرآیند استخراج عوارض MSER نشان می‌دهد. در مرحله دوم نواحی که مقادیر درجات خاکستری آنها بیشتر (نواحی روشن) و یا کمتر (نواحی تیره) از همه پیکسل‌های بیرون آنها می‌باشد به عنوان نواحی اولیه تشکیل می‌شوند. تنها ناحیه‌هایی که با تغییر مقدار آستانه‌ها باقی مانده و تغییر اندکی می‌یابند، به عنوان MSERهای نهایی انتخاب می‌شوند. در انتها به هریک از نواحی استخراج شده یک بیضی برازش داده می‌شود.

^۱ Extremal

هندسی عمومی نظیر افاین می‌باشد. تغییر منظر اخذ تصویر و ارتفاع عوارض زمینی سبب وقوع تغییر شکل‌های محلی نامنظم در تصاویر بزرگ مقیاس ماهواره‌ای می‌شود که با استفاده از یک تابع عمومی قابل حل نیست. در این تحقیق جهت حذف تناظرهای اشتباه در تصاویر بزرگ مقیاس ماهواره‌ای از یک روش جدید بر مبنای نسبت فواصل استفاده می‌شود. روش پیشنهادی بر این فرض است که اعوجاجات هندسی در تصاویر، به صورت محلی با استفاده از یک تبدیل صفحه‌ای قابل مدل کردن می‌باشد [۲۹]. همانطور که در بخش‌های بعدی بیان خواهد شد روش تناظریابی مورد استفاده در این تحقیق به صورت محلی و در بخش‌های کوچک تصویر انجام می‌شود تا درستی این قید تا میزان زیادی برقرار باشد.

در این قسمت فرض بر این است که تعداد n تناظر اولیه میان دو تصویر انتخاب شده و هدف حذف تناظرهای اشتباهات میان آنها می‌باشد. روش پیشنهادی برای این منظور در مراحل زیر انجام می‌گیرد:

i. برای مجموعه‌ی تمام تناظرهای موجود در دو تصویر، $A = \{(p_i, q_i) | i = 1, 2, \dots, n\}$ ، فواصل آنها با یکدیگر (در هر یک از تصاویر به صورت جداگانه) محاسبه شده و نسبت آنها با هم، r_m^{kl} ، برآورد می‌شود (شکل ۳-۱).

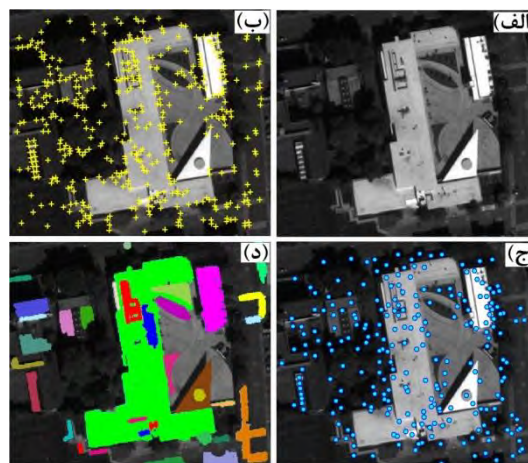
$$r_m^{kl} = d_E(p_k, p_l) / d_E(q_k, q_l); \quad (6)$$

$$k, l \in 1, \dots, n \text{ and } m = 1, \dots, n! / [(n-2)! \times 2!]$$

که در آن $d_E(p_k, p_l)$ بیانگر فاصله مکانی بین موقعیت نقطه p_k و q_k و $d_E(q_k, q_l)$ بیانگر فاصله مکانی بین موقعیت نقطه q_k و q_l در تصویر مبنا (ورودی) می‌باشد. در صورتی که تعداد تناظرهای موجود n باشد آنگاه تعداد $n! / [(n-2)! \times 2!]$ نسبت فاصله محاسبه می‌شود.

ii. در صورتی که تناظرهای انتخاب شده تناظرهای صحیحی باشند، باید نسبت فواصل آنها در یک حدود باشد. براین اساس از میزان پراکندگی نسبت فواصل جهت شناسایی تناظرهای اشتباه احتمالی استفاده می‌شود. در این مرحله میزان انحراف معیار نسبت فواصل تمامی تناظرها، σ_t ، محاسبه می‌شود.

است که در آن موقعیت به صورت یک شبکه‌ی 4×4 و جهت نیز در ۸ قسمت، گسسته‌سازی شده‌اند. توصیفگر نهایی به صورت یک بردار یکه با ۱۲۸ مؤلفه $(128 = 4 \times 4 \times 8)$ می‌باشد. جهت دریافت جزئیات بیشتر به [۲۸] مراجعه شود.



شکل ۲- استخراج عوارض، الف) تصویر ماهواره‌ای از سنجنده‌ی Worldview ب) عوارض گوشه‌ای حاصل از الگوریتم تناسب فاز، ج) عوارض حبابی حاصل از الگوریتم UR-SIFT د) عوارض ناحیه‌ای حاصل از الگوریتم MSER

۲-۴- تناظریابی و حذف تناظرهای اشتباه

بعد از استخراج عوارض و ایجاد توصیفگر در هریک از تصاویر فرآیند تناظریابی میان آنها با استفاده از فاصله‌ی اقلیدسی میان توصیفگرهایشان (ED) انجام شده و تناظرهای اولیه میان تصاویر تعیین می‌شود. جهت انجام تناظریابی از دو قید «منحصربه‌فردی» و «تمایز» استفاده می‌شود. به منظور تحقق قید منحصربه‌فردی، فرآیند تناظریابی به صورت دو جانبه و در دو حالت مستقیم و معکوس انجام می‌گیرد تا به هر عارضه تنها یک تناظر تعلق بگیرد. فرض کنید برای عارضه‌ی p_a از تصویر مبنا، عارضه‌ی q_b از تصویر ورودی کمترین فاصله‌ی اقلیدسی را داشته و عارضه‌ی q_c نیز دومین کمترین فاصله‌ی اقلیدسی را داشته باشد. آنگاه عارضه‌ی q_b به عنوان متناظر p_a انتخاب می‌شود، اگر نسبت $ED(p_a, q_c) / ED(p_a, q_b)$ از یک مقدار آستانه نظیر T_{ED} کمتر باشد (قید تمایز).

مجموعه تناظرهای اولیه همواره شامل تعدادی تناظر اشتباه می‌باشد. یک روش اساسی جهت حذف تناظرهای اشتباه بررسی سازگاری تناظرهای اولیه در یک مدل

مربوطه اشتباه بوده و حذف می‌شود و عملیات از مرحله ۱ تکرار می‌گردد، در غیر این صورت عملیات پایان می‌یابد.

نکته‌ی قابل ذکر مقادیر مربوط به آستانه‌های T_1 و T_2 می‌باشد. مقادیر این دو آستانه وابسته به میزان اعوجاجات محلی تصاویر و میزان سخت‌گیری مکانی جهت انتخاب نقاط صحیح دارد. انتخاب مقادیر کوچکتر باعث انتخاب نقاط دقیق‌تر خواهد شد اما ممکن است باعث حذف تعدادی از تناظرهای درست شود و بالعکس. بر اساس نتایج آزمایشات انجام شده در این تحقیق مقادیر آنها به ترتیب در بازه‌های $T_1 \in [0.01 \ 0.1]$ و $T_2 \in [0.4 \ 0.99]$ پیشنهاد می‌شود.

شکل ۳ یک مثال از مراحل روش پیشنهادی جهت حذف اشتباهات تناظریابی را نشان می‌دهد. مطابق شکل، تعداد ۴ تناظر در جفت تصاویر انتخاب شده‌اند که یکی از آنها اشتباه می‌باشد $((p_4, q_4))$. همانطور که ملاحظه می‌شود در شکل ۳-۵) که تناظر اشتباه، کنار گذاشته شده‌است، نسبت فواصل میان دیگر نقاط که تناظرهای صحیحی هستند در یک حدود خواهد شد. بدین ترتیب تناظر اشتباه شناسایی و حذف می‌شود.

۳- روش پیشنهادی جهت آشکارسازی تغییرات در مناطق شهری

در این قسمت جزئیات روش پیشنهادی جهت آشکارسازی نواحی تغییر یافته در تصاویر ماهواره‌ای بزرگ مقیاس ارائه می‌شود. شکل ۴ مراحل روش پیشنهادی برای این منظور را نشان می‌دهد. داده‌های ورودی شامل دو تصویر ماهواره‌ای مربوط به دو زمان مختلف می‌باشد. مطابق شکل روش پیشنهادی از سه مرحله‌ی اصلی تشکیل شده‌است. در مرحله‌ی اول عوارض محلی شامل گوشه‌ها، حباب‌ها و نواحی نامنظم در تصاویر استخراج می‌شوند و در ادامه برای هریک از عوارض مستخرج توصیفگر کارآمد SIFT ایجاد می‌شود. در ادامه در مرحله‌ی دوم فرآیند تناظریابی میان عوارض مستخرج انجام شده و در نهایت در مرحله سوم با ایجاد تصویر تشابه، مناطق تغییر یافته تعیین می‌شوند.



شکل ۳- فرآیند حذف اشتباهات بر مبنای نسبت فواصل

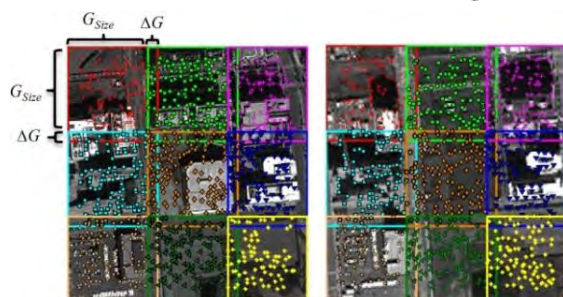
iii. فرآیند محاسبه‌ی انحراف معیار نسبت فواصل با کنار گذاشتن یک به یک جفت تناظرها تکرار شده و مقادیر $\sigma_i ; i = 1, 2, \dots, n$ برآورد می‌شود (شکل ۳-۲) تا (۵-۵)). به عنوان مثال برای محاسبه σ_4 ، تنها جفت تناظر چهارم از مجموعه A کنار گذاشته شده و برای عناصر باقیمانده انحراف معیار نسبت فواصل محاسبه می‌شود. بعد از محاسبه انحراف معیار، عنصر حذف شده دوباره به مجموعه A برگردانده می‌شود.

iv. جفت تناظری که با حذف آن مینیمم مقدار انحراف معیار، σ_m ، حاصل شده‌است به عنوان کاندیدای تناظر اشتباه در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که نسبت σ_m / σ_i از یک مقدار آستانه، T_1 ، کوچکتر بوده و مقدار σ_i نیز بزرگتر از یک مقدار آستانه دیگر، T_2 ، باشد آنگاه جفت تناظر

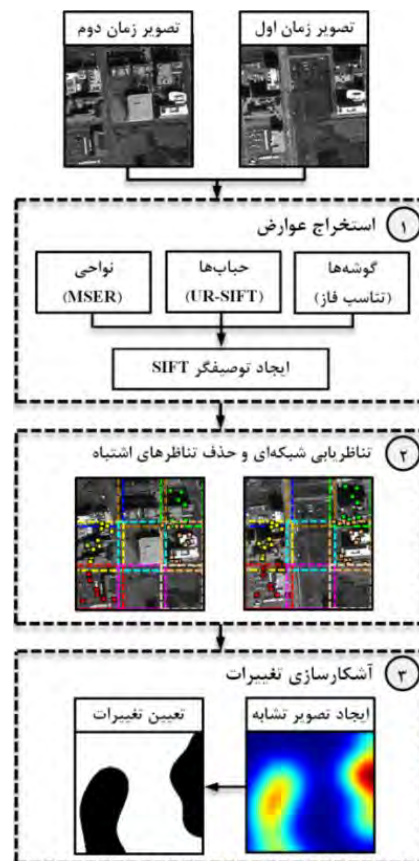
تعداد محدودی از عوارض و با استفاده از یک مدل افاین با دقت ۲۰ پیکسل تصاویر به صورت اولیه با یکدیگر مرتبط می‌شوند.

۳-۲- تناظریابی عوارض و حذف اشتباهات

بعد از استخراج عوارض فرآیند تناظریابی میان آنها با بهره‌گیری از یک استراتژی شبکه‌ای انجام می‌شود. برای این منظور تصاویر با در نظر گرفتن دو پارمتر، G_{size} ، به عنوان ابعاد شبکه‌بندی و ΔG ، به عنوان میزان اشتراک شبکه‌های مجاور، انجام می‌شود. دلیل انتخاب پارامتر ΔG ، فرض اولیه در رابطه با خطایی در حدود ۱۰ تا ۲۰ پیکسل برای ثبت اولیه تصاویر بوده لذا مقدار آن نیز حدود ۲۰ تا ۳۰ پیکسل انتخاب می‌شود. مقدار G_{size} نیز متناسب با اعوجاجات محلی تصاویر ناشی از جابه‌جای ارتفاعی عوارض بوده و در این تحقیق بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ پیکسل پیشنهاد می‌شود. شکل ۵ نمایش فرآیند شبکه‌بندی را نشان می‌دهد که در آن عوارض واقع در هر سلول با رنگ و شکل متفاوت نشان داده شده‌اند. فرآیند تناظریابی برای عوارض واقع در هر سلول از شبکه‌بندی انجام شده در تصاویر به صورت جداگانه انجام می‌شود. در واقع تنها عوارض واقع در سلول‌های نظیر با یکدیگر تناظریابی می‌شوند. این فرآیند باعث افزایش قابلیت اطمینان فرآیند تناظریابی تصاویر می‌شود چراکه فضای جستجو از کل تصویر به سلول‌های مشخص با ابعاد کوچک تبدیل می‌شود. به علاوه همانطور که در بخش ۲-۴ بیان شد در این تحقیق از یک روش جدید بر مبنای نسبت فواصل جهت حذف تناظرهای اشتباه استفاده می‌شود که لازمه‌ی آن انجام تناظریابی به صورت محلی و در ناحیه‌های کوچک از تصویر می‌باشد.



شکل ۵- شبکه‌بندی تصاویر و تناظریابی سلول‌های نظیر



شکل ۴- مراحل روش پیشنهادی جهت آشکارسازی تغییرات شهری

۳-۱- استخراج عوارض

مبنای روش پیشنهادی جهت شناسایی تغییرات، تناظرهای استخراج شده در تصاویر می‌باشد. برای این منظور باید استخراج عوارض در تصاویر به صورت متراکم و در یک توزیع مناسب انجام شود. همانطور که در بخش قبل بیان شد در این تحقیق از سه دسته از عوارض شامل گوشه‌های حاصل از الگوریتم تناسب فاز، حباب‌های الگوریتم UR-SIFT و عوارض ناحیه‌ای نامنظم الگوریتم MSER، استفاده می‌شود.

در این مرحله از روش پیشنهادی، از هریک از این الگوریتم‌ها مطابق با جزئیات بیان شده در بخش دوم جهت استخراج عوارض استفاده شده و در نهایت برای هریک از آنها توصیفگر SIFT ایجاد می‌شود. قابل ذکر است که در این مرحله فرض بر این است که تصاویر به صورت اولیه با یکدیگر مرتبط هستند (با دقتی در حدود ۱۰ تا ۲۰ پیکسل). تصاویر ماهواره‌ای عموماً زمین مرجع بوده و دقت ثبت اولیه آنها در این حدود می‌باشد. در صورتی که تصاویر با این حدود نیز با یکدیگر مرتبط نباشند، با استفاده از الگوریتم UR-SIFT و با انتخاب

بعد از انجام شبکه‌بندی، عوارض واقع در هر سلول (هر سه دسته از عوارض شامل گوشه‌ها، حباب‌ها و نواحی نامنظم) انتخاب شده و با استفاده از فاصله‌ی اقلیدسی میان توصیفگرهایشان و مطابق با جزئیات بیان شده در بخش ۲-۴، فرآیند تناظریابی میان آنها انجام شده و تناظرهای اشتباه احتمالی حذف می‌شوند. خروجی این مرحله یک مجموعه از عوارض نظیر به صورت متراکم در کل تصویر می‌باشد.

۳-۳- ایجاد تصویر تشابه و تعیین مناطق تغییر یافته

بعد از انجام تناظریابی مرحله بعدی تعیین مناطق تغییر یافته در تصاویر می‌باشد. برای این منظور از یک معیار جدید بر مبنای تناظرهای مستخرج از مرحله قبل استفاده شده و تصویری با عنوان «تصویر تشابه» جهت آشکارسازی تغییرات میان تصاویر ایجاد می‌شود. اساس این روش بر این فرض است که موقعیت مربوط به هر جفت عارضه‌ی نظیر و همسایگی نظیر آن در دو تصویر مربوط به دو زمان مختلف، تغییر نکرده و ثابت باقی مانده‌اند و موقعیت‌های از تصاویر که نقاط متناظری در آنها یافت نشده‌است، مناطق تغییر یافته هستند. با توجه به تناظریابی کاملاً متراکم انجام شده و همچنین بهره‌گیری از ترکیب پایدارترین عوارض تصویری و استفاده از یکی از بهترین توصیفگرهای تناظریابی، فرض فوق دور از انتظار نخواهد بود.

در این مرحله تعداد N تناظر صحیح در کل تصاویر انتخاب شده‌است. یکی از تصاویر به عنوان مبنا انتخاب شده و بر اساس عوارض واقع در آن، ماتریس تشابه، $S(x, y)$ ، به ترتیب زیر محاسبه می‌شود:

$$S(x, y) = \sum_{(x_f, y_f) \in R} \frac{1}{2\pi\sigma_f^2} e^{-\frac{(x-x_f)^2 + (y-y_f)^2}{2\sigma_f^2}} \quad (7)$$

که در آن (x_f, y_f) ، موقعیت و σ_f پارامتر وزن عارضه‌ی نظیر f و R نیز یک همسایگی دایره‌ای در اطراف نقطه (x, y) می‌باشد. همسایگی R عموماً به شکل یک همسایگی دایره‌ای با شعاع ثابت در اطراف هر نقطه در نظر گرفته می‌شود. در واقع جهت محاسبه

مقدار تشابه در یک نقطه به مختصات (x, y) ، تنها از عوارضی که در یک همسایگی نزدیک دایره‌ای آن قرار دارند استفاده می‌شود. با فرض اینکه اغلب ساختارهای موجود مربوط به مناطق شهری شامل ساختمان‌ها بوده و با فرض طول، L_m به عنوان طول متوسط ساختمان‌ها در تصویر، مقدار قطر همسایگی دایره‌ای R برابر آن در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال با فرض اینکه تصویر موردنظر مربوط به سنجنده‌ی QuickBird (اندازه پیکسل برابر ۰/۶۱ متر) و طول متوسط، L_m برابر ۱۰ متر در نظر گرفته شود آنگاه میزان قطر ناحیه R برابر ۱۰ متر شده که در تصویر در حدود ۱۶ پیکسل می‌باشد. مقدار σ_f نیز پارامتر وزن مربوط به هر عارضه بوده و میزان اهمیت عوارض نسبت به یکدیگر را در ایجاد ماتریس تشابه نشان می‌دهد. هر چه میزان این وزن بیشتر باشد، فاصله‌ی مکانی که عارضه‌ی مربوطه در محاسبه‌ی تصویر تشابه تأثیر می‌گذارد، بیشتر خواهد بود. در این تحقیق میزان پارامتر وزن برای هر عارضه به صورت $\sigma_f = \sigma_{f_0} \times W_{f_1} \times W_{f_2}$ محاسبه می‌شود که در آن مقدار σ_{f_0} وزن ثابت بوده و برای تمام عوارض یکسان در نظر گرفته می‌شود. مقدار σ_{f_0} بر اساس نتایج آزمایشات این تحقیق برابر ۵ پیشنهاد می‌شود.

پارامتر W_{f_1} جهت اعمال نوع عارضه استفاده شده و برای عوارض گوشه‌ای، حبابی و ناحیه‌ای متفاوت خواهد بود. در واقع از آنجا که عوارض MSER نسبت به حباب‌ها، و حباب‌ها نیز نسبت به گوشه‌ها قابلیت اطمینان بالاتری دارند (به دلیل ناحیه‌ای بودن) لذا وزن جداگانه‌ای برای آنها در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق میزان این وزن متناسب با متوسط تعداد این عوارض نسبت به یکدیگر در نظر گرفته شده و با توجه به نتایج این تحقیق برای عوارض گوشه‌ای برابر ۱، برای عوارض حبابی برابر ۲ و برای نواحی MSER برابر ۵ انتخاب می‌شود. چراکه تعداد حباب‌ها عموماً نصف گوشه‌ها و تعداد نواحی MSER نیز حدوداً یک پنجم گوشه‌ها در مناطق شهری می‌باشد.

پارامتر W_{f_2} نیز به منظور اعمال تأثیر تراکم تناظریابی در همسایگی نقاط استفاده می‌شود. هرچه تعداد نقاط متناظر در نزدیکی یک نقطه بیشتر باشد، قابلیت اطمینان آن بیشتر بوده و وزن بیشتری به آن اختصاص داده می‌شود. برای این منظور تعداد عوارض

۴-۱- منطقه مورد مطالعه

تصاویر مورد استفاده در این تحقیق مربوط به قسمتی از شهر سانفرانسیسکو آمریکا می‌باشند. تصویر زمان اول مربوط به ۱۱ نوامبر سال ۲۰۰۷ از سنجنده‌ی QuickBird و تصویر زمان دوم مربوط به ۹ اکتبر ۲۰۱۱ و از سنجنده‌ی World Veiw می‌باشد. جدول ۱ جزئیات این تصاویر را نشان می‌دهد. در شکل ۶، تصاویر مورد استفاده به صورت کامل نشان داده شده‌اند. همانطور که از بررسی تصاویر مشخص است، مناطق وسیعی واقع در قسمت شمال شرقی تصاویر تغییر نموده‌است و ساختمان‌های جدیدی در این مناطق احداث شده‌است. جدول ۱- مشخصات تصاویر مورد استفاده

تصویر	QuickBird	WorldWeiw-2
باند طیفی	پانکروماتیک	پانکروماتیک
تاریخ اخذ	۲۰۰۷-۱۱-۱۱	۲۰۱۱-۱۰-۹
ابعاد تصویر (پیکسل)	۲۴۵۷×۲۸۶۷	۲۹۴۸×۳۴۴۱
ابعاد پیکسل زمینی (متر)	۰/۶۱	۰/۵
تعداد بیت در هر پیکسل	۱۱	۱۱
زاویه تابش (درجه)	۲۵/۹	۱۹/۶

واقع در همسایگی کوچک هر عارضه (همسایگی دایره‌ای R ، به شعاع ثابت) شمارش شده و به عنوان پارامتر W_{f_2} برای آن عارضه انتخاب می‌شود. همسایگی R در این قسمت مشابه با همسایگی R بیان شده در قسمت قبل می‌باشد. بعد از برآورد مقادیر $S(x,y)$ برای تمامی پیکسل‌ها، تصویر تشابه ایجاد شده‌است و جهت شناسایی مناطق تغییر یافته استفاده می‌شود. برای این منظور در این تحقیق از روش Otsu [۴۲] جهت تعیین اتوماتیک مقدار یک آستانه در تصویر تشابه، به منظور تمایز مناطق تغییر یافته و بدون تغییر استفاده می‌شود. روش Otsu، با فرض توزیع احتمال گوسین در تصویر و بر مبنای معیار تصمیم‌گیری احتمال بیزی می‌باشد.

۴- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

جهت پیاده‌سازی روش پیشنهادی از نرم‌افزار MATLAB R2009a و با بهره‌گیری از کد توسعه داده شده توسط نویسندگان روش‌های تناسب فاز [۲۶]، UR-SIFT [۱۰] و MSER [۳۱] استفاده شده‌است. دیگر قسمت‌های روش پیشنهادی مطابق با جزئیات بیان شده در بخش قبل برنامه‌نویسی شده‌است. در این بخش داده‌های مورد استفاده، جزئیات پیاده‌سازی و نتایج حاصله بیان شده و بحث می‌شود.



شکل ۶- تصاویر مورد استفاده مربوط به قسمتی از شهر سانفرانسیسکو، راست: تصویر سنجنده‌ی QuickBird، چپ: تصویر سنجنده‌ی WorldVeiw-2

۴-۲- معیارهای ارزیابی

جهت ارزیابی کیفیت آشکارسازی از دو معیار کمی، PA_T و PA_F به صورت زیر استفاده می‌شود:

- i. PA_T : نسبت مساحت پیکسل‌هایی که توسط روش پیشنهادی به درستی به عنوان مناطق تغییر یافته انتخاب شده‌است، به مساحت کل مناطق تغییر یافته‌ی تصویر.
- ii. PA_F : نسبت مساحت پیکسل‌هایی که به اشتباه توسط روش پیشنهادی به عنوان مناطق تغییر یافته انتخاب شده‌اند، به مساحت کل مناطقی تغییر یافته‌ی تصویر.

جهت تعیین مناطق تغییر یافته، جفت تصویر ورودی، به دقت بررسی شده و محدوده‌ی مربوط به مناطق تغییر یافته در آنها به صورت دستی تعیین می‌شوند (شکل ۶). در انتخاب دستی تنها مناطقی که دارای تغییرات واقعی هستند (نظیر احداث یک ساختمان جدید) مدنظر بوده و مناطقی که به صورت ظاهری تغییر یافته‌اند (نظیر سایه‌ها و تغییرات ناشی از عوارض متحرک مثل وسایل نقلیه) مدنظر نبوده‌است. با استفاده از دو معیار فوق کیفیت آشکارسازی روش پیشنهادی قابل ارزیابی می‌باشد. هرچه مقدار PA_T بیشتر بوده و در مقابل مقدار PA_F کمتر باشد، کیفیت آشکارسازی تغییرات در روش پیشنهادی بالا خواهد بود.

۴-۳- نتایج ارزیابی

روش پیشنهادی از الگوریتم‌های متعددی استفاده نموده و پارامترهای ورودی مختلفی دارد. در مورد هریک از پارامترها بعد از بیان آنها بحث شده‌است. جدول ۲ لیست پارامترهای ورودی و مقادیر مورد استفاده برای آنها در این تحقیق را نشان می‌دهد.

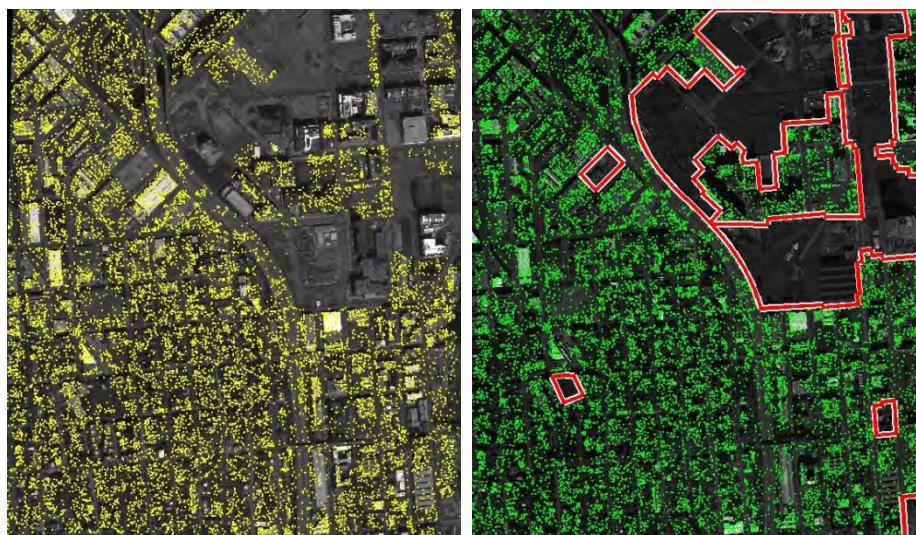
جدول ۲- پارامترهای ورودی روش پیشنهادی

بخش	نام الگوریتم یا پارامتر	مقدار ورودی
استخراج	الگوریتم تناسب فاز	مطابق با [۲۶]
عوارض	الگوریتم UR-SIFT	مطابق با [۱۰]
	الگوریتم MSER	مطابق با [۳۱]
تناظریابی	ابعاد شبکه‌بندی، $GSize$	۱۰۰ پیکسل

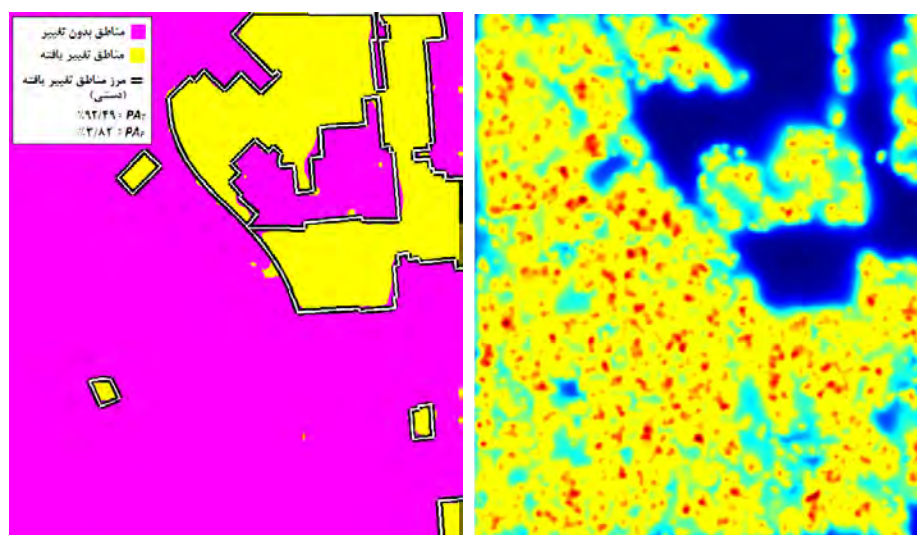
بخش	نام الگوریتم یا پارامتر	مقدار ورودی
عوارض	اشتراک شبکه‌ها، ΔG	۲۵ پیکسل
	آستانه اول حذف اشتباهات، T_1	۰/۶
	آستانه دوم حذف اشتباهات، T_2	۰/۰۶
ایجاد تصویر	همسایگی R	دایره‌ای به شعاع ۱۵ پیکسل
تشابه	وزن ثابت عوارض، σ_{f_0}	۵
	وزن مربوط به نوع عارضه، w_{f_1}	۱ برای گوشه‌ها ۲ برای حباب‌ها ۵ برای نواحی
	وزن مربوط به همسایگی عارضه، w_{f_2}	برابر تعداد عوارض در دایره‌ای به شعاع ۱۵ پیکسل

مقادیر مربوط به پارامترهای الگوریتم‌های استخراج عارضه شامل تناسب فاز، UR-SIFT و MSER دقیقاً مطابق با مقادیر پیشنهادی توسط نویسندگان آنها استفاده شده‌است. جهت تعیین مقادیر مربوط به دیگر پارامترهای روش پیشنهادی در بخش‌های مختلف آزمایش‌های متعددی برای تصاویر مختلفی انجام شده و مقادیر بهینه مطابق با جدول ۲ حاصل شده‌است. باید به این نکته توجه نمود که مقادیر پیشنهادی برای تصاویر ماهواره‌ای با ابعاد پیکسل در حدود ۰/۵ تا ۰/۶۱ متر معتبر می‌باشند، چراکه تمامی آزمایشات انجام شده در این تحقیق بر روی این تصاویر بوده و به علاوه اغلب پارامترها شامل $GSize$ ، ΔG ، T_1 ، T_2 همسایگی R و σ_{f_0} وابسته به میزان اعوجاجات هندسی تصاویر و ابعاد عوارض و ساختارهای شهری دارد و بنابراین در تصاویر با قدرت تفکیک مکانی مختلف، متفاوت خواهد بود.

شکل ۷ نتیجه‌ی فرآیند تناظریابی شبکه‌ای را برای تصاویر مورد استفاده نشان می‌دهد. در این تصاویر تعداد ۸۷۸۲ جفت نقطه‌ی نظیر در تصاویر استخراج شده‌است که ۵۱۵۶ عدد از آنها را گوشه‌ها، ۲۵۹۷ عدد را حباب‌ها و ۱۰۲۹ عدد را نواحی تشکیل می‌دهند. همانطور که ملاحظه می‌شود در قسمت‌های تغییر نیافته‌ی تصاویر تناظرهایی با توزیع متراکم استخراج شده و در مناطق تغییر یافته هیچ تناظری استخراج نشده‌است.



شکل ۷- تناظرهای مستخرج از روش پیشنهادی، راست: تصویر سنجنده‌ی QuickBird، چپ: تصویر سنجنده‌ی WorldView-2

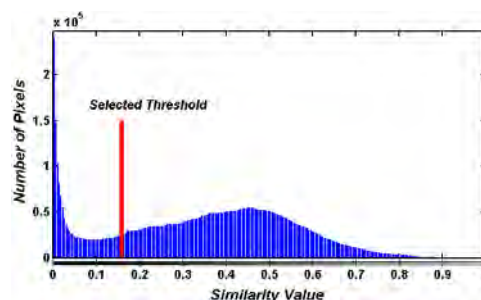


شکل ۸- راست: تصویر تشابه حاصل از روش پیشنهادی چپ: مناطق تغییر یافته به روش پیشنهادی

مناطق بدون تغییر استفاده می‌شود. در شکل ۹ هیستوگرام مربوط به تصویر تشابه و مقدار آستانه اتوماتیک تعیین شده به روش Otsu نشان داده شده‌است. بدین ترتیب با انتخاب اتوماتیک آستانه، مناطق تغییر یافته و بدون تغییر مطابق با شکل ۸- چپ تعیین می‌شود. مقادیر PA_F و PA_T حاصل از روش پیشنهادی در نهایت به ترتیب برابر ۹۲/۴۹٪ و ۳/۸۲٪ می‌باشد. دقت‌های حاصله بیانگر کیفیت مناسب روش پیشنهادی برای این منظور می‌باشد. مقایسه بصری نتایج حاصله با نواحی که به صورت دستی انتخاب شده‌است نیز بیانگر عملکرد بالای روش پیشنهادی در تعیین مناطق تغییر یافته می‌باشد.

جهت تعیین تغییرات تصویر زمان اول مربوط به سنجنده QuickBird در سال ۲۰۰۷ به عنوان تصویر مبنا انتخاب می‌شود. سپس بر اساس تناظرهای مستخرج و با استفاده از رابطه (۷) تصویر تشابه، $S(x,y)$ محاسبه می‌شود. در شکل ۸- راست، تصویر تشابه حاصل از روش پیشنهادی برای تصاویر مورد استفاده نشان داده شده‌است. همانطور که ملاحظه می‌شود در این تصویر مناطق تغییر یافته (آبی پررنگ) به خوبی از مناطق بدون تغییر، قابل تفکیک می‌باشند.

بعد از ایجاد تصویر تشابه مقادیر آن نرمالیزه شده (بین صفر تا یک) و با استفاده از روش Otsu مقدار آستانه جهت تعیین اتوماتیک مناطق تغییر یافته از



شکل ۹- تعیین اتوماتیک آستانه به روش Otsu

با توجه به اینکه تناظرایی تصاویر مربوط به سنسورهای یکسان با توجه به خصوصیات طیفی، و هندسی مشابه، بسیار ساده‌تر از تصاویر مربوط به سنسورهای مختلف می‌باشد، لذا کیفیت روش پیشنهادی در حالتی که تصاویر دو زمانه مربوط به یک سنسور هستند افزایش خواهد یافت. اساس روش پیشنهادی بر مبنای تناظرهای مستخرج میان تصاویر می‌باشند. لذا هرچه کیفیت فرآیند تناظرایی تصاویر بهتر باشد نتیجه نیز بهبود خواهد یافت. از جمله عوامل اساسی که در تصاویر بزرگ مقیاس ماهواره‌ای فرآیند تناظرایی را دچار اشکال می‌کند وجود سایه‌ها و مناطق پنهان شده می‌باشد. استفاده از عوارض ترکیبی نقطه‌ای و ناحیه‌ای در روش پیشنهادی شامل گوشه‌ها، حباب‌ها و عوارض MSER باعث پایداری بیشتر در برابر این عوامل و تناظرایی با کیفیت‌تر خواهد شد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

همانطور که ملاحظه شد در این تحقیق یک روش کارآمد جهت آشکارسازی تغییرات تصاویر بزرگ مقیاس ماهواره‌ای در مناطق شهری ارائه شد. اساس روش پیشنهادی بر مبنای خصوصیات برجسته‌ی عوارض محلی در تصاویر می‌باشد. عوارض محلی ساختارهای برجسته‌ی تصویری بوده که نسبت به بسیاری از

تبدیلات (نظیر مقیاس، دوران، روشنایی، نویز و ...) پایدار می‌باشند. روش پیشنهادی از سه مرحله اصلی شامل (۱) استخراج عوارض (گوشه‌ها، حباب‌ها و نواحی)، (۲) تناظرایی عوارض و (۳) ایجاد ماتریس تشابه و تعیین مناطق تغییر یافته، تشکیل شده‌است.

در قسمت اول روش پیشنهادی از سه الگوریتم از بهترین و کارآمدترین روش‌های استخراج عوارض محلی شامل تناسب فاز، UR-SIFT و MSER جهت استخراج عوارض در تصاویر استفاده شد. عوارض مستخرج از هر یک از این الگوریتم‌ها دارای خصوصیات برجسته‌ای بوده و ترکیب آنها با یکدیگر توصیف کاملی از ساختارهای موجود در مناطق شهری را ارائه می‌دهد. در قسمت دوم، بعد از انجام تناظرایی اولیه میان عوارض مستخرج از مرحله قبل، یک روش جدید بر مبنای نسبت فواصل جهت حذف تناظرهای اشتباه میان آنها ارائه شد. در نهایت در قسمت سوم روش پیشنهادی با توسعه‌ی یک معیار جدید بر مبنای عوارض محلی متناظر، روشی جهت ایجاد یک ماتریس تشابه میان دو تصویر و تعیین مناطق تغییر یافته در آنها ارائه شد.

روش پیشنهادی بر روی دو تصویر ماهواره‌ای از شهر سانفرانسیسکو آمریکا مربوط به سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۱ از دو سنجنده‌ی QuickBird و Worldview-2 ارزیابی شده و نتایج با مناطق حاصل از تشخیص یک اپراتور انسانی مقایسه شد. نتایج بیانگر دقت مناسب روش پیشنهادی (۹۲/۴۹٪) می‌باشد. روش پیشنهادی برخلاف دیگر روش‌ها از اطلاعات تصاویر چندطیفی در باندهای مختلف استفاده نکرده و نیازمند ثبت دقیق تصاویر نیز نمی‌باشد. به علاوه در نهایت بعد از تعیین مناطق تغییر یافته در تصاویر، یک مجموعه‌ی متراکم از نقاط متناظر در تصاویر حاصل می‌شود که برای پردازش‌های بعدی نظیر تولید اطلاعات ارتفاعی قابل استفاده می‌باشد.

مراجع

- [1] Ali, Z., Tuladhar, A.M. and Zevenbergen, J.A. (2012). "An integrated approach for updating cadastral maps in Pakistan using satellite remote sensing data." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation: JAG*, Vol. 18, pp. 386-398.
- [2] Weber, C. (2003). "Interaction model application for urban planning." *Landscape and Urban Planning*, Vol. 63, pp. 49-60.
- [3] Hristidis, S. Chen, T. Li, S. Luis, and Deng, Y. (2010). "Survey of data management and analysis in

- disaster situations." The Journal of Systems and Software, Vol. 83. pp. 1701-1714.
- [4] Bouziani, M. Goïta, K., and He, C. (2010). "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, Vol. 65, pp. 143-153.
 - [5] Sui, H., Zhou, Q., Gong, J., Ma, G., (2008). "Processing of multi-temporal data and change detection." In: Li, Z.L, Chen, J., Baltasvias, E. (Eds.), Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: 2008 ISPRS Congress Book. Taylor & Francis, Nottingham, pp. 227-247.
 - [6] Erenner, A. (2013). "Classification method, spectral diversity, band combination and accuracy assessment evaluation for urban feature detection." International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 21, pp. 397-408.
 - [7] Huang, X., Zhang, L., and Li, P. (2007). "Classification and extraction of spatial features in urban areas using high-resolution multispectral imagery." IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 4, No.2, pp. 260-264.
 - [8] Melgani, F., and Bruzzone, L., (2004). "Classification of hyperspectral remote sensing images with support vector machines." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 42 (August (8)), 1778-1790.
 - [9] Hong, G., and Zhang, Y. (2008). "Wavelet-based image registration technique for high-resolution remote sensing images." Computers & Geosciences, Vol. 34, pp. 1708-1720.
 - [10] Sedaghat, A., Mokhtarzade, M. and Ebadi, H. (2011). "Uniform Robust Scale-Invariant Feature Matching for Optical Remote Sensing Images." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 49, No. 11, pp. 4516-4527.
- [۱۱] صداقت، ا، عبادی، ح، مختارزاده، م (۱۳۸۹) بهبود الگوریتم SIFT جهت تناظریابی تصاویر ماهواره‌ای، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، دوره ۲، شماره ۴، از صفحه ۸۳ تا ۱۰۰.
- [۱۲] صداقت، ا، مختارزاده، م و عبادی، ح (۱۳۹۰) طراحی و توسعه معیار مشابهت اطلاعات متقابل جهت تناظریابی مستقل از مقیاس و دوران، نشریه علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره ۱، شماره ۲، از صفحه ۴۳ تا ۵۶.
- [13] Gruen, A. (2012). "Development and status of image matching in photogrammetry." Photogrammetric Record, Vol. 27, No. 137, pp. 36-57.
 - [14] Sedaghat, A., Ebadi, H. and Mokhtarzade, M. (2012). "Image Matching of Satellite Data Based on Quadrilateral Control Network." The Photogrammetric Record, Vol. 27, No. 140, pp. 423-442.
- [۱۵] صداقت، ا، مختارزاده، م، عبادی، ح و مقری، م (۱۳۸۹) طراحی و توسعه روشی دقیق و اتوماتیک برای مرتبطسازی تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، نشریه تخصصی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، دوره ۱، شماره ۱، از صفحه ۴۳ تا ۶۰.
- [۱۶] صداقت، ا، عبادی، ح، مختارزاده، م (۱۳۸۹) تلفیق عملگر Harris و توصیفگر SIFT جهت مرتبطسازی تصاویر ماهواره‌ای، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، دوره ۲، شماره ۱، از صفحه ۱ تا ۲۲.
- [17] Wang, L., Zheng, N., Chaoyang, W., Xie, R. and Huang, H. (2012). "A robust multisource image automatic registration system based on the SIFT descriptor." International Journal of Remote Sensing, Vol. 33, No. 12, pp. 3850-3869
 - [18] Belongie, S., Malik, J., and Puzicha, J. (2002). "Shape Matching and Object Recognition Using Shape Contexts." IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. Vol. 24, No. 4, pp. 509-522.
- [۱۹] صداقت، ا، دهقانی، د (۱۳۹۰) روشی کارآمد جهت ارزیابی اقدامات استتاری در تصاویر ماهواره‌ای، نشریه علوم و فناوری‌های پدافند غیر عامل، دوره ۲، شماره ۴، از صفحه ۲۹۵ تا ۳۰۶.
- [20] Li, J., and Allinson, N.M. (2008). "A Comprehensive Review of Current Local Features for Computer Vision." Neurocomputing, Vol. 71, pp. 1771-1787.
 - [21] Mikolajczyk, K. Tuytelaars, T., Schmid, C., Zisserman, A., Matas, J., Schaffalitzky, F., Kadir, T., and Van Gool, L. (2005). "A Comparison of Affine Region Detectors." Int. J. Comput. Vis. Vol. 65, No. 1/2, pp. 43-72.
 - [22] Mikolajczyk, K., and Schmid, C. (2005). "A Performance Evaluation of Local Descriptors." IEEE Trans.

- Pattern Anal. Mach. Intell, Vol. 27, No. 10, pp. 1615-1630.
- [23] Harris, C., and Stephens, M. (1988). "A Combined Corner and Edge Detector." In Alvey Vision Conference, UK.
 - [24] Kovese, P. (2000). "Phase congruency: A low-level image invariant." Psychol. Res., Vol. 64, No. 2, pp. 136-148.
 - [25] Kovese, P. (1999). "Image features from phase congruency." J. Comput. Vis. Res., Vol. 1, No. 3, pp. 2-26,
 - [26] Kovese, P. (2003). "Phase congruency detects corners and edges." Proc. Australian Pattern Recog. Soc. Conf., pp. 309-318.
 - [27] Smith, S. M. and Brady, J. M. (1997). "SUSAN-A New Approach to Low Level Image Processing." International Journal of Computer Vision, Vol. 23, No. 1, pp. 45-78.
 - [28] Lowe, D. (2004). "Distinctive Image Features from Scale Invariant Keypoints, Cascade Filtering Approach." International Journal of Computer Vision., Vol. 60, pp. 91-110
 - [29] Mikolajczyk, K. and Schmid, C. (2002). "An affine invariant interest point detector." In Proceedings of the 7th European Conference on Computer Vision, Copenhagen, Denmark
 - [30] Matas, J. Chum, O. Urban, M. and Pajdla, T. (2002). "Robust Wide-Baseline Stereo from Maximally Stable Extremal Regions." Proceedings of the British Machine Vision Conference, Cardiff, UK
 - [31] Matas, J. Chum, O. Urban, M. and Pajdla, T. (2004) "Robust wide-baseline stereo from maximally stable extremal regions." Image and Vision Computing, Vol. 22, pp. 761-767
 - [32] Fonte, L. M., Gautama, S., Philips, W., and Goeman W. (2005). "Evaluating corner detectors for the extraction of man made structures in urban areas." in Proc. IEEE Int. Geosci. Remote Sens. Symp., pp. 237-240
 - [33] Sırmaçek, B. and Ünsalan, C. (2009). "Urban area and building detection using SIFT keypoints and graph theory." IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol. 47, No. 4, pp. 1156-1167.
 - [34] Sırmaçek, B. and Ünsalan, C. (2010). "Urban Area Detection Using Local Feature Points and Spatial Voting." IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 7, No. 1.
 - [35] Sırmaçek, B. and Ünsalan, C. (2009). "A Probabilistic Framework to Detect Buildings in Aerial and Satellite Images." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 49, No. 1, pp. 211-221.
 - [36] Kyrki, V., Kamarainen, J. K., and Kalviainen, H. (2004). "Simple Gabor feature space for invariant object recognition." Pattern Recognit. Lett., Vol. 25, No. 3, pp. 311-318.
 - [37] Ünsalan, C. (2006). "Gradient-magnitude-based support regions in structural land use classification." IEEE Geosci. Remote Sens. Lett., Vol. 3, No. 4, pp. 546-550.
 - [38] Rosten, E., Porter, R., and Drummond, T. (2010). "Faster and better: A machine learning approach to corner detection." IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Learn., Vol. 32, No. 1, pp. 105-119.
 - [39] Morrone, M. and Owens, R. (1987). "Feature detection from local energy." Pattern Recognit. Lett., Vol. 6, No. 5, pp. 303-313.
 - [40] Wong, A., and Clausi, D. A. (2007). "ARRSI: Automatic Registration of Remote-Sensing Images." IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol. 45, No. 5, pp. 1483-1493
 - [41] Deng, J. S., Wang, K., Li, J., and Deng, Y. H. (2008). "Urban land use change detection using multisensor satellite images." Pedosphere, Vol. 19, pp. 96-103.
 - [42] N. Otsu, (1979). "A threshold selection method from gray-level histograms." IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., Vol. SMC-9, No. 1, pp. 62-66.