

بهبود تناظریابی تصاویر ماهواره‌های TerraSAR-X به کمک ویژگی‌های بافت تصویری

محمدامین قنادی^{۱*}، محمد سعادت سرشت^۲، اکرم افتخاری^۳

۱- دانشجوی دکتری ۲- استادیار ۳- کارشناس ارشد، پردیس دانشکده‌های فنی، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تهران

(دریافت: ۹۳/۰۵/۲۳، پذیرش: ۹۳/۱۲/۲۴)

چکیده

انجام تناظریابی تصاویر SAR یکی از اصلی‌ترین مراحل انجام فرآیندهایی همچون تداخل سنجی، رادارگرامتری و کشف تغییرات می‌باشد. در تمام فرآیندهای ذکر شده باید نقاطی در سطح زوج تصویر با یکدیگر متناظر شوند تا بتوان به خروجی‌هایی همچون مدل ارتفاعی زمین، میزان جابه‌جایی‌های پوسته زمین و یا میزان تغییرات سطح زمین رسید. تناظریابی در تصاویر SAR به علت وجود پدیده‌های هندسی مختلف، وجود نویز اسپیکل و وجود نواحی با بافت تکراری و ضعیف در سطح تصویر پیچیده‌تر از بحث تناظریابی تصاویر نوری می‌باشد، لذا ارائه روش‌های کارآمد در رسیدن به نتایج مطلوب‌تر در بحث تناظریابی این تصاویر می‌تواند کمک شایانی در رسیدن به خروجی‌های با کیفیت‌تر از این تصاویر در فرآیندهای ذکر شده بنماید. امروزه در میان تصاویر SAR به تصاویر TerraSAR-X به عنوان یکی از تصاویر با توان تفکیک مکانی بالا توجه زیادی می‌شود. در این مقاله سعی شده است که با استفاده از برخی اطلاعات مختلف بافت تصویر که شامل تصاویر کنتراست، همبستگی، عدم تشابه، آنتروپی، همگنی، گرادیان بهینه خطی، میانه، گشتاور دوم، واریانس، فیلتر بالا گذر و تصویر لبه می‌باشد نتایج حاصل از تناظریابی زوج تصویر اصلی بهبود داده شود. آزمایش‌ها بر روی بخشی کوچک و پرعرضه از زوج تصویر TerraSAR-X که از منطقه جم استان بوشهر اخذ شده‌اند، صورت می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد با توجه به اینکه بافت تصویر در برخی مناطق از تصویر اصلی ضعیف است، الگوریتم انجام تناظریابی (در این مقاله از روش جریان نوری لوکاس و کاناده برای انجام تناظریابی استفاده شده است) تنها ۸۶٪ موفقیت به همراه دارد و قادر به کشف نقاط متناظر از برخی مناطق نمی‌باشد. این درحالی است که در همان مناطق پس از استفاده از اطلاعات بافت تصویر نقاط با ۹۹/۷٪ موفقیت، به خوبی متناظر شده‌اند.

واژگان کلیدی:

تصاویر SAR، بافت تصویر، تناظریابی، TerraSAR-X، رادارگرامتری، اینترفرومتری، کشف تغییرات

۱. مقدمه

فرآیند تداخل سنجی راداری^۲، رادارگرامتری^۳ و کشف تغییرات اشاره کرد که در تمام این پردازش‌ها یکی از اصلی‌ترین مراحل انجام کار تناظریابی^۴ تصویری می‌باشد. انجام هرچه بهتر تناظریابی تصاویر SAR به عنوان یک چالش مهم تا به امروز مورد علاقه و مطالعه پژوهشگران بوده است. تناظریابی تصاویر SAR در مقایسه با تناظریابی تصاویر نوری به مراتب پیچیده‌تر می‌باشد.

شاید بتوان دو دلیل عمده برای پیچیده بودن بحث تناظریابی تصاویر SAR مطرح کرد. این دو دلیل عمده وجود پدیده‌های هندسی ناشی از نوع تصویربرداری راداری و وجود نویزهای رادیومتریک^۵ در این تصاویر می‌باشد. سه معضل هندسی مطرح در

امروزه با پیشرفت تکنولوژی و اخذ تصاویر SAR با توان تفکیک مکانی بالا اهمیت مطالعه بر روی این تصاویر افزایش یافته است. سنجنده‌های فضاپردی همچون RadarSat-۲ کانادا، CosmoSkymed ایتالیا و TerraSAR-X آلمان از جمله سنجنده‌هایی می‌باشند که تصاویر با توان تفکیک مکانی بالا اخذ می‌کنند. این سنجنده‌ها تصاویر با توان تفکیک تا یک متر دارند. تصاویر SAR کاربردهای فراوانی در نقشه‌برداری سطح زمین، سنجش از دور و ژئودزی^۱ دارند [۱۸]. در پردازش‌هایی که بر روی تصاویر SAR می‌شود می‌توان به

² interferometry

³ radargrammetry

⁴ matching

⁵ radiometric noise

* رایانامه نویسنده پاسخگو: amin.ghanadi@ut.ac.ir

¹ geodesy

اینجا استفاده از اطلاعات ویژگی‌های استخراج شده بافت تصاویر برای رفع مشکل تناظریابی مبتنی بر ناحیه تصاویر SAR در نواحی با بافت ضعیف پیشنهاد شده است.

بافت را می‌توان به صورت شکل دهنده نواحی قابل رؤیت تعریف کرد. ساختار آن به سادگی از الگوهای تکراری از المان‌ها یا اجزای ابتدایی که بر اساس قواعدی در کنار هم قرار گرفته‌اند تشکیل شده است. اگر در یک ناحیه از تصویر مجموعه‌ای از آماره‌ها یا سایر ویژگی‌های محلی که تابعی از تصویر هستند ثابت باشند، به آهستگی تغییر کنند یا تقریباً تغییرات دوره‌ای داشته باشند می‌توان گفت آن ناحیه بافت مشخص و یکسانی دارد. آنالیز بافت به طور گسترده در طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور کاربرد دارد. طبقه‌بندی کاربری زمین در جایی که نواحی همگن از عوارض مختلف در تصویر موجود باشند یکی از مهم‌ترین کاربردها است. روش‌های مختلف مدل‌سازی و استخراج بافت را معمولاً و در حالت کلی می‌توان برای حل چهار دسته از مسائل استفاده کرد. این چهار دسته عبارتند از: قطعه‌بندی بافت^{۱۲}، طبقه‌بندی بافت، ترکیب بافت، استخراج شکل با استفاده از بافت. در این مقاله از اطلاعات بافت برای کاربرد دیگری استفاده شده است. در اینجا سعی می‌شود از اطلاعات بافت برای انجام تناظریابی تصویری استفاده شود. برخی از مشخصه‌های بافت تصویر را بر اساس ماتریس رخداد توام می‌توان محاسبه کرد. هرالیک^{۱۳} چهارده معیار را به این منظور معرفی کرده است [۱۵].

در بحث تناظریابی تصاویر راداری پژوهش‌هایی نیز صورت گرفته است که در هر کدام به شکلی در راستای بهبود نتایج حاصل از تناظریابی تصاویر راداری روشی پیشنهاد داده‌اند. روش‌های مختلفی جهت انجام تناظریابی مبتنی بر ناحیه تصاویر SAR توسط محققین پیاده‌سازی و آزمایش شده است. معیارهای مختلفی برای بیان شباهت در تناظریابی مبتنی بر ناحیه مورد ارزیابی قرار گرفته است که ضریب همبستگی خطی از این موارد می‌باشد [۴]. توپین^{۱۴} و همکاران بر روی کاربردهای ضریب همبستگی خطی در رادارگرامتری مطالعاتی انجام داده و معیارهای دیگری را نیز برای بیان شباهت ناحیه تصویری مورد بحث و مطالعه قرار داده‌اند [۲۴]. همچنین روشی جهت بهبود بازسازی برجستگی‌های تصاویر SAR ارائه شده است که در واقع نوعی پیش پردازش اطلاعات ورودی با یک فیلتر بهینه می‌باشد که اثر غیر مستقیم بر روی تناظریابی تصاویر SAR دارد. این فیلتر نویز اسپکل را کاهش می‌دهد و برجستگی‌های تصویر را بهبود می‌بخشد که نهایتاً منجر به نتایج بهتر تناظریابی مبتنی بر ناحیه در تصویر می‌شود [۲۰]. مریک^{۱۵} و

تصاویر SAR عبارت است از سایه^۶، کوتاه‌نمایی^۷ و چرخش^۸ که باعث برهم زدن ساختار تصاویر نسبت به هم می‌شوند [۱۰]. از میان نویزهای رادیومتریکی تصاویر راداری نویز اسپیکل اصلی‌ترین عامل در ایجاد اختلال در بحث تناظریابی تصاویر SAR می‌باشد. نویز اسپیکل یک نویز نقطه‌ای است که بصورت ذاتی در تصاویر راداری وجود دارد و باعث کاهش کیفیت رادیومتریکی تصاویر SAR می‌شود. این نویز در اثر برخوردی‌های سازنده و مخرب امواج رسیده از هدف به سنجنده ایجاد می‌شود که بصورت نقاط تاریک و روشن در تصویر ظاهر می‌شود. نویز اسپیکل در تصاویر راداری ناشی از نوسانات اتفاقی در سیگنال بازگشتی از شیء می‌باشد که باعث افزایش میانگین درجات خاکستری تصویر در نواحی محلی می‌شود [۹].

تناظریابی تصویری به دو صورت اصلی می‌تواند صورت بپذیرد. این دو دسته عبارت است از تناظریابی مبتنی بر ناحیه^۹ و تناظریابی مبتنی بر عارضه^{۱۰}، اگرچه می‌توان دسته سومی نیز تحت عنوان تناظریابی ترکیبی نیز در نظر گرفت [۸]. این روش‌ها دارای مزایا و معایبی می‌باشند که به بررسی برخی از آنها می‌پردازیم. روش‌های تناظریابی مبتنی بر ناحیه روش‌هایی هستند که برای تناظریابی چگال مناسب می‌باشند. همچنین باید گفت که دقت این دسته از روش‌ها به‌طور کلی بالاست ولی صحت آنها در تناظریابی تصاویر SAR به علت وجود الگوی تکراری بافت تصویر به اندازه دقت آنها شرایط ایده‌آلی را به‌همراه ندارد. روش‌های تناظریابی مبتنی بر ناحیه نه تنها روش‌هایی زمان‌بر می‌باشند بلکه موفقیت آنها وابسته به در اختیار داشتن جواب تقریبی در حد چند پیکسل است. اما در مقایسه با روش‌های مبتنی بر ناحیه، روش‌های مبتنی بر عارضه برای تناظریابی تنگ مناسب هستند و نتایج آنها دارای صحتی بالا می‌باشند ولی دقتی کمتر از روش‌های مبتنی بر ناحیه دارند. روش‌های مبتنی بر ناحیه که اغلب بر پایه تعیین میزان شباهت پنجره‌های محلی استوار هستند در قسمت‌هایی از تصویر که بافت تکراری دارد مناسب نمی‌باشند. از سوی دیگر، روش‌های مبتنی بر عارضه به علت استفاده از نقاط مهم در تناظریابی دارای صحت بالاتری نسبت به روش‌های مبتنی بر ناحیه می‌باشد. قابل ذکر است استفاده از هر کدام از دو روش متناسب با شرایط موجود و متناسب با نیاز مسئله می‌توانند موثر باشند. اما زمانی که هدف تولید مدل ارتفاعی زمین^{۱۱} می‌باشد نیاز به تناظریابی چگال و استفاده از تناظریابی مبتنی بر ناحیه می‌باشد و همانطور که ذکر گردید به علت وجود بافت تکراری، ضعیف و نویزی این فرآیند در برخی نواحی تصویر با مشکل مواجه می‌شود. از این رو در این مقاله، با ارائه راهکاری این مشکل رفع می‌گردد. در

⁶ shadow

⁷ foreshortening

⁸ layover

⁹ area based

¹⁰ feature based

¹¹ Digital Elevation Model (DEM)

¹² texture

¹³ Haralick

¹⁴ Tupin

¹⁵ Meric

الگوریتم‌های استخراج عارضه و در ادامه استفاده از معیارهای ناحیه‌ای برای تخصیص ویژگی به عوارض استخراج شده از این دسته روش‌ها می‌باشند [۱۴، ۱۶]. همانگونه که پیش‌تر بیان شد این روش‌های تناظریابی ناحیه‌مبنا هستند که خروجی آنها تناظریابی چگال است و اگر هدف بعنوان مثال تولید مدل ارتفاعی رقومی زمین باشد باید ترجیحا از روش‌های مبتنی بر ناحیه استفاده شود.

وجود بافت تکراری و ضعیف در این روش‌ها بعنوان یک چالش جدی شناخته می‌شود. در این مقاله هدف استفاده از آنالیز بافت و استخراج ویژگی‌های مختلف بافت تصویر جهت رفع این چالش در تناظریابی مبتنی بر ناحیه تصاویر SAR می‌باشد.

در ادامه، ابتدا در قسمت دوم به بیان مبانی تئوری و چگونگی انجام تناظریابی به روش جریان نوری^{۲۱} و استخراج ویژگی‌های بافت تصویر SAR پرداخته می‌شود. در قسمت سوم راهکار پیشنهادی ارائه می‌شود. در قسمت چهارم داده‌های مورد استفاده معرفی می‌شوند سپس در قسمت پنجم آزمایش‌ها بر روی تصاویر صورت می‌گیرد و نتایج حاصل از آزمایش‌ها بیان می‌گردد. در قسمت ششم مقاله نیز نتیجه‌گیری حاصل از آزمایش‌ها گفته خواهد شد. و در پایان نیز منابع مورد استفاده آورده شده است.

۲. مبانی تئوری

در ابتدا به معرفی روش جریان نوری در تناظریابی پرداخته می‌شود. در قسمت دوم روش‌های آماری در آنالیز بافت تشریح می‌شود.

۲-۱. جریان نوری

جریان نوری اشاره به مسأله برآورد یک میدان برداری از جابه‌جایی‌های محلی در دنباله‌ای از تصاویر دارد [۱۴]. این روش برای محاسبه جابه‌جایی در فریم‌های ویدئویی کاربرد دارد که البته می‌توان از این مفهوم برای محاسبه جابه‌جایی در تصاویر با طول باز کوتاه (فاصله بین دو ایستگاه تصویربرداری از هم کم باشد) استفاده کرد. محاسبه جابه‌جایی تصویری هر پیکسل در واقع همان محاسبه پارالاکس X و پارالاکس Y می‌باشد و این مفاهیم با استفاده از اطلاعات درجات خاکستری تصویر به دست می‌آید. این عملیات تناظریابی به روش جریان نوری می‌باشد. حل مسئله جریان نوری با هدف محاسبه جابه‌جایی تصویری شامل دو روش اصلی می‌شود. این دو روش عبارتند از روش هورن و شانک^{۲۲} و روش لوکاس و کاناده^{۲۳} که در ادامه بررسی خواهند شد [۲۱].

همکاران جهت تولید مدل ارتفاعی زمین در مناطق کوهستانی با استفاده از تصاویر SIR-C^{۱۶} دو روش پیشنهادی خود را با فرآیند ضریب همبستگی خطی نرمالیزه شده مرتبه صفر مقایسه کردند. استفاده از روش ضریب همبستگی خطی نتایج خوبی به همراه دارد ولی در مناطق فشرده (مانند جنگل) دارای خطا است، از این رو دو روش برای کاهش این خطاها پیشنهاد شده است [۱۹]. در مقاله آقای بلاز^{۱۷} و همکاران روشی جدید برای فرآیند رادارگرامتری با هدف تولید مدل ارتفاعی زمین ارائه داده شده است. در طی این فرآیند از روش مبتنی بر ناحیه با معیار ضریب همبستگی خطی برای انجام تناظریابی استفاده شده است [۲]. خانم کاپالدو^{۱۸} و همکاران نیز از روش تناظریابی مبتنی بر ناحیه سلسله مراتبی به همراه تناظریابی کمترین مربعات در نرم افزار تجاری SISAR استفاده کرده‌اند [۳]. جهت انجام فرآیند رادارگرامتری روش‌های دیگری نیز پیشنهاد شده است که انجام تناظریابی در هر کدام بحثی مهم می‌باشد [۲۶]. در کنار استفاده از روش‌های مبتنی بر ناحیه و همزمان با آن‌ها پژوهش‌هایی نیز بر روی نتایج حاصل از تناظریابی مبتنی بر عارضه انجام شده است [۱۲، ۲۷]. استفاده از SIFT^{۱۹} با بهبودهای مختلفی که بر روی این الگوریتم مبتنی بر عارضه اعمال شده است، از جمله پژوهش‌هایی است که در چند سال اخیر بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است [۷، ۲۲، ۲۵، ۲۶]. از آنجا که روش تناظریابی SIFT مستقل از دوران، مقیاس، اعوجاج هندسی (در حد تغییر شکل مدل افاین^{۲۰}) و تغییرات ناگهانی روشنایی می‌باشد، می‌تواند در بحث تناظریابی تصاویر SAR موثر واقع شود [۱۷]. بهبود روش‌های استخراج عوارض نقطه‌ای و خطی در تصاویر SAR باعث پررنگ‌تر شدن تلاش پژوهشگران در انجام تناظریابی مبتنی بر عارضه این تصاویر شده است [۵، ۲۳]. تکنیک‌های موجود در بینایی ماشین مانند استفاده از توصیفگرهای باینری همچون Census نیز در انجام تناظریابی تصاویر SAR مورد استفاده قرار گرفته شده است. استفاده از این توصیفگرها باعث می‌شود تغییرات شدید ناشی از نویز اسپیکل در همسایگی نقطه مدنظر بی اثر شود، البته جهت تناظریابی تا آن جا که مقدار درجه خاکستری آن از پیکسل مرکزی کمتر نشود و بر روی سایر همسایگی‌ها اثر مخرب نداشته باشد. همچنین حتی اگر این مقدار کمتر از پیکسل مرکزی شود، باز هم فقط خود را به صورت یک کد باینری در میان دسته بیت نشان خواهد داد و برخلاف توصیفگرهای ناحیه‌ای باعث تخریب سایر مقادیر در همسایگی‌ها نمی‌شود. در کنار روش‌های تناظریابی مبتنی بر ناحیه و مبتنی بر عارضه تصاویر SAR استفاده از روش‌های ترکیبی نیز می‌تواند موجب بهبود نتایج تناظریابی شود [۱۳، ۶]. استفاده از

^{۲۱} Optical flow

^{۲۲} Horn & Schunk

^{۲۳} Lucas & Kanade

^{۱۶} Spaceborne Imaging Radar-C band

^{۱۷} Blaz

^{۱۸} Capaldo

^{۱۹} Scale Invariant Feature Transform

^{۲۰} Affine

۲.۲. استخراج ویژگی‌های بافت تصویر

یکی از پارامترهای موثر در تعریف بافت توزیع مکانی درجات خاکستری در سطح تصویر است. استفاده از ویژگی‌های آماری یکی از روش‌های ابتدایی برای تعریف بافت هستند که در مقالات بینایی ماشین معرفی شده‌اند. در این روش‌ها از مجموعه‌ای از آماره‌ها برای تعریف ویژگی‌های بافت انتخابی استفاده می‌شود که روش‌های خود همبستگی، ویژگی‌های هیستوگرام، الگوی باینری محلی^{۲۵} و روش‌های هم مبتنی بر تطبیق^{۲۶} از جمله این روش‌ها می‌باشند. یکی دیگر از روش‌های آماری موجود جهت آنالیز بافت که بیش از سایرین مورد توجه در شاخه بازسازی الگو قرار دارد روش‌های بر پایه ماتریس رخداد درجات خاکستری می‌باشند.

برای تعریف این ماتریس فرض می‌کنیم $\{I(x,y), 0 \leq x \leq N-1, 0 \leq y \leq N-1\}$ معرف یک تصویر با ابعاد $N \times N$ و با درجات خاکستری باشد. ماتریس رخداد توام درجات خاکستری یکی از شناخته شده‌ترین ابزارها برای تعریف بافت است. در این ماتریس تخمین ویژگی‌های تصویر بر اساس آماره‌های مرتبه دوم به دست می‌آید. ماتریس رخداد توام درجات خاکستری با ابعاد برای تصویری با مشخصات فوق و بردار جابجایی $d = (dx, dy)$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P_d(i, j) = \left| \left\{ \left((r, s), (t, v) \right) : I(r, s) = i, I(t, v) = j \right\} \right| \quad (۶)$$

ورودی (i, j) ماتریس بیانگر تعداد رخداد زوج‌های درجات خاکستری و است که در فاصله d از هم قرار گرفته‌اند. در این تعریف $(r, s), (t, v) \in N \times N$ و $(t, v) = (r + dx, s + dy)$ و $|d|$ برابر با تعداد عضوهای مجموعه است.

ماتریس رخداد توام درجات خاکستری شامل اطلاعات مشخصی در مورد توزیع مکانی درجات خاکستری در بافت تصویر است. به عنوان مثال اگر همه درایه‌های این ماتریس در اطراف قطر ماتریس متمرکز باشند می‌توان استنباط کرد که با توجه به بردار جابجایی با یک بافت زیر در تصویر مواجه هستیم. برخی از مشخصه‌های بافت تصویر را براساس ماتریس رخداد توام می‌توان محاسبه کرد. برخی از این معیارها در جدول ۱ آمده است [۱۱، ۱].

که در این تعاریف μ_x, μ_y و σ_x, σ_y به ترتیب مقادیر میانگین و انحراف معیار x و y هستند.

همچنین داریم:

$$P_{(x+y)}(k) = \sum_i \sum_j p(i, j), \quad i + j = k, \quad k = 2, 3, \dots, 2N \quad (۸)$$

$$P_{(x-y)}(k) = \sum_i \sum_j p(i, j), \quad |i - j| = k, \quad k = 0, 1, \dots, N-1$$

در روش هورن و شانک تابع انرژی زیر باید کمینه شود:

$$\iint \left[(I_x u + I_y v + I_t)^2 + \alpha^2 (\|\nabla u\|^2 + \|\nabla v\|^2) \right] dx dy \quad (۱)$$

که در آن I تصویر در زمان t در موقعیت (X, Y) می‌باشد. همچنین u و v مشتقات X و Y نسبت به زمان (مولفه‌های سرعت) می‌باشند. در این رابطه $V = [u(X, Y), v(X, Y)]^T$ بردار جریان نوری نامیده می‌شود و پارامتر α پارامتر تنظیم‌کننده است. هرچه مقدار α بیشتر باشد جریان نوری نرم‌تر و با تغییرات کمتر خواهد بود. تابع انرژی را می‌توان با حل معادلات اویلر-لاگرانژ وابسته کمینه کرد. اما در الگوریتم اصلی لوکاس و کاناده به منظور حل مسئله دهانه^{۲۴} (یک معادله و دو مجهول) باید فرض کنیم که تمامی پیکسل‌های داخل پنجره با ابعاد مشخص دارای یک تغییر مختصات هستند:

$$I_x(q_1)v_x + I_y(q_1)v_y = I_t(q_1) \quad (۲)$$

$$I_x(q_2)v_x + I_y(q_2)v_y = I_t(q_2)$$

....

$$I_x(q_n)v_x + I_y(q_n)v_y = I_t(q_n)$$

که در آن I_x مشتق تصویر در جهت محور X و I_y مشتق در جهت محور Y می‌باشد. در فرمول بالا q پیکسل‌های داخل پنجره و v_x و v_y سرعت هر پنجره در راستای محورهای X و Y هستند. همچنین I_t تغییرات در گذر زمان (ثابت بودن حسگر و متحرک بودن شی و یا متحرک بودن حسگر و ثابت بودن شی) را نشان می‌دهد. بدیهی است که هرچه پنجره کوچکتر باشد میزان تقریب یکنواختی سرعت در سطح تصویر به واقعیت نزدیکتر می‌شود. اما از طرفی این کوچک بودن باعث می‌شود که در مواقعی که سرعت در یکی از راستاها از اندازه پنجره در آن راستا بزرگتر باشد دستگاه معادلات قابل حل نباشد. این معادلات در دستگاه ماتریسی $AV=B$ نوشته می‌شوند که در آن:

$$A = \begin{bmatrix} I_x(q_1) & I_y(q_1) \\ \vdots & \vdots \\ I_x(q_n) & I_y(q_n) \end{bmatrix}, V = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} -I_t(q_1) \\ \vdots \\ -I_t(q_n) \end{bmatrix} \quad (۳)$$

دستگاه معادلات از رابطه زیر حل می‌شود:

$$v = (A^T W A)^{-1} A^T W b \quad (۴)$$

که در آن W ماتریس قطری با ابعاد $n \times n$ است و حاوی وزن‌های $W_{ii} = \omega_i$ که به معادله هر پیکسل q_i اعمال می‌شوند. وزن ω_i به‌طور معمول برابر تابع گوسی فاصله بین q_i و p در نظر گرفته می‌شود [۲۱].

$$\begin{bmatrix} \sum \omega_i I_x(q_i)^2 & \sum \omega_i I_x(q_i) I_y(q_i) \\ \vdots & \vdots \\ \sum \omega_i I_x(q_i) I_y(q_i) & \sum \omega_i I_y(q_i)^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\sum \omega_i I_x(q_i) I_t(q_i) \\ \vdots \\ -\sum \omega_i I_y(q_i) I_t(q_i) \end{bmatrix} \quad (۵)$$

²⁴ aperture problem

بر دارنده ویژگی‌های مختلفی از تصویر می‌باشند در بحث تناظریابی تصاویر SAR بهره برد. برای انجام این کار در ابتدا تصویر مورد آزمایش با انجام یک پیش پردازش، نویز اسپیکل توسط الگوریتم لی بهبود یافته^{۲۹} از روی تصویر کاهش داده می‌شود. سپس تصاویر ویژگی بافت تصویر استخراج می‌شوند و فرآیند تناظریابی به صورت مستقل از یکدیگر به وسیله روش جریان نوری لوکاس و کاناده صورت می‌پذیرد. در تمام حالات صحت تناظریابی صورت گرفته با استفاده از هندسه اپی‌پلار^{۳۰} متناظر در تصاویر مورد بررسی قرار می‌گیرند. بنابراین نقاطی از تصویر master که در تصویر slave به درستی متناظر شده‌اند (صحت آنها مورد تایید قرار گرفته است) و در تعدادی از تصاویر ویژگی slave یا تمام آنها به درستی متناظر شده‌اند وارد فرآیند میانگین‌گیری از موقعیت مکانی slave آنها می‌شود (موقعیت مکانی نقاط تصویر master برای تمام تصاویر یکسان است). مراحل راه‌کار پیشنهادی در فلوچارت شکل ۱ آمده است.



شکل ۱. مراحل انجام راه‌کار پیشنهادی جهت بهبود تناظریابی تصاویر ماهواره‌ای TerraSAR-X به کمک ویژگی‌های بافت تصویری

معیار صحیح بودن نتیجه تناظریابی، فاصله یک پیکسلی از خط اپی‌پلار نقطه مورد نظر بر روی تصاویر فرض می‌شود [۱۹]. روال کار بدین صورت است که با داشتن اطلاعات مداری ماهواره و وجود معادلات Range-Doppler می‌توان برای هر نقطه از تصویر master

²⁹ enhanced Lee

³⁰ epipolar geometry

جدول ۱. نمایش روابط برخی مشخصه‌های استخراج شده از تصویر اصلی در این مقاله

رابطه محاسباتی	مشخصه بافت
$-\sum_i \sum_j P_d(i, j) \log P_d(i, j)$	آنتروپی
$\sum_i \sum_j (i - j)^2 P_d(i, j)$	کنتراست ^{۲۷}
$\frac{\sum_i \sum_j (i - \mu_x)(j - \mu_y) P_d(i, j)}{\sigma_x \sigma_y}$	همبستگی
$\sum_i \sum_j (i - \mu)^2 P_d(i, j)$	واریانس
$\sum_i \sum_j \frac{P_d}{1 + i - j }$	همگنی ^{۲۸}
$\sum_i \sum_j i - j P_d(i, j)$	عدم تشابه

$$HXY = -\sum_i \sum_j p(i, j) \log(p(i, j))$$

$$HXY 1 = -\sum_i \sum_j p(i, j) \log\{p_x(i) p_y(j)\} \quad (9)$$

$$HXY 2 = -\sum_i \sum_j p_x(i) p_y(j) \log\{p_x(i) p_y(j)\}$$

برای سادگی در تفسیر و محاسبه این پارامترها معمولاً از مقادیر نرمال شده ماتریس رخداد توام استفاده می‌شود. برخی از پارامترهای استخراجی معرف ویژگی‌های مشخصی از بافت مثل همگنی، کنتراست و یا حضور ساختارهای منظم در تصویر هستند. اما برخی معیارها بیانگر پیچیدگی‌ها و طبیعت تغییرات درجات خاکستری در تصویر هستند. با این که این ویژگی‌ها نیز شامل اطلاعاتی در مورد ویژگی‌های بافت تصویر هستند، بیان این که دقیقاً کدام مشخصه از بافت را تعریف می‌کنند مشکل است. علاوه بر روابط نمایش داده شده در جدول ۱ از تصاویر گرادیان بهینه خطی، میانه، گشتاور دوم، واریانس، فیلتر بالا گذر و تصویر لبه نیز در این مقاله استفاده شده است. علت استفاده از این دوازده تصویر ویژگی آماری بافت این است که این ویژگی‌ها به نوعی اکثر رفتار بافتی تصاویر را شامل می‌شوند و می‌توانند به نسبت، نمایندگان خوبی از تمامی ویژگی‌های آماری بافت تصویر باشند. اگرچه این امکان نیز وجود دارد که بتوان تصاویر ویژگی دیگری را نیز در این فهرست گنجانند و به نتایج مطلوب‌تری نیز رسید.

۳. ارائه راه‌کار پیشنهادی

با توجه به اینکه تصاویر SAR دارای بافتی نویزی و در برخی مناطق ضعیف می‌باشد می‌توان از تمام اطلاعات بافت تصویر که در

²⁷ contrast

²⁸ homogeneity

از این تناظریابی در تولید مدل ارتفاعی رقومی زمین استفاده شود می‌توان در مرحله ویرایش نقاط میخی که ناشی از تناظریابی اشتباه می‌باشند را کشف و حذف نمود.

۴. معرفی داده‌ها

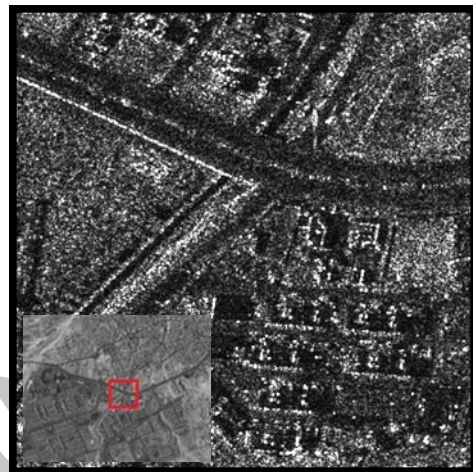
برای انجام آزمایش‌های مورد نیاز در این مقاله از تصاویر اخذ شده از منطقه جم استان بوشهر توسط سنجنده TerraSAR-X استفاده شده است و این تصاویر در شکل ۲ نمایش داده شده‌اند. همچنین اطلاعات این تصاویر در جدول ۲ آورده شده است.

تصاویر TerraSAR-X تصاویر با توان تفکیک مکانی بالا (یک متر) محسوب می‌شوند و در این تحقیق، تصاویر با طول باز کوتاه می‌باشند.

۵. نتایج آزمایش‌ها

جهت انجام آزمایش ابتدا با استفاده از الگوریتم لی بهبود یافته، اثر نویز اسپیکل روی تصاویر کاهش داده می‌شود. سپس بر روی تصویر master یک شبکه 30×30 از نقاط انتخاب می‌گردد. در ادامه با استفاده از روش تناظریابی مبتنی بر ناحیه این نقاط در تصویر slave جستجو می‌شوند و در صورت امکان مناظر می‌شوند. جهت انجام تناظریابی از روش جریان نوری لوکاس و کاناده استفاده می‌شود. وقتی بر روی تصویر اصلی فرآیند تناظریابی صورت می‌گیرد تعداد ۷۷۴ نقطه از ۹۰۰ نقطه شبکه مناظر می‌شوند. به عبارتی تعداد ۱۲۶ نقطه نتوانسته‌اند در تصویر slave مناظر خود را پیدا کنند (۸۶٪ موفقیت در تناظریابی). علت این امر بافت ضعیف، پیچیده و نویزی تصویر SAR در برخی نواحی است که باعث شده است تعدادی از نقاط نتوانند مناظر شوند. در ادامه آزمایش‌ها با استخراج تصاویر ویژگی بافت تصویر اصلی مورد آزمایش، فرآیند تناظریابی شبکه نقاط انجام می‌گیرد. این تصاویر شامل تصاویر کنتراست، همبستگی، عدم تشابه، آنتروپی، همگنی، گرادیان بهینه خطی، میانه، گشتاور دوم، واریانس، فیلتر بالا گذر و تصویر لبه می‌شوند. در شکل شماره ۳ مناظر شدن نقاط شبکه بر روی تصاویر مختلف بافت نمایش داده شده است.

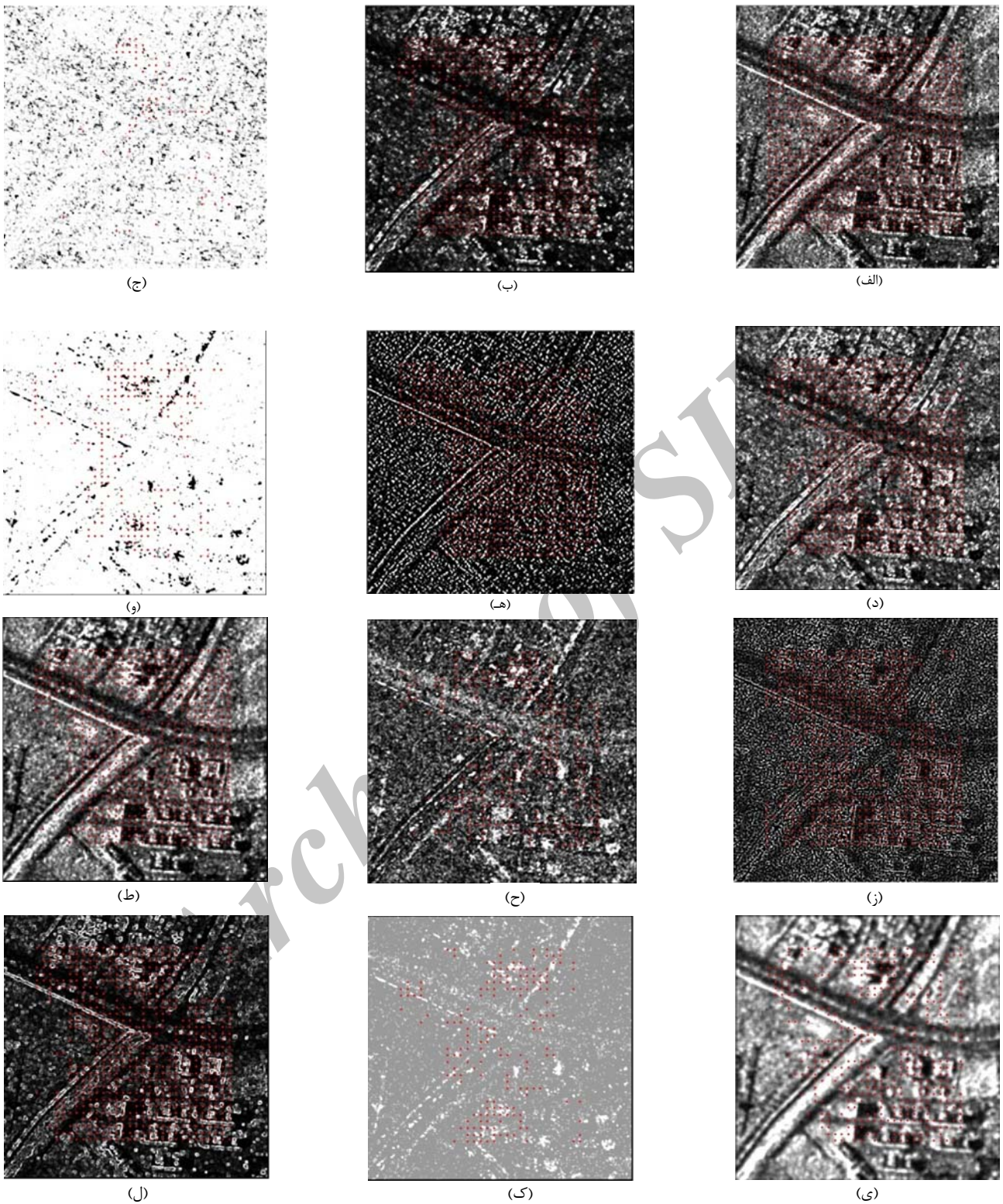
خط اپی‌پلار آن نقطه را بر روی تصویر slave را با دقت نیم پیکسل در مکان نقطه به دست آورد. بنابراین نقطه مناظر شده از تصویر slave زمانی صحت دارد که فاصله آن از خط اپی‌پلار متناظرش حداکثر یک پیکسل باشد (در این مقاله اینچنین فرض می‌شود). البته این احتمال اندک وجود دارد که برخی نقاط در راستای خط اپی‌پلار به اشتباه مناظر شوند که در این صورت این روش قادر به کشف نقاط مناظر اشتباه نخواهد بود. این نقاط مناظر اشتباه نیز بعداً در فضای شیء قابل کشف و حذف می‌باشند. به عنوان مثال اگر



شکل ۲. (پایین) تصویر master و (بالا) تصویر slave از منطقه جم استان بوشهر توسط سنجنده TerraSAR-X

جدول ۲. اطلاعات مربوط به تصاویر TerraSAR-X

تصویر	منطقه تصویر برداری	تاریخ اخذ تصویر master	تاریخ اخذ تصویر slave	قطبش	جهت مدار	طول باز تصویر برداری	نوع و پردازش تصویر
TerraSAR-X	جم- بوشهر	۲۰۱۱/۰۴/۱۷	۲۰۱۱/۰۴/۲۸	عمودی	Descending	۱۳۷ متر	Spotlight-SSC



شکل ۳. نمایش تعداد نقاطی از شبکه نقاط بر روی تصویر master که متناظرشان در تصویر slave به درستی تعیین شده است. تصاویر: (الف) اصلی، (ب) کنتراست، (ج) همبستگی، (د) عدم شباهت، (ه) لبه، (و) آنتروپی، (ز) فیلتر بالاگذر، (ح) همگنی، (ط) میانگین، (ی) گرادیان خطی، (ک) گشتاور دوم و (ل) واریانس از تصویر master

جدول شماره ۳ صورت می‌پذیرد و برای نقاط متناظر شده مورد قبول از شبکه نقاط برای هر تصویر میانگین‌گیری می‌شود. به‌عنوان مثال اگر برای نقطه‌ای از شبکه نقاط تصویر master در تمام تصاویر ویژگی نقطه متناظر روی تصویر slave تعیین شده باشد از مختصات مکانی نقطه متناظر slave تمام تصاویر میانگین گرفته می‌شود. بنابراین برای تک تک نقاط شبکه در ازای تناظریابی صحیح تصاویر برای آن نقطه در صورت وجود، میانگین‌گیری میان مختصات‌های تعیین شده صورت می‌گیرد.

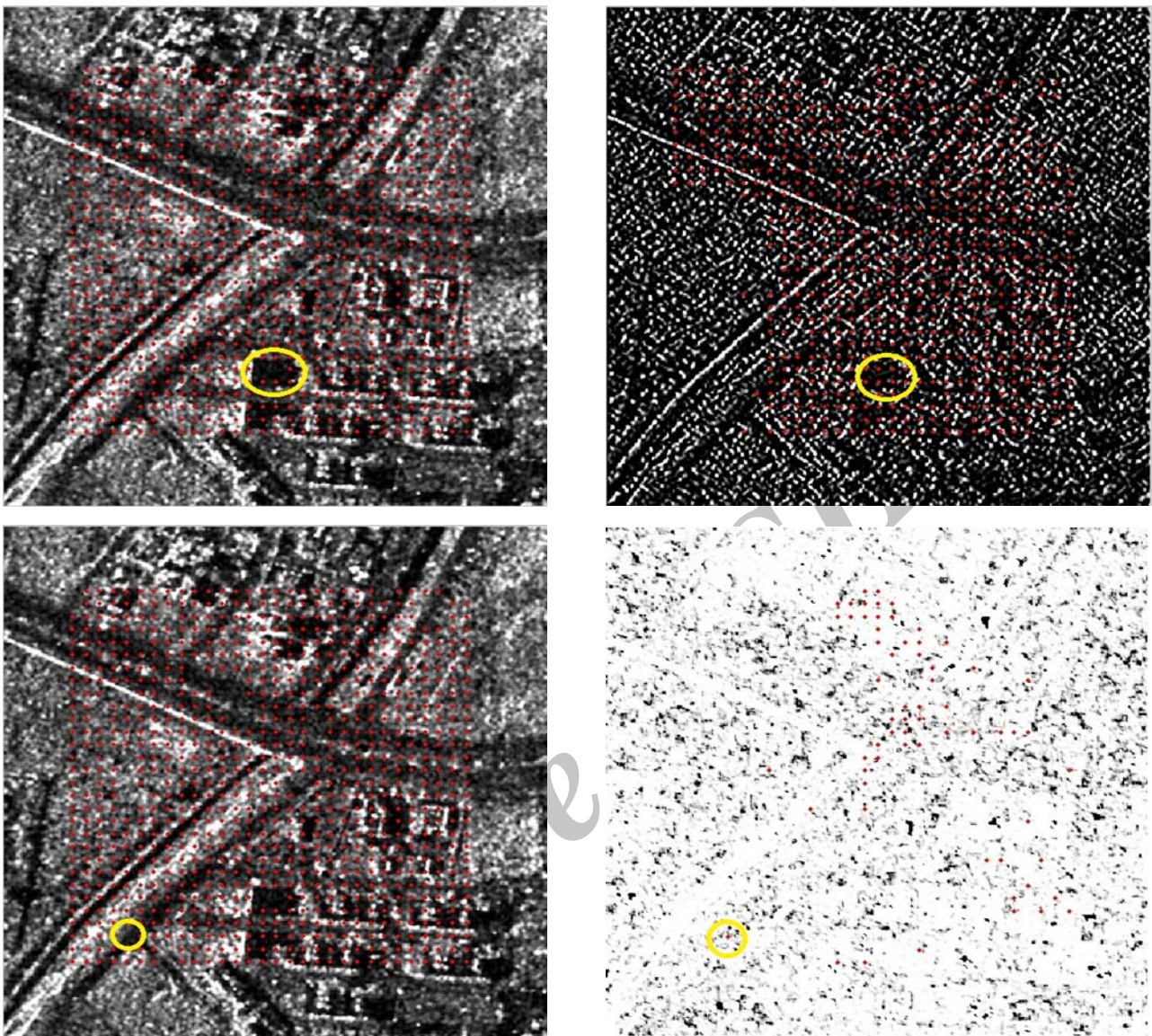


شکل ۶. تصویر بالا نمایش شبکه نقاط 30×30 مد نظر جهت انجام تناظریابی بر روی تصویر master و تصویر پایین نمایش نقاطی که از شبکه که با استفاده از تمام اطلاعات تصاویر بافت بر روی تصویر slave متناظر شده‌اند و در قسمت علام زده شده مکان نقاطی (در اینجا تنها دو نقطه) که پس از استفاده از اطلاعات تمام تصاویر بافت همچنان متناظر نشده‌اند، نشان داده می‌شود.

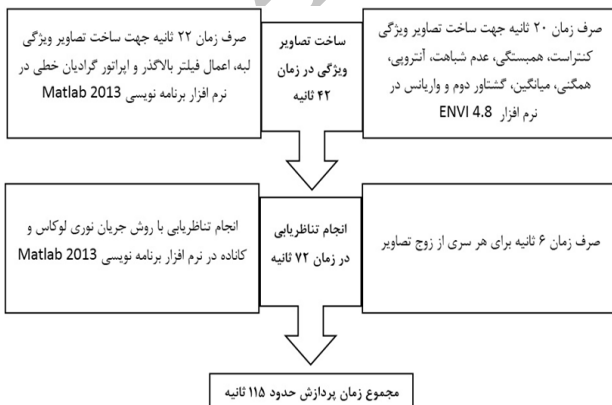
جدول ۳. نتایج عددی حاصل از تناظریابی به روش جریان نوری بر روی شبکه نقاط

نمایش	اطلاعات تصویر استفاده از	تعداد نقاطی از شبکه نقاط که متناظر شده‌اند	درصد موفقیت
شکل (۳)-الف	اصلی	۷۷۴	٪۸۶
شکل (۳)-ب	کنتراست	۵۹۸	٪۶۶/۴
شکل (۳)-پ	همبستگی	۶۳	٪۷
شکل (۳)-ت	عدم شباهت	۶۳۸	٪۷۰/۸
شکل (۳)-ث	آنتروپی	۱۸۶	٪۲۰/۶
شکل (۳)-ج	همگنی	۲۹۱	٪۳۲/۳
شکل (۳)-چ	میانگین	۶۷۱	٪۷۴/۵
شکل (۳)-ح	اپراتور گرادیان خطی	۴۰۵	٪۴۵
شکل (۳)-خ	گشتاور دوم	۱۷۸	٪۱۹/۷
شکل (۳)-د	واریانس	۶۶۰	٪۷۳/۳
شکل (۳)-ذ	فیلتر بالا گذر	۶۰۱	٪۶۶/۷
شکل (۳)-ر	لبه	۶۰۳	٪۶۷
شکل (۴)-راست	تمام تصاویر	۸۹۸	٪۹۹/۷

همانطور که در جدول شماره ۳ نشان داده شده است زمانی که از اطلاعات تمامی تصاویر بافت استفاده می‌شود تعداد ۸۹۸ نقطه از ۹۰۰ نقطه به درستی متناظر شده است (٪۹۹/۷ موفقیت تناظریابی). این در حالی است که زمانی که فقط از اطلاعات رادیومتریک تصویر اصلی استفاده می‌گردد تعداد ۷۷۴ نقطه به درستی متناظر شده است. در شکل شماره ۴ متناظر شدن نقاط زمانی که از تمام اطلاعات تصاویر بافت استفاده گردیده است، نمایش داده شده است. منظور از استفاده از تمام اطلاعات بافت این است که تناظریابی برای تمام تصاویر ویژگی استخراج شده از بافت تصویر اصلی براساس



شکل ۵. تصاویر سمت چپ نمایش تصویر اصلی و نمایش نمونه منطقه‌ای که نقاطی در آن محدوده نتوانسته‌اند متناظر شوند و تصاویر سمت راست (بالا تصویر لبه و پایین تصویر همبستگی) نمایش نقاط متناظر شده در تصویر لبه و همبستگی که نتوانسته‌اند در همان مناطق نقاط متناظر را تعیین کنند.



شکل ۶. نمایش میزان زمان مورد نیاز جهت انجام پردازش راهکار پیشنهادی در مراحل مختلف

در نهایت پس از انجام آزمایش‌ها و استفاده از اطلاعات مختلف بافت تصاویر مشاهده شد که تنها دو نقطه همچنان متناظر نشدند که می‌توان مکان این دو نقطه را در شکل ۴ مشاهده نمود.

در فلوجارت شکل ۶ میزان زمان هزینه شده برای اجرای راهکار پیشنهادی نمایش داده شده است.

در جدول ۴ نیز مشخصات اصلی رایانه مورد استفاده جهت پردازش اطلاعات نشان داده شده است.

جدول ۴. مشخصات رایانه مورد استفاده در انجام پردازش

مشخصات رایانه	پردازنده مرکزی	حافظه موقت	پردازنده گرافیکی
نوع و میزان	Intel Core i7 4510U 2.00GHz up to 3.10 GHz	8 GB-DDR3	NVIDIA GeForce 840M 2GB

۶. نتیجه گیری

تصویر را ارائه می‌دهند. از این رو در نواحی از تصویر اصلی که بافت تصویر ضعیف است و الگوریتم تناظریابی قادر به متناظر کردن نقاط در آن نواحی نیست می‌توان از اطلاعات تصاویر ویژگی مانند لبه، عدم تشابه، همبستگی و غیره بهره برد. می‌توان این شبکه نقاط در این مقاله را برای کل پیکسل‌های تصویر تعمیم داد و از اطلاعات بافت تصاویر ویژگی استفاده کرد و حداکثر نقاط را برای یک تناظریابی چگال متناظر کرد تا بتوان از این نتایج در فرآیندهایی همچون تولید مدل ارتفاعی رقومی زمین استفاده کرد. در مجموع می‌توان به این نتیجه رسید که جهت به دست آوردن اطلاعات بیشتر از تصویر SAR با هدف بهبود نتایج تناظریابی تصویری، می‌توان با استخراج تصاویر ویژگی تصویر مدنظر از اطلاعات مختلف بافت تصویر در انجام تناظریابی بهتر بهره برد. یکی از مزایای این روش عدم وجود پیچیدگی‌های محاسباتی می‌باشد. در این روش تنها از مجموعه‌ای از آمارها به همراه چند فیلتر برای تعریف ویژگی‌های بافت تصویر استفاده می‌شود. همچنین جهت انجام تناظریابی می‌توان از هر روش دلخواهی به غیر از روش جریان نوری متناسب با هدف مساله استفاده نمود. قابل ذکر است که انجام این فرآیند به علت تولید ویژگی متفاوت از تصاویر و انجام تناظریابی جداگانه بر روی هر کدام از زوج تصاویر ویژگی، در مقایسه با کار بر روی صرفاً زوج تصویر اصلی، دارای حجم پردازش و صرف زمان بیشتر می‌باشد. می‌توان پژوهش‌هایی در پی کشف تصاویر ویژگی بهینه جهت انجام تناظریابی تصاویر SAR صورت داد، به عبارتی شاید بهتر باشد تصاویر ویژگی بهینه جهت انجام تناظریابی تصاویر SAR مورد استفاده قرار گیرند. با انجام این کار در پردازش اطلاعات و صرف زمان صرفه‌جویی خواهد شد. همچنین می‌توان از خروجی تناظریابی به روش پیشنهاد شده در مقاله جهت تولید مدل ارتفاعی رقومی زمین استفاده کرد و نتایج آن را با حالتی که فقط از تصویر اصلی جهت تولید مدل ارتفاعی رقومی زمین استفاده شده است مقایسه نمود.

۷. مراجع

- [1] Fritz.A, "Statistical texture measures computed from gray level cooccurrence matrices.", Image Processing Laboratory, Department of Informatics, University of Oslo, pp. 1-14, 2008.
- [2] Balz.T, Zhang.L, and Liao.M, "Direct stereo radargrammetric processing using massively parallel processing.", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 79, pp. 137-146, 2013.
- [3] Capaldo. P, et al, "Dsms Generation from Cosmo-Skymed RADARSAT-2 and Terrasar-X Imagery on Beauport (canada) Test Site: Evaluation and Comparison of Different Radargrammetric Approaches.", ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Vol. 1, No .1, pp. 41-46, 2013.

با توجه به اهمیت بحث تناظریابی تصاویر SAR در فرآیندهایی همچون رادارگرامتری، تداخل سنجی راداری و کشف تغییرات و پیچیده‌تر بودن این بحث در مقایسه با تناظریابی تصاویر نوری به علت وجود نویز اسپیکل و پدیده‌های هندسی مانند سایه، همپوشانی و کوتاه شدگی در تصاویر SAR سعی بر ارائه راهکاری مناسب در انجام هرچه بهتر تناظریابی در این تصاویر شده است. تصاویر سنجنده TerraSAR-X به‌عنوان یکی از تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک مکانی بالا اهمیت بسزایی در انجام فرآیندهایی همچون رادارگرامتری در تولید مدل ارتفاعی رقومی زمین دارد. در این تصاویر به علت توان تفکیک بالای مکانی، اطلاعات بافت تصویر در شرایط مطلوب‌تری نسبت به بسیاری از تصاویر راداری قرار دارد. اما همچنان وجود نواحی با بافت ضعیف، نویزی و تکراری در انجام فرآیند تناظریابی اختلال ایجاد می‌کند. از این رو این ایده به ذهن می‌رسد که با انجام اموری بتوان این چالش را رفع نمود. در این مقاله از برخی اطلاعات آماری بافت تصویر اصلی که شامل تصاویر کنتراست، همبستگی، عدم تشابه، آنتروپی، همگنی، گرادیان بهینه خطی، میانه، گشتاور دوم، واریانس، فیلتر بالا گذر و تصویر لبه در انجام تناظریابی کمک گرفته می‌شود. آزمایش‌ها بر روی تصاویر TerraSAR-X که از منطقه جم استان بوشهر اخذ شده‌اند صورت می‌گیرد. در این آزمایش‌ها یک شبکه 30×30 از نقاط روی تصویر master نظر گرفته می‌شود. سپس بر روی تصویر slave نقاط متناظر آنها جستجو می‌شود. از روش جریان نوری لوکاس و کانه جهت انجام تناظریابی استفاده شده است. وقتی تناظریابی بر روی زوج تصویر اصلی صورت می‌پذیرد ۸۶٪ نقاط شبکه به درستی متناظر می‌شوند به عبارتی دیگر به علت وجود بافت ضعیف با الگوی تکراری و نویزی در برخی نواحی تصویر، ۱۴٪ از نقاط شبکه متناظر نمی‌شوند. این در حالی است وقتی که از تمام اطلاعات بافت تصویر استفاده می‌شود ۹۹٪ نقاط به درستی متناظر می‌شوند. علت این اتفاق می‌تواند این باشد که تصاویر مختلف بافت حاوی اطلاعات متفاوتی از تصویر اصلی می‌باشند و هر کدام ویژگی‌های مختلفی از

- [20] Paillou. P and Gelautz.M, "Relief reconstruction from SAR stereo pairs: the optimal gradient matching method.", IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing Vol. 37, No. 4, pp. 2099-2107, 1999.
- [21] Shankayi, M. Rapid DEM Generation based on Optical Flow using Aerial Videogrammetric Data, university of tehran, 2013
- [22] Suri.S, et al, "Combining mutual information and scale invariant feature transform for fast and robust multisensor SAR image registration." , Proceedings of the 75 ASPRS Annual Conference, 2009.
- [23] Tang.T, et al, "A New local feature extraction in SAR image.", Synthetic Aperture Radar (AP SAR), 2013 Asia-Pacific Conference on. IEEE, 2013.
- [24] Tupin. F and Nicolas. J. M, "Matching criteria for radar-grammetry.", Geoscience and Remote Sensing, IGARSS 02, Toronto, Canada No. 5, pp. 2608-2610, 2002.
- [25] Yan.W, et al, "A Novel SAR image precise-matching method based on SIFT algorithm.", Eighth International Symposium on Multi spectral Image Processing and Pattern Recognition, International Society for Optics and Photonics, 2013
- [26] Yu. J, Ge. H. L and Li. X, "Radargrammetry for Digital Elevation Model Generation Using Envisat Reprocessed Image and Simulation Image.", pp. 1-5, 2014.
- [27] Yu.Q, et al, "Highperformance local-texture-information weighted SAR template image matching.", Radar Conference , IET International, 2013.
- [28] Yi. Z, et al, "SAR image registration based on SIFT and MSA.", Selected Proceedings of the Photoelectronic Technology Committee Conferences held July-December 2013. International Society for Optics and Photonics, 2014.
- [4] Caves. R, Harley. P and Quegan.S, "Matching map features to synthetic aperture radar (SAR) images using template matching.", Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on Vol. 30, No. 4, pp. 680-685, 1992.
- [5] Tianze. C, Chen. L, and Su. Y, "A SAR Image Registration Method Based on Pixel Migration of Edge-Point Feature." pp. 1-5, 2014.
- [6] Boguslaw. C, and Siebert.J, "An introduction to 3D computer vision techniques and algorithms", John Wiley & Sons, 2011.
- [7] Dellinger. F , et al, "SAR-SIFT: A SIFT-like algorithm for applications on SAR images.", Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), IEEE International, 2012.
- [8] Eftekhari. A., Ghannadi. M. A and Saadatseresht. M., "3D Object Coordinates Extraction by Radargrammetry and Multi Step Image Matching.", ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Vol.1, No.3, pp. 147-151, 2013.
- [9] Forouzanfar. M, AbrishamiMoghadda. H, Dehghani. M, "A New Effective Approach for Enhancement of SAR Images Based on Extraction of Interscale Dependencies in the Wavelet Domain", GEOSCIENCES, No.76, 2008.
- [10] Franceschetti. G, and Lanari.R, "Synthetic aperture radar", processing. CRC press, 1999.
- [11] Gebejes. A and Huertas.R, "Texture Characterization based on Grey-Level Co-occurrence Matrix.", 2013.
- [12] Gelautz, M., et al. "Automated matching experiments with different kinds of SAR imagery." International Geoscience and Remote Sensing, Symposium. Vol. 1. Institute of Electrical & Electronics Engineers, Inc(IEE), Vol.1, 1996.
- [13] Ghannadi. M. A., et al, "Using Multi Resolution Census and Ranklet Transformation in Long Base Line SAR Image Matching.", ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 1, No. 3, pp. 181-184, 2013.
- [14] Ghannadi, M, Saadatseresht, M, Shankayi, M. SAR Image Matching by optical flow, proceedings of national geomatics conference, 2014.
- [15] Haralick. R, "Statistical and structural approaches to texture.", Proceedings of the IEEE, Vol. 67, No. 5, pp. 786-804, 1979.
- [16] Liao. M, Hui. L and Zuxun. Z, "Automatic registration of InSAR data based on Least-square matching and multi-step strategy.", Photogrammetric engineering and remote sensing Vol. 70, No. 10, pp. 1139-1144, 2004.
- [17] Lowe. D, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints.", International journal of computer vision Vol. 60, No. 2, pp. 91-110, 2004.
- [18] Mather. P and Brandt. T, "Classification methods for remotely sensed data", CRC press, 2003.
- [19] Méric. S, Fayard. F, and É. Pottier, "A Multiwindow Approach for Radargrammetric Improvements.", Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on Vol. 49, No. 10, pp. 3803-3810, 2011.

Improving the TerraSAR-X Image Matching using Textural Image Features

M. A. Ghannadi*, M. Saadatseresht², A. Eftekhary³

*College of Engineering, University of Tehran, Surveying and Geomatics Engineering Dept

(Received: 14/08/2014, Accepted: 15/03/2015)

Abstract

Nowadays, SAR imaging systems have become more interesting for scientists. High spatial resolution of recent SAR images has become a key factor for their accurate applications such as interferometry, radargrammetry and change detection. In these applications, SAR image matching procedure is a critical step for conjugate point extraction which is much more difficult than the optical images. The main reasons are both high radiometric speckle noise and high geometric distortions defining by layover, shadow, and foreshortening. Therefore, utilizing efficient methods to achieve a more favorable result in the SAR image matching, could help us to get better output in various applications. Among the SAR images, study about TerraSAR-X is so important, because TerraSAR-X sensor acquires high spatial resolution images. In this paper, we used various textural image features including contrast, correlation, dissimilarity, entropy, homogeneity, optimal gradient filter, mean, second moment, variance, high pass filter and edge images. The main aim of our research was to determine how much can these features improve the SAR image matching process? In our experiments, we used a small urban part of pair of TerraSAR-X single-look slant-range complex (SSC) images that were acquired over the city of Jam, southern Iran, in spotlight mode. The result shows that for some image areas with low texture, the conventional image matching algorithm (here Lucas-Kanade's optical flow) is not able to detect corresponding points, while using the above textural features in image matching process causes to extract appropriate numbers of matched points.

Keywords: SAR image, Image texture, Matching, TerraSAR-X, Radargrammetry, Interferometry, Change detection.

*Corresponding author E-mail: amin.ghannadi@ut.ac.ir