

آشکارسازی جابه‌جایی زمین لغزش در پهنه لغزشی پشت قلعه دورود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نوری

غلامعباس آروان*؛ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور زمین‌شناختی، زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی خرم‌آباد، واحد کمالوند فریبرز قریب؛ دکترای رسوب‌شناسی و سنگ‌رسوبی، رئیس مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور معصومه خلیج معصومی؛ دکترای زمین‌شناسی اقتصادی، کارشناس مسئول گروه دورسنجی، مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۱۲

چکیده

استفاده از داده‌های سنجش از دور، از جمله راهکارهای مؤثر در پایش و تجزیه و تحلیل مخاطرات زمین‌شناختی، از جمله زمین‌لغزش است. در ایران، پایش فرایندهای زمین‌شناختی از قبیل فرونشست و زمین‌لغزش غالباً با تصاویر راداری انجام می‌شود. در این مطالعه، برای اولین بار در ایران، از تصاویر VNIR سنجنده ASTER به منظور تشخیص و آشکارسازی محدوده‌های زمین‌لغزش منطقه پشت‌بادام شهرستان درود استفاده شد. تصاویر مربوط به قبل و بعد از زمین‌لغزش با استفاده از افزونه COSI-Corr پردازش شد که در نرم‌افزار ENVI توسعه داده شده است. پروسه پایش پردازش تصاویر مربوط شامل رجیستر کردن، عملیات انطباق و تصحیح سه‌بعدی انجام شد. به منظور بررسی تغییرات در دو بازه زمانی، با استفاده از افزونه مذکور، انطباق بین دو تصویر انجام گرفت و با انتخاب گزینه نمونه‌برداری مجدد سینوسی با اندازه زاویه ۲۵ درجه، موتور انطباق فرکانسی، اندازه پنجره ۳۲، اندازه گام ۴ و آستانه ۹۰ این انطباق انجام شد. خروجی آن به صورت جابه‌جایی در راستای خاور-باختر، شمالی-جنوبی و نسبت سیگنال به نوفه است. ترکیب آن تصویر مناطقی است که در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ دچار تغییر شکل سطحی شده، و جابه‌جایی زمین‌لغزش‌ها به صورت بخش‌های انطباق نیافته (بی‌کسلی) در زمینه‌ای از تصویر انطباق یافته (بدون بی‌کسلی) آشکارسازی شده است.

کلیدواژه‌ها: افزونه COSI-Corr، تصاویر VNIR، زمین‌لغزش، سنجنده ASTER.

مقدمه

حرکت توده‌ای مواد تشکیل‌دهنده سطح زمین از جمله فرایندهای طبیعی و مبتنی بر ویژگی‌های محیطی منطقه است که تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی رخ می‌دهد. وقوع آن آثار محیط‌زیستی و اقتصادی بسیار مهمی در پی دارد. زمین‌لغزش نسبت به سایر بلایای طبیعی مدیریت‌پذیرتر است، لذا رفتارسنجی و آشکارسازی تغییرات و جابه‌جایی آن بخشی از مدیریت برنامه‌ریزی و توسعه به حساب می‌آید (باقری یگانه، ۱۳۹۲: ۴۱).

رفتارسنجی توده‌های ناپایدار به منظور بررسی میزان جابه‌جایی زمین‌لغزش‌های فعال در بازه زمانی مختلف از مهم‌ترین نکات در بررسی توده‌های لغزشی و مهم‌ترین پارامتر به منظور اجرا و مقاوم‌سازی پروژه‌های مهندسی است. در این پژوهش از تصاویر ماهواره تراسنجنده استر^۱ (فرانکویس و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۵؛ آوواک و همکاران، ۲۰۰۵، ۲۰۰۶: ۵۱۸؛ کارا، ۲۰۰۴) به جای تصویر راداری راهکاری جدید به منظور آشکارسازی حرکات توده‌های لغزشی استفاده شده است.

* نویسنده مسئول: nm.arvan@yahoo.com

علم سنجش از دور راهکاری جدید به منظور بررسی و پایش بلایای طبیعی در ابعاد وسیع و در زمان کوتاه و گام بزرگی برای مدیریت بلایای طبیعی و کاهش آثار محیط‌زیستی آن است. در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی درباره لغزش پشته قلعه دورود انجام شده است. باقری یگانه (۱۳۹۲) با استفاده از تصاویر راداری جابه‌جایی‌های جوان این منطقه و اینترفروگرام جابه‌جایی‌ها را تعیین کرد. مهندسان مشاور نقش ترسیم میلاد (۱۳۹۱) رفتارسنجی زمین‌لغزش پشت قلعه دورود حد فاصل امام‌زاده هندی کش تا باختر روستای لنج‌آباد را به کمک سیستم تداخل‌سنجی راداری، اینترفروگرام دگرشکلی به دست آوردند. مایکل و آوواک (۱۹۹۹) جابه‌جایی تغییرات سطح زمین را با داده‌های SAR برای زمین‌لرزه بررسی کردند. فون پویمبروک و همکاران (۲۰۰۰) اندازه‌گیری تغییرات زمین‌لرزه را با تصاویر نوری بحث و تحلیل کردند. یاسین (۲۰۰۹) ارزیابی انطباق زیر پیکسل تصاویر نوری برای دگرشکلی‌های سطحی زمین در زلزله ۲۰۰۵ کشمیر را انجام داد و جابه‌جایی‌های سطحی را آشکار کرد. گودرزی (۲۰۱۰) تشخیص و اندازه‌گیری تغییرشکل‌های زمین ناشی از زمین‌لرزه را با استفاده از داده InSAR و با همبستگی زیرپیکسل بررسی کرد. آوواک و همکاران (۲۰۱۰) تغییرات سطح زمین را با استفاده از تصاویر نوری بررسی کردند. لپارینس و همکاران (۲۰۰۸) تغییرات دینامیک سطح زمین را با تصاویر نوری بررسی کردند. لپارینس و همکاران (۲۰۰۷b) رجیستر و انطباق تصاویر ماهواره‌ای نوری را برای اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین با افزونه Cosi Corr بررسی کردند.

توده لغزشی پشت قلعه ناشی از فعالیت گسل دورود است، بنابر این بررسی رفتارسنجی آن با استفاده از تصاویر نوری نسبت به سایر روش‌های رفتارسنجی (نقشه‌برداری زمینی، تداخل‌سنجی راداری و جزآن) توجیه اقتصادی دارد (با توجه به وسعت زیاد پهنه لغزشی و هزینه کم و مدت انجام آن). بنابراین، می‌توان از فناوری برای بررسی کل منطقه در مدت زمانی کوتاه استفاده کرد. در این پژوهش، از داده‌های تصویر ماهواره‌ترانسجندة استر (باند مرئی) با سطوح تصحیح IA در دو دوره زمانی قبل و بعد از رخداد، متناسب با نوع تصویر برای آشکارسازی و انطباق تصاویر استفاده شده است. هدف از انجام این پژوهش این است که بتوان با تصاویری با هزینه کمتر (مانند استر)، به‌جای تصاویر راداری با هزینه بیشتر، جابه‌جایی‌های سطحی را آشکارسازی کرد و برای داده‌های راداری که نشست را نشان می‌دهد، مکمل خوبی محسوب می‌شود. در این بررسی، از دو فریم تصویر سنجندة استر (باند 3N) دربرگیرنده محدوده پژوهش در دو بازه زمانی ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ استفاده شد. همچنین، برای پیش‌پردازش و پردازش آن‌ها از نرم‌افزار ENVI نسخه ۴/۸ و افزونه COSI-corr (فرانکوئیس و همکاران، ۲۰۰۹: ۳۳،۳۵) و از نرم‌افزار GIS Arc برای گرفتن خروجی نتایج استفاده شد.

مواد و روش‌ها

محدوده لغزشی پشت قلعه بین ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۴۸ دقیقه طول خاوری و ۳۳ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی واقع در جنوب و جنوب باختری شهر دورود است. در این منطقه رخنمون‌های زمین‌شناسی زمان کرتاسه، میوسن و پلیوسن با مرزهای گسله در مجاورت یکدیگر قرار گرفته است. واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه دارای دو ژنز و منشأ متفاوت است. یکی از این واحدهای سنگی متعلق به منطقه یا زون ساختاری زاگرس خردشده و واحد سنگی برجایی است شامل آهک‌های دولومیتی خردشده شه‌بازان، مارن‌های میوسن و کنگلومرای بختیاری. دیگر واحد سنگی متعلق به ارتفاعات کوه باهر است که در جنوب خاور منطقه قرار دارد و واحدهای سنگی نابرجای متعلق به سفره رانده چغلوندی را شامل می‌شود. جنس این واحدهای سنگی آهک و آهک مارنی خاکستری با میان‌لایه‌های مارن سبز رنگ تا سبز زیتونی همراه با نوار باریکی از آمیزه‌های رنگین است (باقری یگانه، ۱۳۹۲: ۵۱). مهم‌ترین عنصر ساختاری منطقه گسل دورود است که تأثیرات آن بر سطح منطقه مورد بررسی مشهود است.

هدف از این بررسی آشکارسازی جابه‌جایی زمین‌لغزش با روشی نوین است که نسبت به سایر روش‌های دورسنجی اقتصادی‌تر است. لازم به ذکر است که از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا مانند اسپات، Quickbird، worldview-1 و Formosat-2 (فرانکوئیس و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۵؛ دلاکورت و همکاران، ۲۰۰۴) نیز می‌توان برای این کار استفاده کرد. پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای استر در نرم‌افزار ENVI و پردازش در افزونه COSI-corr انجام گرفته است. در ادامه این تصحیح‌ها و آماده‌سازی را بررسی می‌کنیم.

ثبت^۱ و تصحیح سه بعدی^۲ تصاویر

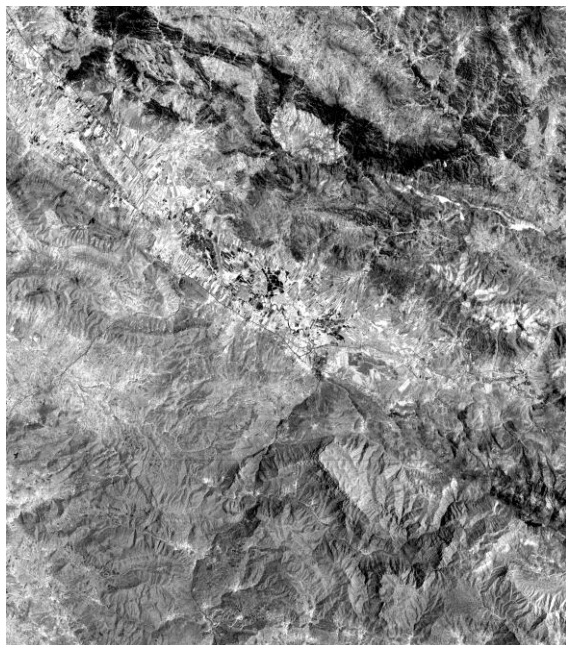
برای ثبت و تصحیح سه‌بعدی تصاویر، از مدل ارتفاع رقومی^۳، نقشه توپوگرافی و سین تصاویر خام استر مربوط به سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ منطقه استفاده شد. به‌منظور انجام تصحیحات هندسی مورد نیاز روی تصاویر ماهواره‌ای، داده مدل ارتفاع رقومی زمین با تفکیک مکانی ۱۵ متر لازم است. مدل ارتفاع رقومی در فرایندهای ثبت و تصحیح سه‌بعدی تصاویر قبل و بعد از زمین‌لغزش نقش مهمی دارد. مدل‌های ارتفاع رقومی قبل و بعد رخداد که از همان تصاویر استر به‌دست آمده (در نرم‌افزار ENVI از ماژول MAP) در این بررسی به کار برده شده است.

نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ منطقه به‌صورت رقومی (برداری) و دارای راه‌های ارتباط شهری، روستایی و بین مزارع، محل برخورد آن‌ها، همچنین محل تلاقی شبکه‌های زهکشی شامل آبراهه‌ها و رودخانه‌ها به‌عنوان نقاط گره انتخابی استفاده شده است (سازمان نقشه‌برداری کشور).

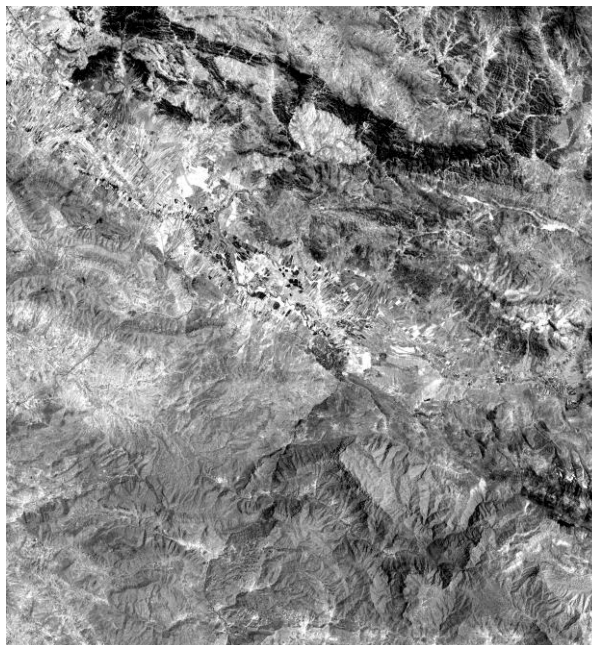
از تصاویر ماهواره ترانسجندة استر مربوط به سال‌های ۲۰۰۱ (ASTL1A_0107030746350107100900B) (شکل ۱) و ۲۰۰۸ (ASTL1A_080706073857091310878) (شکل ۲) با سطوح تصحیح 1A استفاده شده است. همان‌طور که گفتیم باند 3N داده استر با تفکیک مکانی ۱۵ متر به کار رفته است.

تصحیح سه‌بعدی تصویر ۲۰۰۱ یا ۲۰۰۸ با مدل ارتفاع رقومی انجام شده است. فایل برداری نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ را روی مدل ارتفاع رقومی مربوط به همان تصویر قراردادیم. تعداد ۱۵ تا ۳۰ نقطه گره انتخاب و به نقاط کنترل زمینی تبدیل شد. به‌منظور حفظ ارزش پیکسلی در روش نمونه‌برداری مجدد، بهینه‌سازی نقاط کنترل زمینی (فرانکوئیس و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۷) انجام گرفت و برای هر تصویر ذخیره شد.

برای انجام عمل انطباق، تصاویر ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ استر که تا این مرحله در حد نقاط کنترل زمینی تصحیح سه‌بعدی شد، باید تعداد پیکسل‌ها در سطر و ستون هر دو تصویر برابر می‌شد. سپس، موقعیت مکانی (طول و عرض) آن یکسان، و طول و عرض بر اساس سیستم متریک و بخش‌پذیر بر عدد ۱۵ (تفکیک مکانی) تنظیم شد. بنابراین، با استفاده از گزینه در پنجره نقاط کنترل زمینی از هر تصویر محدوده یکسانی از نظر موقعیت مکانی برش داده شده است، به‌طوری که



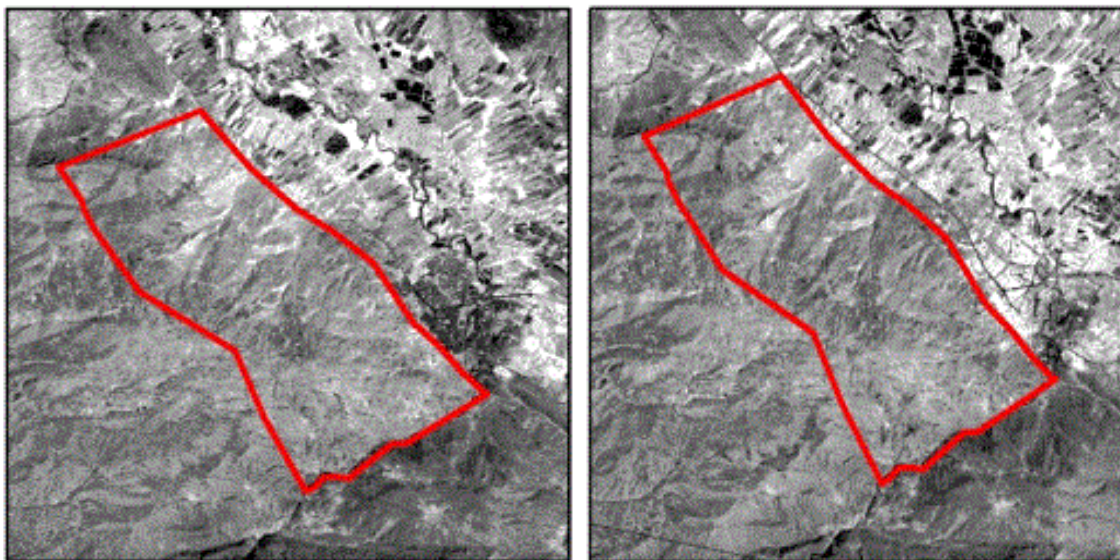
شکل ۲. تصویر خام استر ۲۰۰۸



شکل ۱. تصویر خام استر ۲۰۰۱

1. CO- registration
2. orthorectification
3. DEM

محدوده مطالعاتی را پوشش دهد. مرحله پیش پردازش تصاویر ۲۰۰۱ (شکل ۳) و ۲۰۰۸ (شکل ۴) انجام گرفت و با استفاده از افزونه COSI-corr تصاویر قبل و بعد انطباق داده و خروجی تهیه شد (فرانکوئیس و همکاران، ۲۰۰۹: ۶۱). برای پردازش و انطباق تصاویر در افزونه COSI-corr پارامترها و روش‌های متفاوتی وجود دارد. بهترین روش برای آشکارسازی زمین لغزش‌ها به شرح زیر انجام شده است (شکل ۵).



شکل ۴. تصویر برش خورده ۲۰۰۸ پهنه لغزشی پشت قلعه

شکل ۳. تصویر برش خورده ۲۰۰۱ پهنه لغزشی پشت قلعه

پردازش (پارامترها و روش‌های انجام کار)

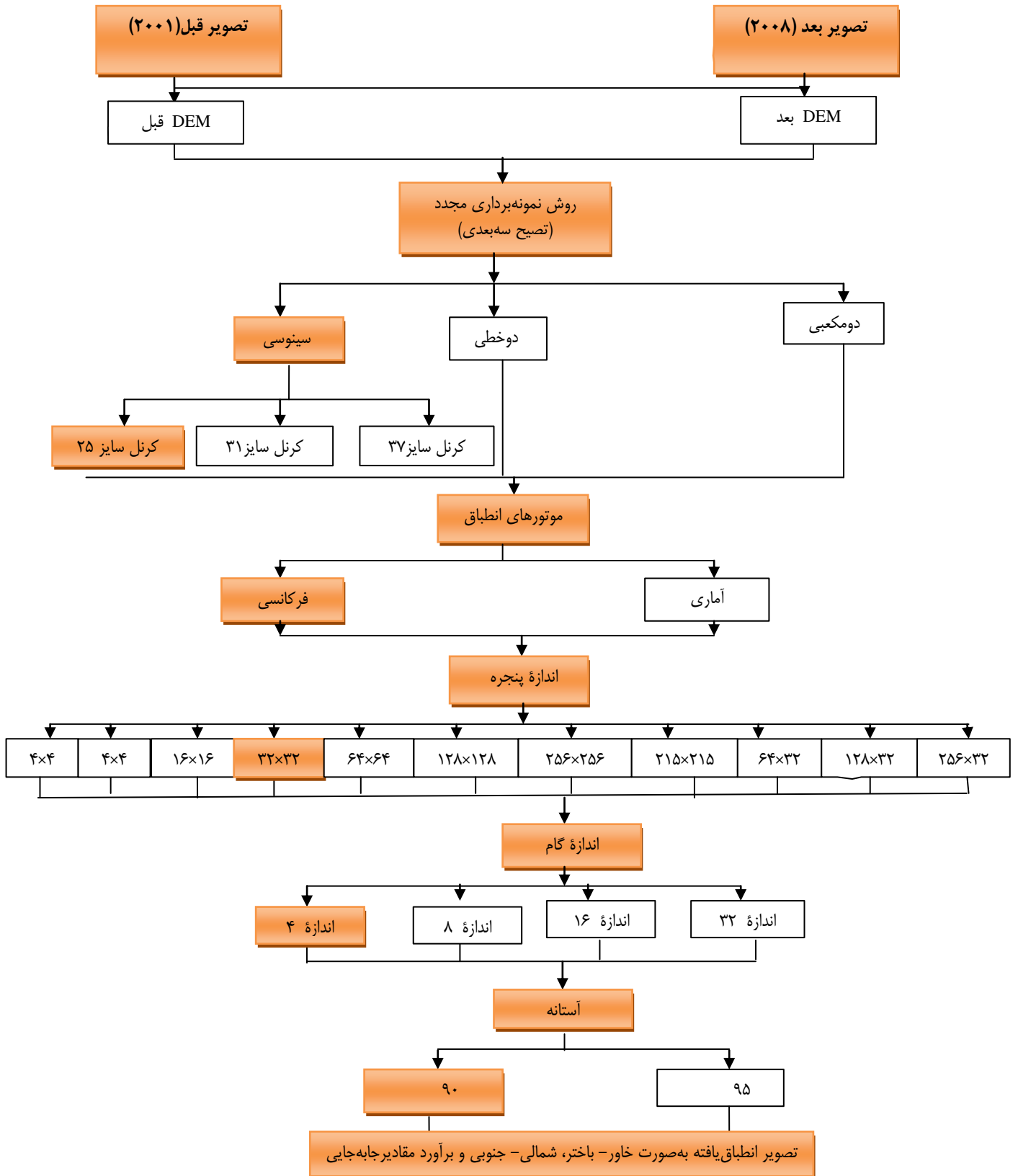
به منظور پردازش تصاویر پارامترهایی از قبیل روش نمونه برداری مجدد، موتورهای انطباق، ابعاد مختلف اندازه پنجره، ابعاد مختلف اندازه گام و آستانه در افزونه COSI-corr برای اخذ تصویر انطباق یافته برای آشکارسازی زمین لغزش‌ها استفاده شد. از میان آن‌ها بهترین پارامتر و روش کار انتخاب شد که به شرح زیر است.

اولین گام از مرحله انطباق تصاویر، انتخاب روش نمونه برداری مجدد است که به وسیله یکی از سه روش متداول از قبیل دوخطی^۱، دومکعبی^۲ و سینوسی^۳ انجام می‌گیرد (یاسین، ۲۰۰۹: ۳۲، ۳۱؛ فرانکوئیس و همکاران، ۲۰۰۹: ۲۴). در این پژوهش از روش نمونه برداری مجدد سینوسی با اندازه زاویه ۲۵ استفاده شده که نسبت به سایر روش‌های نمونه برداری مجدد روند خاصی را نسبت به جهات جابه‌جایی نشان نمی‌دهد (رزدياگرام شکل ۶ و ۷) و نتایج بهتری برای عمل انطباق تصاویر ارائه می‌کند. رزدياگرام شکل ۶ نشان می‌دهد که روش نمونه برداری مجدد سینوسی نسبت به دو روش دیگر حساسیت خاصی را به لحاظ جهات جابه‌جایی زمین لغزش‌ها نشان نمی‌دهد. رزدياگرام شکل ۷ مقایسه حساسیت اندازه زاویه روش نمونه برداری سینوسی نسبت به جهات جابه‌جایی است و نشان می‌دهد اندازه زاویه ۲۵ درجه نسبت به اندازه زاویه ۳۱ و ۳۷ حساسیت خاصی را در جهات جابه‌جایی نشان نمی‌دهد، لذا مناسب است.

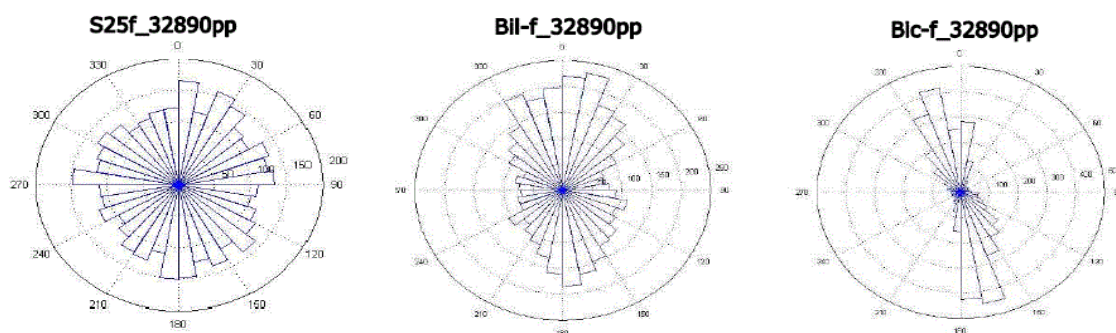
موتورهای انطباق^۴

دو روش برای انطباق زیرپیکسل (لیپارین و همکاران، ۲۰۰۷) تصاویر نوری در دسترس است که عبارت است از موتورهای انطباق فرکانسی و آماری روش فرکانسی در دامنه فوریه کار می‌کند، در حالی که انطباق آماری بر اساس

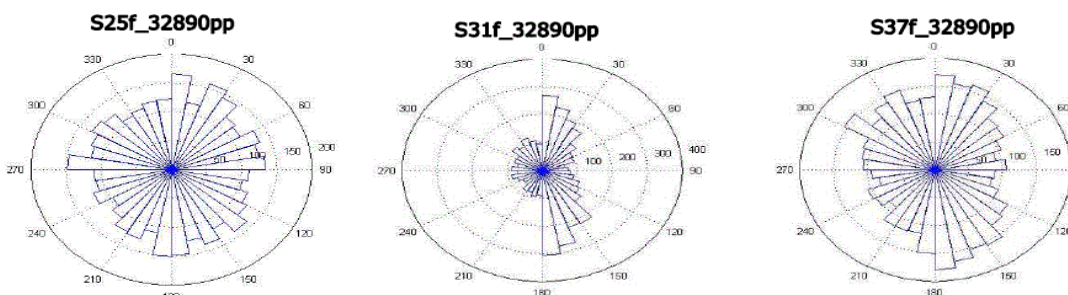
1. bilinear
2. bicubic
3. sinus cardinal
4. correlation engines



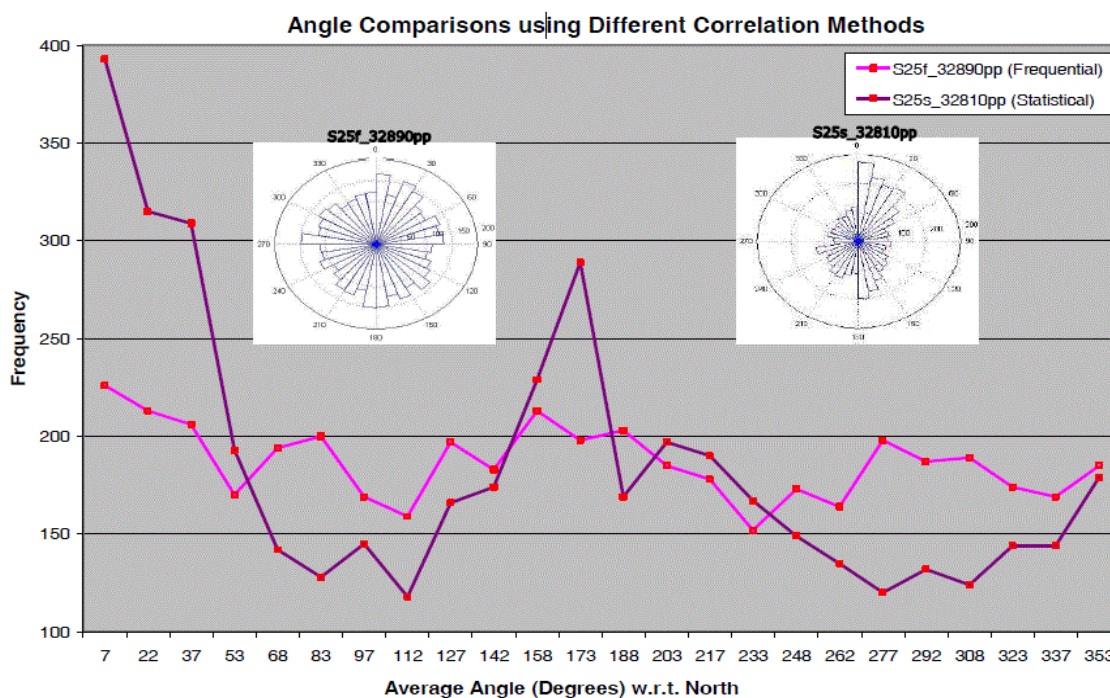
شکل ۵. روندنمای پارامترها و روش‌های انجام کار در اکستشن COSI-corr برای گرفتن تصویر انطباق یافته (باسین، ۲۰۰۹: ۱۶)



شکل ۶. مقایسه حساسیت روش‌های مختلف نمونه‌برداری مجدد نسبت به جهات جابه‌جایی (یاسین، ۲۰۰۹: ۷۱)



شکل ۷. مقایسه حساسیت زوایای به‌کار برده شده در جهات جابه‌جایی در روش نمونه‌برداری مجدد سینوسی (یاسین، ۲۰۰۹: ۳۱)



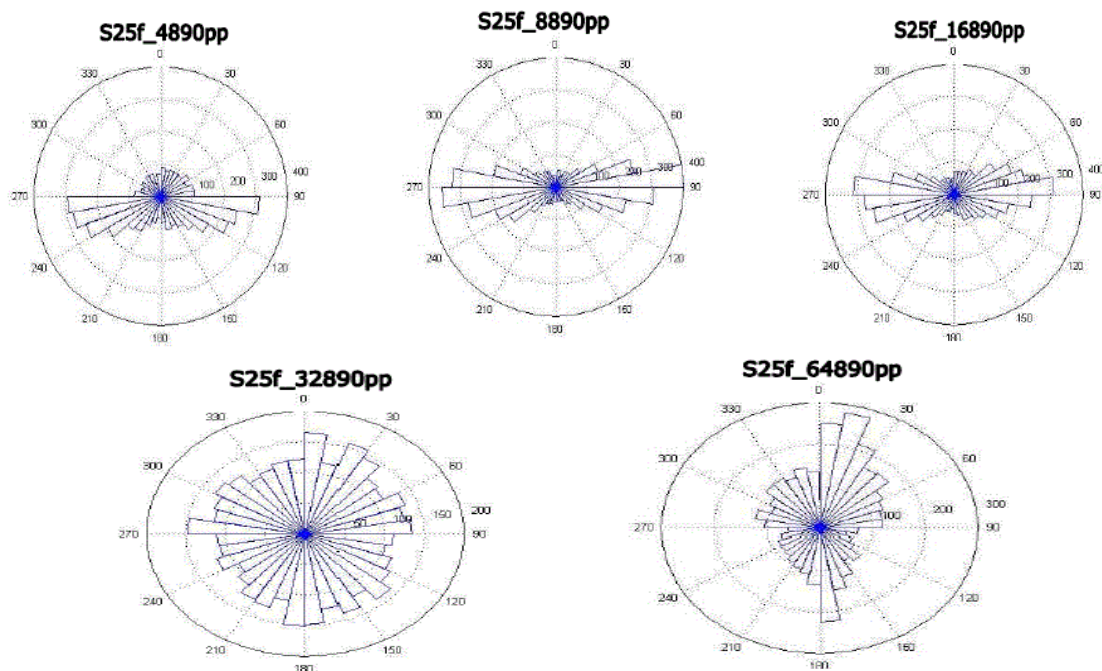
شکل ۸. هستوگرام و رزیدیاگرام حساسیت موتورهای انطباق نسبت به جهات جابه‌جایی در زمین لغزش (یاسین، ۲۰۰۹: ۶۴)

روش‌های آماری کار می‌کند (یاسین، ۲۰۰۹: ۳۳). موتور انطباق فرکانسی برای انطباق زیرپیکسل تصاویر نوری با کیفیت خوب ترجیح داده می‌شود. علت آن حساسیت بالا نسبت به نوفه تصاویر است، بنابراین برای آشکارسازی جابه‌جایی زمین لغزش‌ها از موتور انطباق فرکانسی استفاده شده است (شکل ۸).

اندازه پنجره^۱

بر اساس تعریف، اندازه پنجره انطباق، ناحیه‌ای (در پیکسل‌ها) روی دو تصویر تصحیح‌شده سه‌بعدی است که برای بررسی انطباق انتخاب می‌شود. تأثیر این اندازه روی عمل انطباق و مقایسه تفاوت اندازه‌ها، با ثابت نگه‌داشتن روش نمونه‌برداری مجدد (سینوس ۲۵) با مدل ارتفاع رقومی زمان قبل و بعد رخداد و دیگر پارامترهای انطباق (گام ۴ و آستانه ۹۰) تعیین می‌شود (یاسین، ۲۰۰۹: ۳۳-۳۴).

اندازه پنجره‌های مختلف برای اهداف انتخاب‌شده عبارت است از ۴، ۸، ۱۶ و ۳۲ که اندازه‌های ۴، ۸ و ۱۶ برای جابه‌جایی در راستای خاوری-باختری را نشان می‌دهد و غیرواقعی به نظر می‌رسد. از سوی دیگر، اندازه پنجره ۶۴ برای جابه‌جایی شمالی-جنوبی را نشان می‌دهد. اندازه پنجره ۳۲ جابه‌جایی یکسانی در تمام جهات دارد و جهت جابه‌جایی خاصی را نشان نمی‌دهد. بنابراین، برای بررسی جابه‌جایی زمین‌لغزش‌ها مناسب است (رزدی‌گرام شکل ۹). اندازه پنجره‌های بالاتر از ۶۴ برای تصاویر با تفکیک مکانی ۱۵ متر مناسب نیست.



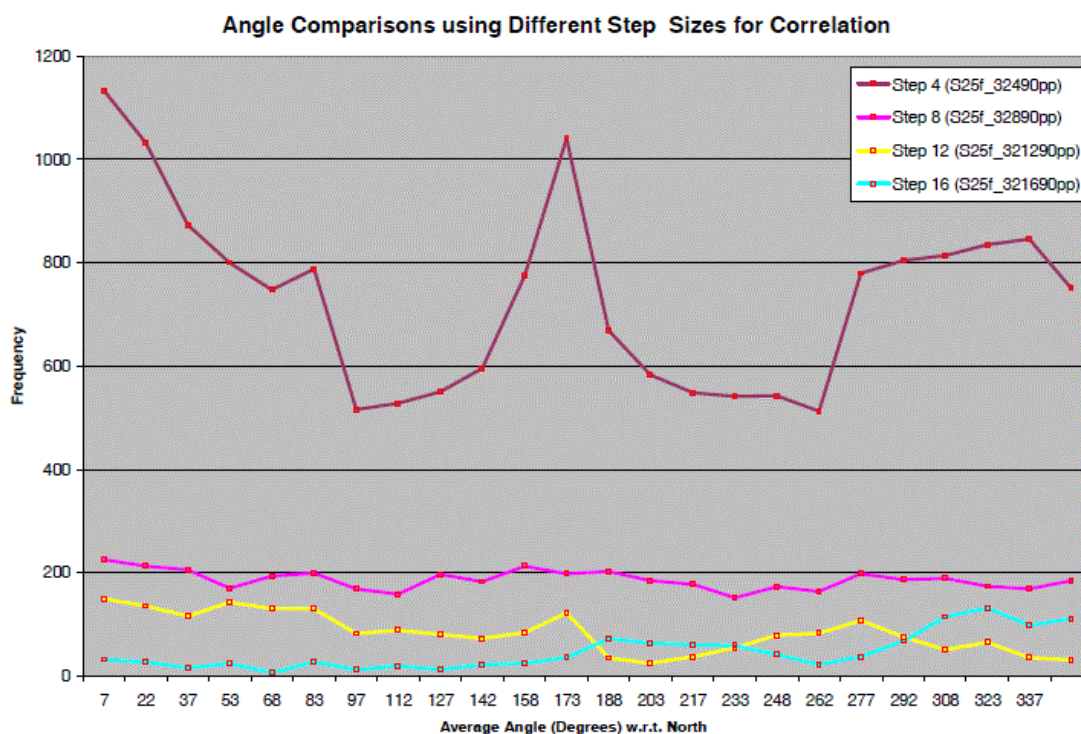
شکل ۹. رزدی‌گرام تأثیر اندازه پنجره‌های مختلف و حساسیت آن نسبت به جهات جابه‌جایی (یاسین، ۲۰۰۹: ۳۳)

اندازه گام^۲

طبق تعریف، اندازه گام عبارت است از تعداد پیکسل‌ها بین دو پنجره کشویی که برای اندازه‌گیری انطباق استفاده می‌شود. میزان تأثیر اندازه گام بر انطباق، از مقایسه تفاوت اندازه گام (۴، ۸، ۱۲ و ۱۶) با ثابت نگه‌داشتن روش نمونه‌برداری مجدد (سینوس ۲۵) با مدل ارتفاع رقومی قبل و بعد رخداد و دیگر پارامترهای انطباق تعیین می‌شود (شامل انطباق گر فرانسی، سایز پنجره ۳۲ و آستانه ۹۰).

استفاده از اندازه گام ۱۶ و ۱۲ نتایج مختلفی در محاسبه میانگین جابه‌جایی پیکسل‌ها در راستای خاوری-باختری در مقایسه با دیگر اندازه گام‌ها ارائه می‌دهد. اندازه گام‌های کوچک مانند ۴ تأثیر بیشتری بر آشکارسازی تکه‌های انطباق نیافته (مانند زمین‌لغزش) در تصویر انطباق‌یافته را نشان می‌دهد (شکل ۱۰).

1. windows size
2. step size



شکل ۱۰. هیستوگرام حساسیت گام‌های مختلف نسبت به جابه‌جایی تکه‌ای مانند زمین لغزش (یاسین، ۲۰۰۹: ۷۱)

آستانه^۱

مقادیر آستانه ۹۰ و ۹۵ در روش‌های نمونه‌برداری مجدد دوخطی و سینوس ۲۵ نشان می‌دهد (رزیدیاگرام شکل ۱۱) که روش نمونه‌برداری مجدد سینوس ۲۵ به تغییر مقدار آستانه در اندازه‌گیری جابه‌جایی در راستای خاوری-باختری حساسیت دارد و روش نمونه‌برداری مجدد دوخطی برای هر دو مقادیر آستانه جهت جابه‌جایی شمالی-جنوبی را نشان می‌دهد، بنابراین آستانه ۹۰ با روش نمونه‌برداری مجدد سینوس ۲۵ جابه‌جایی‌های سطحی مانند زمین لغزش را بهتر آشکار می‌کند.

تصویر انطباق‌یافته پهنه لغزشی پشت قلعه دورود

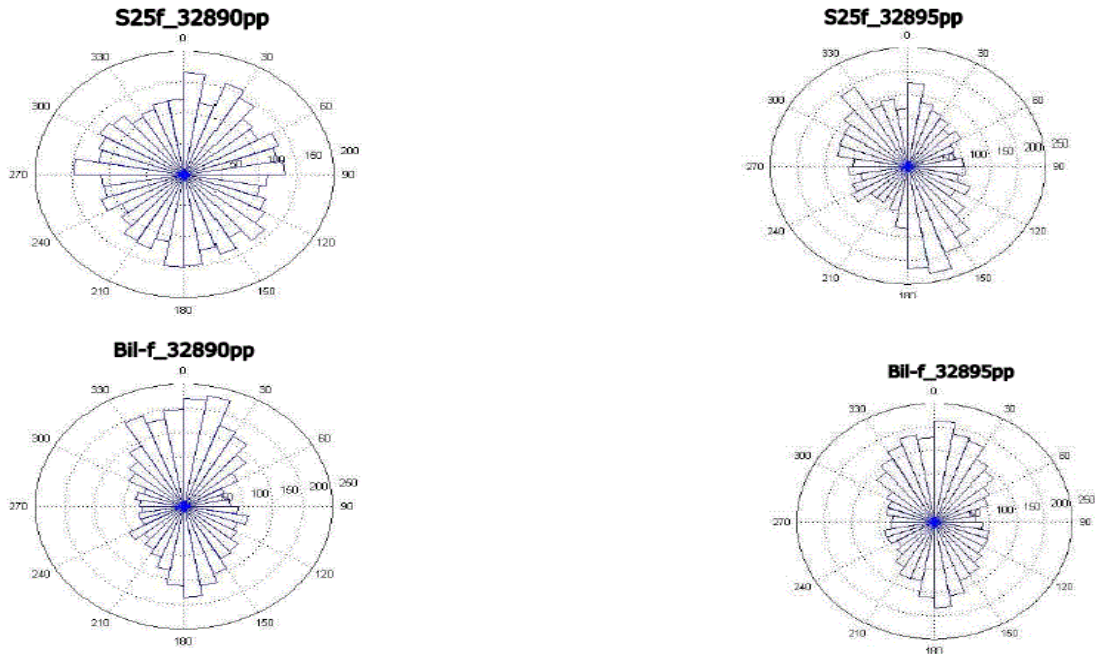
با استفاده از تصاویر استر برش خورده ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ که محدوده مورد بررسی را شامل می‌شود و به کار بردن روش کار شرح داده شده، عمل انطباق تصاویر انجام و تصویر انطباق‌یافته تهیه شد. روش پهنه مورد استفاده به صورت S25f-32490PP است که روش نمونه‌برداری مجدد سینوسی با زاویه ۲۵ درجه، f موتور انطباق فرکانسی با اندازه پنجره ۳۲، اندازه گام ۴ و آستانه ۹۰ و pp تصاویر قبل و بعد از رخداد است که به صورت گزینه‌های انتخابی در افزونه COSI-CORR وارد شده است. نتیجه آن به شکل سه تصویر با جابه‌جایی در راستای خاور-باختر، شمال-جنوب و نسبت سیگنال به نوفه است که از خروجی ترکیب سه تصویر فوق تصویری انطباق‌یافته ایجاد شده است (شکل ۱۲).

یافته‌های پژوهش

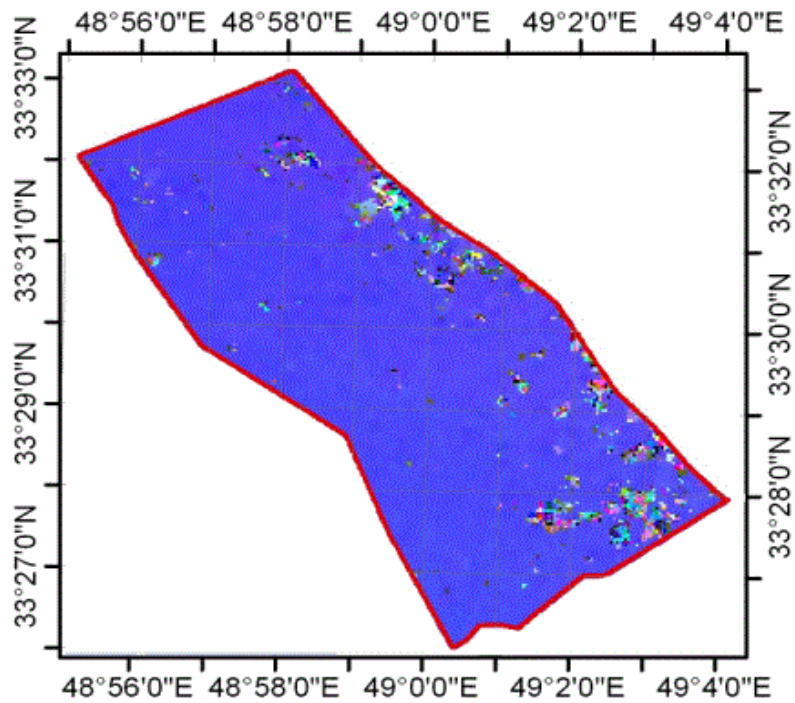
از انطباق تصاویر ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ سنجنده استر، تصویری ایجاد شد که در آن نقاط انطباق‌یافته به صورت پیکسل دیده می‌شود. این پیکسل‌ها نشانه زمین لغزش‌هایی است که در متنی از تصویر انطباق‌یافته دیده می‌شود. به منظور صحت‌سنجی پهنه‌های لغزشی آشکار شده در تصویر انطباق‌یافته، این محدوده‌ها با محدوده‌های لغزشی حاصل از بررسی داده‌های ماهواره Pleades با تفکیک مکانی ۵۰ سانتی‌متر (مهندسان مشاور نقش ترسیم میلاد، ۱۳۹۱) همپوشانی دارد

1. threshold

که همدیگر را تأیید می‌کند. همچنین، در بازدید میدانی از منطقه مورد پژوهش بر اساس نتایج حاصل از پردازش تصاویر استر، درستی روش کار صحت‌سنجی شده است (شکل ۱۳).

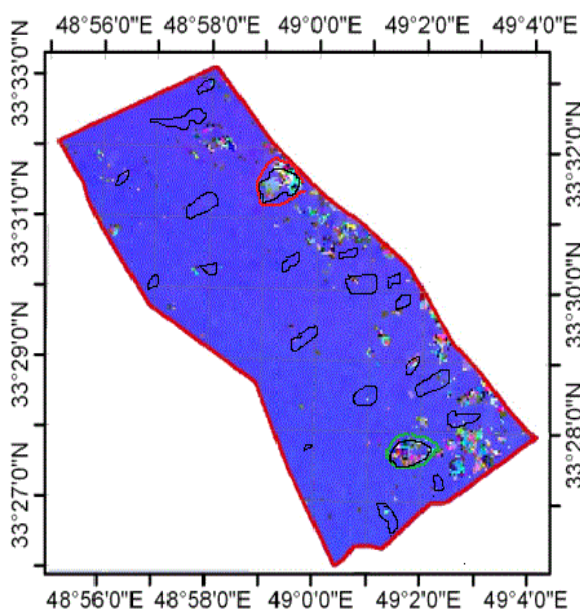


شکل ۱۱. رزیدیاگرام‌ها با حساسیت مقادیر آستانه در روش‌های مختلف نمونه‌برداری مجدد (باسین، ۲۰۰۹: ۷۵)

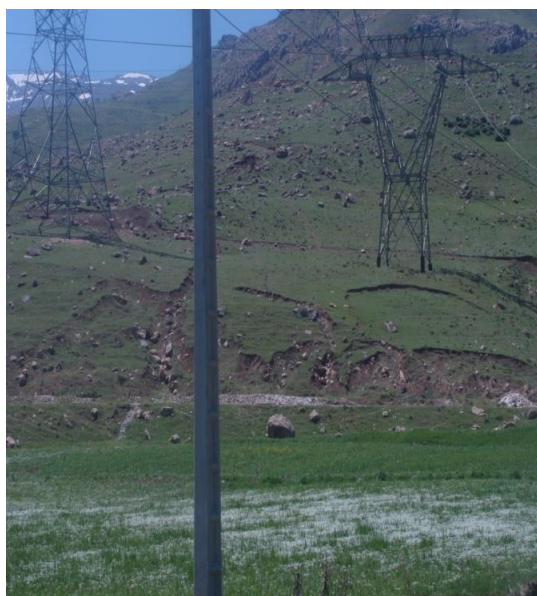


شکل ۱۲. تصویر خروجی نهایی حاصل از انطباق تصاویر ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ استر، پهنه لغزشی پشت قلعه دورود

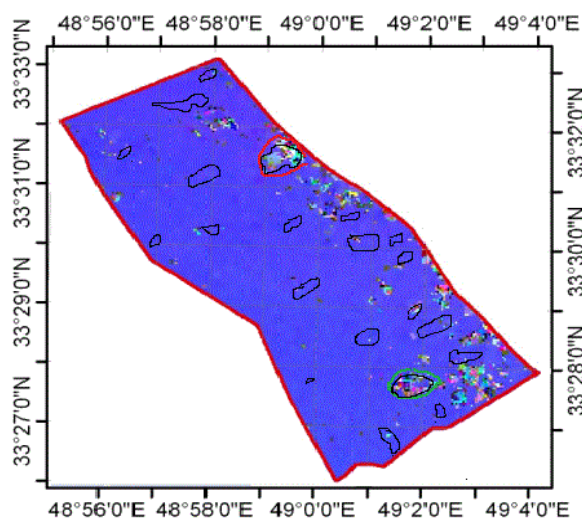
میزان آشکارسازی زمین لغزش به تفکیک مکانی داده (تصویر) و میزان جابه‌جایی زمین لغزش بستگی دارد؛ بدین معنا که با توجه به اینکه تکنیک انطباق زیرپیکسل و افزونه COSI-corr قادر است تا یک‌بیستم تفکیک مکانی تصویر را آشکارسازی کند، هرچه تفکیک مکانی تصویر بیشتر باشد، این روش قادر است تا جابه‌جایی‌های کوچک‌تر را آشکارسازی کند و هر چه زمین لغزش جابه‌جایی بیشتری داشته باشد با تصاویر با تفکیک مکانی پایین‌تر نیز می‌توان آن را تشخیص داد. تصاویر استر استفاده شده در این پژوهش دارای تفکیک مکانی ۱۵ متر (باند 3N) است. بنابراین، جابه‌جایی‌های بیش از ۰/۷۵ متر را می‌توان با این تصاویر آشکارسازی کرد. به‌همین دلیل عدم آشکارسازی زمین لغزش در بخش‌هایی از منطقه مورد بررسی دلیل عدم وجود زمین لغزش نیست، بلکه عدم تفکیک مکانی لازم تصاویر ماهواره‌ای برای آشکارسازی زمین لغزش‌هاست.



(a1)



(a)



(b1)



(b)

شکل ۱۳. لغزش‌های آشکارسازی شده به‌همراه مشاهدات میدانی؛ (a) محدوده سرخ‌رنگ مربوط به زمین لغزش عکس a1 و (b) محدوده سبز رنگ مربوط به زمین لغزش عکس b1

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج به‌دست‌آمده از مراحل انجام‌شده در محیط نرم‌افزار ENVI و افزونه COSI-corr روی تصاویر سنجنده استر مربوط به بازه زمانی ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸، نقشه‌های تهیه‌شده در نرم‌افزار جی‌آی‌اس و بازدیدهای میدانی به شرح زیر است:

۱. با توجه به اینکه افزونه COSI-corr به جابه‌جایی سطحی پدیده‌هایی مانند زمین‌لغزش حساسیت دارد، پارامترها و روش‌هایی که در این پژوهش حساسیت بیشتری به آشکارسازی زمین‌لغزش‌های پشت‌قلعه دورود دارد عبارت است از موتور انطباق فرکانسی، روش نمونه‌برداری مجدد سینوسی با اندازه زاویه ۲۵ درجه، اندازه پنجره ۳۲، اندازه گام ۴ و آستانه ۹۰.
۲. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تراسنجنده استر برای آشکارسازی زمین‌لغزش‌های با میزان جابه‌جایی کمتر از ۰/۷۵ متر امکان‌پذیر نیست و باید از تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک مکانی بالاتر استفاده کرد. اما به‌علت عدم دسترسی به داده‌های با تفکیک مکانی بالا مانند داده‌های ماهواره‌ای اسپات ۵ و Quikbird از داده‌سنجنده استر استفاده شده است.
۳. داده‌های ماهواره‌ای استر مرتبط با مقاله، با توجه به اینکه فقط جابه‌جایی‌های سطحی را آشکارسازی می‌کند برای داده‌های راداری که نشست و برخاست را نشان می‌دهد، مکمل خوبی محسوب می‌شود. این روش کار پایه‌ای برای کارهای جزئی‌تر با تصاویر با تفکیک مکانی بالاتر است. به‌منظور صحت‌سنجی پهنه‌های لغزشی آشکارشده در تصویر انطباق‌یافته، این محدوده‌ها با محدوده‌های لغزشی حاصل از بررسی داده‌های ماهواره Pleades با تفکیک مکانی ۵۰ سانتی‌متر همپوشانی و با دو لغزش آشکارسازی‌شده مطابقت دارد. با توجه به در دسترس بودن تصاویر نوری نسبت به راداری و قیمت پایین آن، از تصاویر استر برای رفتارسنجی زمین‌لغزش‌ها به‌خصوص در مناطق کم‌خطر به‌منظور مطالعه و پهنه‌بندی استفاده شود.

پیشنهاد می‌شود که:

۱. برای مناطق پرخطر مانند دورود، استفاده از داده‌های راداری یا تصاویر نوری با تفکیک مکانی بالا به‌منظور رفتارسنجی و هشدار خطر، مناسب است تا بتوان در مواقع بحران اطلاع‌رسانی صورت گیرد و خطرهای ناشی از این پدیده به حداقل برسد.
۲. از تصاویر ماهواره‌ای نوری با تفکیک مکانی بالا مانند Spot5 و Quikbird استفاده شود. لذا، اطلاع از میزان جابه‌جایی زمین‌لغزش‌ها ما را در انتخاب بهتر تصویر ماهواره‌ای در انجام آشکارسازی با این تکنیک و افزونه کمک می‌کند.

سپاسگزاری

از اساتید راهنمای پایان‌نامه این جانب، جناب آقای دکتر فربرز قریب و سرکار خانم دکتر معصومه خلیج معصومی که نهایت همکاری را در انجام این پژوهش داشتند همچنین، مشوق اینجانب در تدوین مقاله حاضر بودند و جناب آقای دکتر حسین صفایی و دکتر مجید رحیم‌زادگان که نظارت بر انجام این پروژه را در مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور برعهده داشته‌اند، همچنین آقای مهندس مهران رشیدی دوست و همکار عزیز تشکر و قدردانی می‌کنم.

منابع

باقری یگانه، ص. (۱۳۹۲). استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در تعیین جابه‌جایی‌های جوان (مطالعه موردی: پشت‌قلعه دورود)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی مهندسی، استاد راهنما ع. فرخ‌نیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
مهندسان مشاور نقش ترسیم میلاد (۱۳۹۱). رفتارسنجی زمین‌لغزش پشت‌قلعه دورود حد فاصل امام‌زاده هندی‌کش تا غرب روستای لنج‌آباد با تداخل سنجی راداری، کارفرما اداره کل منابع طبیعی استان لرستان.

Avouac, J.Ph.; Leprince, S.; Remi, M. and Ayoub, F. (2010). Monitoring earth surface changes and deformation from optical images.

Avouac, J.Ph.; Ayoub, F.; Leprince, S. and Ozgun, K. (2006). The 2005, Mw 7.6 Kashmir earthquake: Sub-pixel

- correlation of ASTER images and seismic waveforms analysis. *Earth and Planetary Science Letters*, 249(3-4): 514-528.
- Avouac, J.Ph.; Ayoub, F.; Leprince, S.; Konca, O. and HelMBERGER, Don V. (2005). Mw 7.6 Kashmir earthquake: Sub-pixel correlation of ASTER images and seismic waveforms analysis.
- Baghery Yaganeh, S. (2013). Young displacements, determination using satellite imagery (Case study: Posht Ghaleh of Doroud), Student of Engineering of Geology for MSc, Advisor by A. Farokh nia, Islamic Azad University, Science and Research Center, Tehran, Iran. [in Persian]
- Cara, G.S. (2004). Terrain change detection using ASTER optical satellite imagery along the Kunlun Fault, Tibet, the University of Texas, El Paso.
- Delacourt, C.; Allemand, P.; Casson, B. and Vadon, H. (2004). Velocity field of the "La Clapiere" landslide measured by the correlation of aerial and QuickBird satellite images, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L15619, doi: 10.1029/2004GL020193.
- Francois, A.; Leprince, S. and Loinel, K. (2009). Co-registration of optically sensed images and correlation.
- Gudarzi, M.A. (2010). Thesis of detection and measurement of land deformations caused by seismic events using InSAR sub-pixel correlation and inversion technique.
- Landslide Types and Processes, USGS, Fact Sheet (2004).
- Leprince, S.; Berthier, E.; Ayoub, F.; Delacourt, C. and Avouac, J.P. (2008). Monitoring earth surface dynamics with optical imagery, *EOS, transactions, American Geophysical Union*, 89(1).
- Leprince, S.; Barbot, S.; Ayoub, F. and Avouac, J.P. (2007a). Automatic, precise, ortho-rectification and co-registration for satellite image correlation, application to seismotectonics, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(6): 1529--1558.
- Leprince, S.; Ayoub, F.; Klinger Y. and Avouac, J.P. (2007b). Co-registration of optically sensed images and correlation (COSI-Corr): an operational methodology for ground deformation measurements. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS2007)*, 45(6): 1943-1946
- Michel, R. and Avouac J.P. (1999). Measuring ground displacements from SAR amplitude images: Application to the Landers earthquake. *Geophysical Research Letters*, 26(7): 875-878.
- Naghsh Tarsim Milad Consulting Engineers (2012). Monitoring Posht-Ghleh Doroud Landslide between Emam Zade Hendykosht until village west Leng Abad with radar interferometry. [in Persian]
- Van Puymbroeck, N.; Mische, L.R.; Binet, R.; Avouac, J.P. and Taboury, J. (2000). Measuring earthquakes from optical satellite images. *Applied Optics*, 39(20): 3486- 3494.
- Yaseen, M. (2009). Evaluation of optical images sub-pixel correlation for estimating ground deformation. International, Institute for Geo- Information Science and Earth Observation Enschede.