

مقدمه

زمین لغزش یکی از پدیده‌های طبیعی است که اغلب در مناطق کوهستانی و زلزله‌خیز به وقوع می‌پیوندد. عوامل طبیعی یا انسانی مختلفی در ایجاد زمین لغزش موثر است. به عنوان مثال فشار آب‌های زیر زمینی، زمین لرزه، ذوب برف و یخ، باران‌های شدید و فرسایش حاصل از جریان‌های رودخانه‌ای از جمله عوامل طبیعی و از بین رفتن پوشش گیاهی و ارتعاشات حاصل از ترافیک، انفجار و ماشین آلات صنعتی از جمله عوامل انسانی موثر در زمین لغزش هستند [۱].

زمین لغزش هر ساله خسارات و تلفات بسیاری را در نقاط مختلف دنیا از جمله کشور ایران بوجود می‌آورد و در بسیاری از موارد تهدیدی برای زیرساخت‌های شهری و روستایی به حساب می‌آید. بنابراین نظارت بر مناطق مستعد زمین لغزش و تعیین راهکارهایی به منظور حذف یا کاهش عوامل تاثیرگذار در زمین لغزش و کاهش خسارات احتمالی از اهمیت فراوانی برخوردار است.

بطور کلی حرکت رو به پایین توده خاک یا سنگ از شیب که عموماً در مناطق کوهستانی رخ می‌دهد اصطلاحاً زمین لغزش گفته می‌شود [۲]. زمین لغزش انواع مختلفی دارد که در این مقاله تنها به بررسی نوع خزشی آن می‌پردازیم. خزش حرکت آرام، یکنواخت سنگ و خاک روی شیب است. خزش بطور مستقیم با چشم قابل مشاهده نیست و تنها با نشانه‌هایی قابل شناسایی است. تنه‌ی خم شده‌ی درختان، حصارها یا کانال‌های آب که از خط مستقیم خارج شده‌اند، تیر برق‌های کج شده و موج‌های کوچک ایجاد شده در خاک و یا در جاده‌ها از نشانه‌های وجود حرکت خزشی هستند [۳].

روش‌های متعددی برای نظارت بر زمین لغزش مورد استفاده قرار می‌گیرد. به کمک مشاهدات نقشه‌برداری می‌توان میدان جابجایی حاصل از زمین لغزش را با دقت بالایی اندازه‌گیری کرد. به عنوان مثال با ایجاد شبکه GPS در منطقه لغزشی می‌توان بصورت پیوسته جابجایی را پایش کرد [۴]. تکنیک تداخل‌سنجی رادار که در این مقاله مورد بررسی و استفاده قرار گرفته است، با پوشش گسترده مکانی و تراکم بالای نقاط قابل اندازه‌گیری از جمله روش‌های موفق در پایش زمین لغزش است. مهمترین مزیت روش تداخل‌سنجی راداری عدم نیاز به مشاهدات زمینی و تراکم مکانی بالای نقاط مورد بررسی به این روش است [۵].

سنجنده TerraSAR-X از جمله سنجنده‌های راداری است که از سال ۲۰۰۷ به تصویربرداری می‌پردازد. این سنجنده در باند

کاربرد Terra SAR-X در پایش حرکت خزشی زمین لغزش در منطقه دورود

مهدی معتمد^۱، محمود حق‌شناس^۲، عبدالرضا نوریزدان^۳ و بهمن اکبری^۴
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۳/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۴/۱۱

چکیده

در این مقاله قابلیت داده‌های سنجنده TerraSAR-X به منظور پایش حرکت خزشی زمین لغزش در مناطق کوهستانی مورد بررسی قرار گرفته است. منطقه دورود واقع در استان لرستان در غرب ایران به عنوان یکی از مناطق مستعد زمین لغزش در کشور به عنوان منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. بدلیل وجود زیرساخت‌های مهمی همچون جاده و راه‌آهن در پای شیب‌های لغزشی و مشرف بودن یکی از شیب‌های لغزشی منطقه به شهر دورود، بررسی زمین لغزش در این منطقه از اهمیت فراوانی برخوردار است. به این منظور ۱۷ تصویر از عبور بالارو سنجنده TerraSAR-X بین ماه‌های ژانویه و نوامبر ۲۰۱۰ تهیه شده و به روش تداخل‌سنجی طول باز کوتاه، جابجایی توده‌های لغزشی در منطقه از نظر مکانی و زمانی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان دهنده موفقیت داده‌های سنجنده TerraSAR-X در پایش حرکت خزشی زمین لغزش در مناطق کوهستانی لغزشی اطراف شهر دورود است. پیکسل‌های استخراج شده دارای تراکم بالا و پراکندگی یکنواخت چه در مناطق شهری و چه در مناطق کوهستانی هستند. مقدار حرکت خزشی بدست آمده در راستای خط دید سنجنده، در شیب پاگیج مشرف به شهر به میزان حداکثر ۵۰ میلیمتر در سال و در شیب باباهور به میزان حداکثر ۱۵ میلیمتر در سال است.

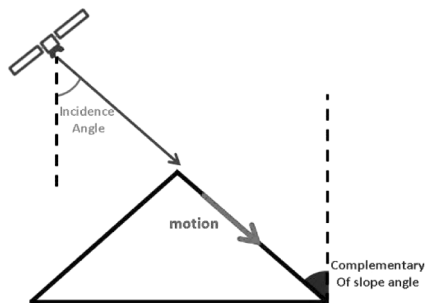
واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، حرکت خزشی، تداخل‌سنجی راداری، روش طول‌باز کوتاه.

۱- نویسنده مسئول و استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران motagh@ut.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه‌برداری، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۳- معاونت آبخیزداری اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان لرستان

۴- معاونت آبخیزداری سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور



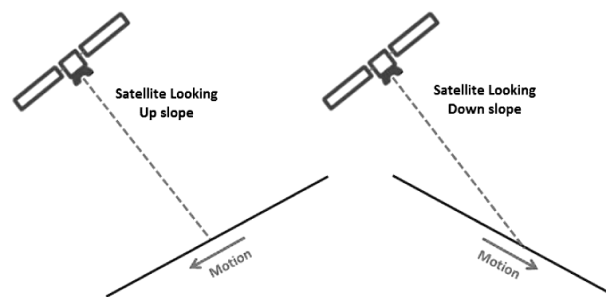
شکل ۲- بهترین حالت حساسیت سنجنده به جابجایی سطح لغزشی در صفحه قائم

تولید می‌شود. پیکسل‌هایی که در تمامی اینترفروگرام‌ها فاز پایدار دارند شناسایی شده و تنها این پیکسل‌ها وارد مراحل بعدی پردازش می‌شوند. در نهایت فاز تداخل‌سنجی تمامی اینترفروگرام‌ها بازیابی شده و با سرشکنی شبکه اینترفروگرام‌ها، نقشه‌ی جابجایی بدست می‌آید [۱۵].

شیب‌های لغزشی مناسب برای بررسی با تداخل‌سنجی راداری

سنجنده‌های راداری ماهواره‌ای در مدار قطبی و با دید جانبی راست‌نگر، در دو گذر بالا و پایین‌رو تصویربرداری می‌کنند. در گذر بالا و جهت حرکت ماهواره از جنوب به شمال و راستای دید به سمت شرق و در گذر پایین‌رو جهت حرکت ماهواره از شمال به جنوب و راستای دید به سمت غرب است [۱۰]. برای بررسی مناسب بودن روش تداخل‌سنجی راداری برای اندازه‌گیری جابجایی‌های لغزشی در یک شیب خاص، باید در هر دو صفحه افق و قائم، هندسه تصویربرداری و هندسه لغزش با هم متناسب باشند. به طور کلی سیستم راداری به جابجایی در راستایی که با زاویه دید سنجنده همسو باشند حساسیت زیاد و به شیب‌هایی که در راستای عمود بر خط دید سنجنده باشند حساسیت کمی دارد.

ابتدا به بررسی هندسه در صفحه افقی می‌پردازیم. در صورتی که هدف بررسی شیب‌های به سمت شرق باشد، برای در یک راستا قرار گرفتن خط دید سنجنده و راستای شیب، باید از تصاویر گذر بالا و در صورتی که هدف بررسی شیب‌های به سمت غرب باشد باید از تصاویر پایین‌رو استفاده کرد. شکل ۱ حالت مناسب خط دید سنجنده نسبت به راستای شیب را بصورت شماتیک نشان می‌دهد. شیب‌های شمالی یا جنوبی بطور کلی برای بررسی با روش تداخل‌سنجی راداری چندان مناسب نیستند چرا که در این دو حالت راستای شیب و خط دید سنجنده تقریباً بر هم عمود می‌شوند [۱]. در صفحه قائم، حرکت لغزشی خزشی در راستایی با زاویه برابر با زاویه شیب اتفاق می‌افتد. بهترین حالت برای بررسی با تداخل‌سنجی راداری، زمانی اتفاق می‌افتد که متمم شیب سطح لغزشی برابر با زاویه‌ی دید سنجنده باشد. در این حالت خط دید سنجنده و حرکت



شکل ۱- حساسیت سیستم تصویربرداری راداری به راستای شیب سطح لغزشی

X تصویربرداری کرده و توانایی تهیه تصاویر راداری با قدرت تفکیک چند متر و فاصله زمانی ۱۱ روزه را داراست [۹]. در این مقاله توانمندی روش تداخل‌سنجی با استفاده از داده‌های راداری سنجنده‌ی TerraSAR-X به منظور پایش حرکت خزشی زمین لغزش در منطقه دورود در استان لرستان بررسی شده است.

مبانی روش تداخل‌سنجی راداری طول باز کوتاه

سیستم تصویربرداری رادار با دارا بودن منبع انرژی در زیر مجموعه‌ی سیستم‌های تصویربرداری فعال قرار گرفته و به این ترتیب مستقل از نور خورشید بوده و امکان تصویربرداری در هر ساعت از شبانه‌روز را داراست. طول موج در حد سانتیمتر سنجنده‌های رادار، تصویربرداری در شرایط جوی گوناگون را امکان‌پذیر می‌سازد. در این سیستم تصویربرداری امواج از آنتن سنجنده به سطح زمین فرستاده شده و پس از برخورد با سطح زمین مقداری از موج که به سمت سنجنده بازمی‌گردد اندازه‌گیری می‌شود. با در اختیار داشتن حداقل دو تصویر از یک منطقه در زمان‌های مختلف و با محاسبه اختلاف فاز پیکسل‌های متناظر در دو تصویر، می‌توان به جابجایی زمینی رخ داده در راستای خط دید سنجنده دست یافت [۱۲-۱۰]. تداخل‌سنجی در شرایطی امکان‌پذیر است که موج رادار بازگشتی از سطح زمین در دو عبور با یکدیگر همبستگی داشته باشند. به عبارت دیگر تاثیر نویز بر فاز تداخل‌سنجی کم باشد. میزان همبستگی دو تصویر رادار با پارامتر هم‌دوسی تعیین می‌شود. مهمترین عوامل تاثیر گذار در هم‌دوسی، عدم همبستگی مکانی و زمانی است. مورد اول بدلیل هندسه دید متفاوت سنجنده در دو زمان تصویربرداری و مورد دوم بدلیل تفاوت یا جابجایی مواد در سطح زمین در فاصله بین دو تصویربرداری بوجود می‌آید [۱۳].

در بررسی بسیاری از پدیده‌های طبیعی، جابجایی‌های سطح زمین مقدار کمی داشته و بازه زمانی جابجایی زیاد است. با افزایش فاصله‌ی زمانی بین دو تصویربرداری، بدلیل کاهش هم‌دوسی، روش تداخل‌سنجی معمولی موفق نیست. یکی از راه حل‌های این مشکل استفاده از روش طول باز کوتاه است [۱۴]. در این روش با استفاده از تعداد زیادی اینترفروگرام، با در نظر گرفتن کوتاه بودن طول باز مکانی و فاصله زمانی بین دو تصویر یک شبکه از اینترفروگرام‌ها

لغزشی در یک راستا قرار می‌گیرند [۱]. شکل ۲ بیانگر این حالت است.

زمانی که متمم شیب سطح لغزشی بیشتر از زاویه دید سنجنده راداری باشد، تنها قسمتی از بردار جابجایی که بر روی راستای دید ماهواره تصویر می‌شود قابل اندازه‌گیری است. بنابراین میزان جابجایی اندازه‌گیری شده به روش تداخل‌سنجی کمتر از مقدار واقعی است. در صورتی که متمم شیب سطح از زاویه دید ماهواره کمتر باشد، شیب لغزشی در سایه قرار گرفته و هیچگونه سیگنالی از آن به سنجنده نمی‌رسد. در این حالت شیب بوسیله تداخل‌سنجی راداری قابل بررسی نیست [۱].

مواد و روش‌ها

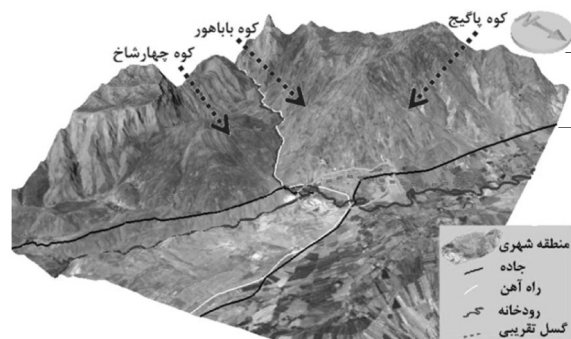
معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

شهرستان دورود با ۱۳۲۶ کیلومتر مربع وسعت، در شمال شرق استان لرستان و به فاصله‌ی ۸۶ کیلومتر از مرکز استان و ۴۵۰ کیلومتر از تهران، در طول جغرافیایی تقریبی ۴۹/۰۳ درجه و عرض جغرافیایی ۳۳/۴۹ واقع شده است. میانگین بارندگی سالیانه‌ی در این منطقه بیش از ۶۰۰ میلیمتر در سال است [۱۶]. قطعه‌ی گسل دورود به عنوان بخشی از گسل زاگرس در این منطقه قرار گرفته است و در سال‌های گذشته باعث زمین لرزه‌های زیادی شده است [۱۷]. توپوگرافی کوهستانی و تکتونیک فعال و بارندگی سالیانه بالا این منطقه را به یکی از مناطق مستعد زمین لغزش تبدیل کرده است

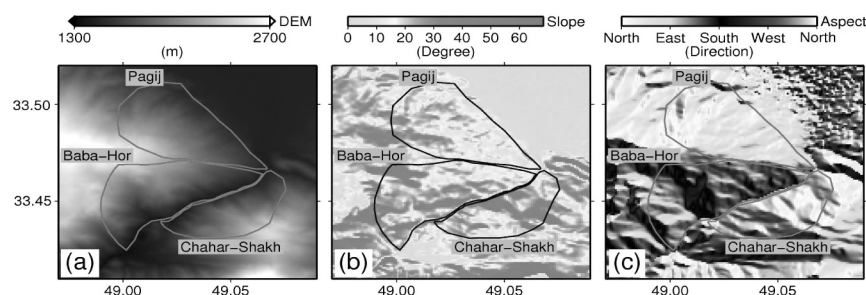
[۱۸]. در سال‌های اخیر شواهدی مبنی بر وجود حرکت خزشی در شیب‌های منطقه مشاهده شده است. از جمله ایجاد چین در سطح زمین، ایجاد اختلاف ارتفاع در سطح جاده و انحراف کانال‌های آبیاری.

در شکل ۳ نمای سه بعدی از شهر دورود و شیب‌های لغزشی منطقه نشان داده شده است. در این شکل توپوگرافی کوهستانی در بخش‌های جنوب و جنوب غرب شهر دورود به خوبی مشخص است وجود مناطق مسکونی و تاسیسات زیربنایی مانند جاده و راه آهن در پای شیب‌ها پایش زمین لغزش‌های فعال در منطقه را ضروری می‌کنند.

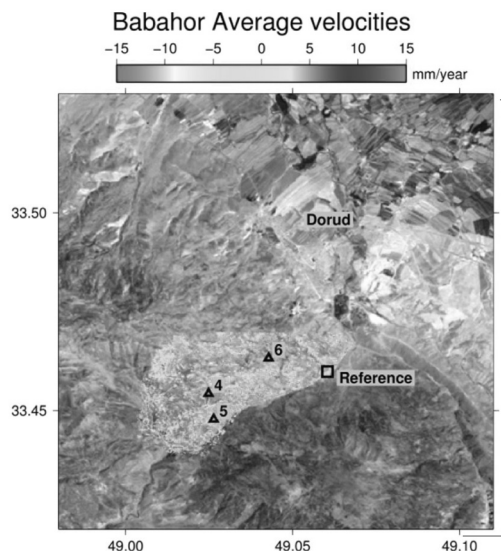
در شکل ۴ مدل رقومی ارتفاعی و همچنین مقدار شیب و راستای شیب بدست آمده از مدل رقومی ارتفاعی نشان داده شده است. در دو منطقه پاگیج و باباهور، اغلب نقاط راستای شیب به سمت شرق، شمال شرق و جنوب شرق دارند. بنابراین برای بررسی این دو شیب باید از تصاویر راداری بالارو استفاده کرد. در منطقه چهارشاخ، اغلب نقاط راستایی به سمت غرب و شمال غرب دارند. برای بررسی این شیب باید از تصاویر پایین‌رو استفاده کرد. با توجه به اهمیت بیشتر شیب پاگیج به دلیل مشرف بودن به شهر و شیب باباهور بدلیل قرار گرفتن زیرساخت‌هایی مانند راه‌آهن و جاده در پای شیب، در این مقاله به بررسی این دو شیب با تصاویر بالارو سنجنده TerraSAR-X می‌پردازیم. با توجه به آزمون ۳۵۰ درجه‌ای راستای حرکت ماهواره TerraSAR-X در گذر بالارو از این منطقه



شکل ۳- نمای سه بعدی از شهر دورود و شیب مشرف به شهر. زیرساخت‌هایی مانند جاده و راه آهن بر روی مدل سه بعدی نشان داده شده‌اند.



شکل ۴- (a) مدل رقومی ارتفاعی ۹۰ متر (b): نقشه شیب (c) SRTM: نقشه راستای شیب

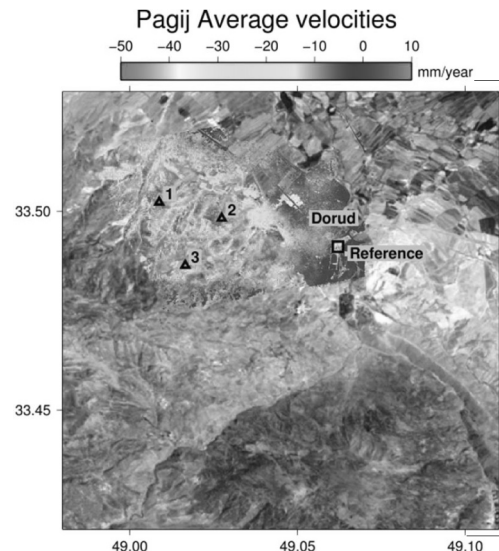


شکل ۶- سرعت متوسط سالیانه‌ی پیکسل‌ها در راستای خط دید ماهواره در کوه باباهور. نقاطی که سری زمانی آنها مورد بررسی قرار گرفته با مثلث و منطقه‌ی مبنا با مربع مشخص شده‌است.

در این دو شکل تنها پیکسل‌های پایدار نقاطی که راستای شیب مناسب برای بررسی زمین لغزش با تصاویر گذر بالارو دارند نشان داده شده‌اند و سایر پیکسل‌های پایدار نمایش داده نشده‌اند. نتایج نمایش داده شده در این دو شکل نشان دهنده سرعت متوسط سالیانه در راستای خط دید سنجنده در شیب‌های کوه پاگیج مشرف به شهر دورود به میزان حداکثر ۵۰- میلیمتر و در شیب‌های کوه باباهور مشرف به راه‌آهن به میزان حداکثر ۱۵- میلیمتر می‌باشد.

به منظور بررسی رفتار حرکت لغزشی در طول زمان، سری زمانی ۶ نقطه مختلف مورد بررسی قرار گرفت. این نقاط با مثلث در دو شکل ۵ و ۶ مشخص شده‌اند. نقاط ۱ تا ۳ در شیب کوه پاگیج که مشرف به شهر دورود است قرار گرفته‌اند. جابجایی این نقاط نسبت به یک منطقه‌ی مبنا در شهر که در شکل با مربع نشان داده شده است، اندازه‌گیری شده است. نقاط ۴ تا ۶ در شیب کوه باباهور قرار گرفته‌اند که مشرف به راه‌آهن شهر دورود است. برای محاسبه‌ی جابجایی این نقاط، منطقه‌ی مبنا در نقطه‌ای واقع در پایین شیب در نظر گرفته شده است. منطقه‌ی مبنا در شکل با مربع نشان داده شده است. شکل ۷ سری زمانی نقاط ۱ تا ۶ را در بازه‌ی زمانی ۲۸۷ روزه بین تاریخ‌های ۲۱ ژانویه ۲۰۱۰ و ۳ نوامبر ۲۰۱۰ مصادف با ۱ بهمن ۱۳۸۸ تا ۱۲ آبان ۱۳۸۹ نشان می‌دهد.

سری زمانی نقاط بیانگر جابجایی در راستای خط دید ماهواره به میزان ۲۰ تا ۴۰ میلیمتر ناشی از حرکت خزشی در نقاط ۱ تا ۳ و جابجایی حدود ۱۰ میلیمتر در نقاط ۴ تا ۶ است. باید توجه داشت که جابجایی‌های بدست آمده از روش تداخل‌سنجی راداری، بخشی از جابجایی زمینی است که در راستای دید سنجنده تصویر شده است. بنابراین جابجایی‌های واقعی زمینی مقدار بیشتری دارند.



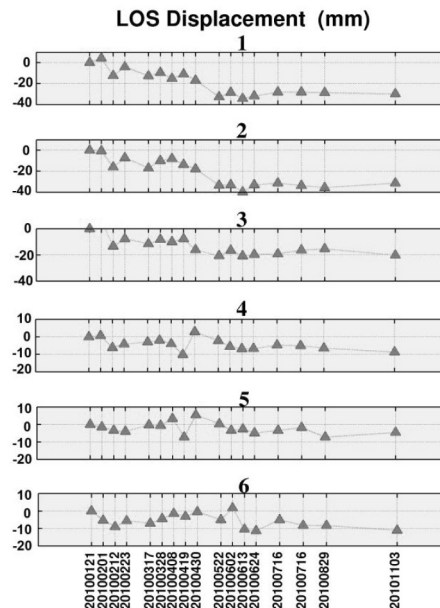
شکل ۵- سرعت متوسط سالیانه‌ی پیکسل‌ها در راستای خط دید ماهواره در کوه پاگیج. نقاطی که سری زمانی آنها مورد بررسی قرار گرفته با مثلث و منطقه‌ی مبنا با مربع مشخص شده‌است.

و راستای دید ۸۰ درجه نسبت به شمال، بیشتر نقاط این دو شیب توسط تداخل‌سنجی قابل اندازه‌گیری هستند. زاویه برخورد پرتو رادار سنجنده TerraSAR-X در این منطقه برابر با ۳۴ درجه است. با توجه به نقشه شیب، اغلب نقاط در دو شیب پاگیج و باباهور مقداری کمتر از متمم زاویه برخورد (یعنی ۵۶ درجه) داشته و برای اندازه‌گیری با روش تداخل‌سنجی مناسب هستند.

نتایج

در این مطالعه ۱۷ تصویر از گذر بالارو سنجنده‌ی TerraSAR-X در بازه‌ی زمانی ۲۸۷ روزه (۹ ماه و ۱۳ روز) بین تاریخ ۲۱ ژانویه ۲۰۱۰ تا ۳ نوامبر ۲۰۱۰ استفاده شده است.

با توجه به طول باز عمودی و فاصله زمانی بین تصاویر، شبکه‌ای از ۳۹ اینترفروگرام تولید شد. اینترفروگرام‌ها با استفاده از نرم‌افزار IDORIS [۱۹-۲۰] تولید شدند. به منظور حذف اثر توپوگرافی از اینترفروگرام‌ها از مدل رقومی ارتفاعی ۹۰ متری SRTM استفاده شده است [۲۱]. پس از استخراج پیکسل‌های پایدار و انجام روش طول باز کوتاه (به کمک نرم‌افزار StaMPS [۲۲]) سرعت متوسط سالیانه پیکسل‌های پایدار بدست آمد. برای محاسبه‌ی سرعت متوسط سالیانه‌ی پیکسل‌های پایدار در کوه پاگیج، منطقه‌ای در پایین شیب این کوه و در داخل شهر به عنوان مبنا در نظر گرفته شده است. برای محاسبه‌ی سرعت متوسط سالیانه پیکسل‌های پایدار در شیب کوه باباهور، منطقه‌ای در پایین شیب کوه باباهور به عنوان مبنا در نظر گرفته شده است. در دو شکل ۵ و ۶ سرعت متوسط سالیانه‌ی پیکسل‌های پایدار شناسایی شده نشان داده شده است.



شکل ۷- سری زمانی نقاط ۱ تا ۶. جابجایی‌ها در راستای خط دید ماهواره و بر حسب میلی‌متر می‌باشند.

لغزشی به بارندگی در منطقه، نیاز به تهیه داده‌های بارندگی روزانه و اندازه‌گیری روزانه‌ی جابجایی با روش‌های ژئودتیکی است.

منابع

۱- خوانین زاده، ن. ۱۳۹۰. استفاده از روش تداخل سنجی راداری برای مطالعه زمین لغزش. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، دانشکده فنی، گروه مهندسی نقشه برداری و ژئوماتیک.

2- Berardino., P. Fornaro., G, Lanari., R. and Sansosti., E. 2002. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 40(11): 2375–2383.

3- Colesanti., C, Ferretti., A, Prati., C. and Rocca., F. 2003. Monitoring landslides and tectonic motions with the Permanent Scatters Technique. *Engineering Geology*, 68(1): 3–14.

4- Colesanti., C. and Wasowski., J. 2006. Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. *Engineering geology*, 88(4): 173–199.

5- Farina., P, Colombo., D, Fumagalli., A, Marks., F. and Moretti., S. 2006. Permanent Scatters for landslide investigations: outcomes from the ESA-SLAM project. *Engineering Geology*, 88(4): 200–

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه از روش تداخل سنجی راداری طول باز کوتاه جهت پایش پدیده‌ی زمین لغزش در منطقه دورود استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان دهنده‌ی حرکت خزشی در نقاط مورد بررسی واقع در شیب کوه پاگیچ مشرف به شهر دورود و شیب باباهور، به ترتیب به اندازه‌ی حداکثر ۴۰ میلیمتر و ۲۰ میلیمتر نسبت به منطقه‌ی مبنا در راستای خط دید ماهواره در بازه‌ی زمانی ۲۸۷ روزه است. این جابجایی‌ها نشان دهنده‌ی فعال بودن لغزش و حرکت خزشی در دو شیب مورد بررسی است. شیب‌های لغزشی کوه چهارشاخ با توجه به راستای شیب به سمت غرب، با استفاده از تصاویر گذر بالا و قابل بررسی نبودند. جابجایی در این شیب با استفاده از تصاویر گذر پایین‌رو سنجنده‌ی TerraSar-X قابل بررسی است.

تراکم بالا و پراکندگی مناسب پیکسل‌های پایدار استخراج شده نشان دهنده موفقیت روش تداخل سنجی راداری طول باز کوتاه با استفاده از تصاویر سنجنده TerraSar-X برای پایش حرکت خزشی در شیب‌های لغزشی منطقه دورود است.

تعیین منطقه مبنا که تحت تاثیر جابجایی حاصل از زمین لغزش نباشند از اهمیت فراوانی برخوردار است. در این پروژه منطقه مبنا بصورت تجربی و با توجه به میانگین سرعت نقاط و همچنین بازدید زمینی از منطقه انجام شده است. برای تعیین دقیق مناطق فاقد جابجایی لغزشی به عنوان مناطق مبنا، نیاز به اندازه‌گیری با استفاده از روش‌های ژئودتیکی مانند GPS است.

نوسان سری زمانی نقاط مختلف زمین لغزش ممکن است به دلیل خطای اتمسفری باقیمانده در اینترفروگرام‌ها و یا وابستگی حرکت خزشی به بارندگی در منطقه باشد. برای تعیین وابستگی جابجایی

- 11- Richards., J.A. 2009. Remote Sensing with Imaging Radar. Springer Verlag.
- 12- Rotaru., A, Oajdea., D. and Raileanu, P. 2007. Analysis of the Landslide Movements. INTERNATIONAL JOURNAL of GEOLOGY,1: 70–79.
- 13- Wang., G, Xie., M, Qiu., C. and Esaki., T. 2010. Application of D-INSAR technique to landslide monitoring. Rock and Soil Mechanics, 31(4): 1337–1344.
- 14- Wiecezorek., G.F. and Snyder., J.B. 2009. Monitoring slope movements, Geological Monitoring. Geological Society of America Boulder, CO, 245–271.
- 15- Zebker., H.A. and Villasenor., J. 1992. Decorrelation in interferometric radar echoes. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 30(5): 950–959.
- 217.
- 6- Ferretti., A, Monti-Guarnieri., A, Prati., C, Rocca., F. and Massonet., D. 2007. InSAR Principles-Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation. ESA Training Manual, vol, 19.
- 7- Hanssen., R.F. 2001. Radar interferometry, data interpretation and error analysis, vol. 2 Kluwer Academic Pub.
- 8- Herrmann., J, Bottero., A.G, Epiphanyo., J.C.N. Galvão., L.S. and Fonseca., L.M.G. 2007. TerraSAR-X mission: The new generation in high resolution satellites. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13: 7063–7070.
- 9- Hooper., A. 2008. A multi-temporal InSAR method incorporating both persistent scatterer and small baseline approaches. Geophys. Res. Lett, 35(16): 16 pp.
- 10- Moss., J.L. 2000. Using the Global Positioning System to monitor dynamic ground deformation networks on potentially active landslides. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2(1): 24–32.