

مهندسی و مدیریت آبخیز

بررسی تغییرات غلظت رسوب معلق در سیلاب‌های فصلی ناشی از باران و ذوب برف سهیلا آقابیگی امین، عبدالرسول تلوری، سید خلاق میرنیا، سادات فیض‌نیا و مهدی وفاخواه

بررسی الگوی استفاده از اراضی در حوزه آبخیز سد سنا استان بوشهر علی جعفری، داود نیک‌کامی، اسماعیل عباسی و فاطمه توکلی‌راد

تعیین سهم منابع تولید رسوب از طریق مقایسه نتایج روش‌های تهیه نقشه سیمای فرسایش، انگشت نگاری و اندازه‌گیری میدانی سعید نجفی و سید حمیدرضا صادقی

ارزیابی مدل SWAT2009 در شبیه‌سازی بیلان آبی آزاده جباری، مجید حسینی و امیر خسرو جردی

کاربرد تداخل‌سنجی تفاضلی راداری در شناسایی و پایش زمین‌لغزش‌ها، مطالعه موردی: حوزه آبخیز گرم‌چای میانه شهرام روستایی، مهاسا روستایی، محمد شریفی‌کیا و جمشید یاراحمدی

ارائه روشی جامع برای تعیین فرسایش‌پذیری واحدهای سنگ‌شناسی با نگرشی بر زمین‌شناسی ایران حمیدرضا پیروان و محسن شریعت‌جعفری

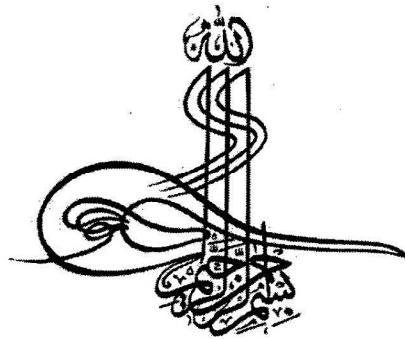
تحلیل آماری اثرات متقابل خشک‌سالی بر تشدید ریزگردها و عملکرد گندم در سطح اراضی دیم استان لرستان جواد محمدی‌نژاد و مرتضی خداقلی

بررسی آزمایشگاهی عملکرد صفحات مستغرق در رسوب‌زدایی از کف حوضچه رسوب‌گیر گردابی مجتبی صانعی، معین آصفی و کاظم اسماعیلی

مهندسی و مدیریت آبخیز

جلد ۵، شماره ۳، ۱۳۹۲

ISSN 2251-9300



صاحب امتیاز: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

مدیر مسئول: ضیاءالدین شعاعی

سر دبیر: داود نیک کامی

هیات تحریریه

دانشیار دانشگاه تربیت مدرس	بهرامی، حسینعلی
استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری	ثقفیان، بهرام
دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری	حبیبی، مهدی
دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری	شعاعی، ضیاءالدین
دانشیار دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)	شکوهی، علیرضا
استاد دانشگاه تربیت مدرس	صادقی، سید حمیدرضا
استاد دانشگاه تهران	علوی‌پناه، سید کاظم
دانشیار دانشگاه تهران	گرچی، منوچهر
استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری	مهدیان، محمدحسین
استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری	نیک کامی، داود

تیراژ: ۵۰۰ نسخه	ویراستار: داود نیک کامی	مدیر داخلی: امیر سررشته‌داری
ناشر: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری		گرافیکست و صفحه‌آرا: اکبر حسینی‌رشید و فانیذ حشمتی

دبیرخانه: تهران، کیلومتر ۱۰ جاده مخصوص کرج، خیابان شهید عاشری، خیابان شهید شفیعی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، صندوق پستی: ۱۱۳۶-۱۳۴۴۵، تلفن: ۸-۰۱۲۱۴-۴۴۹۰، دورنگار: ۰۹-۴۴۹۰۵۷۰۹، Email: jwem@scwmri.ac.ir

- بررسی تغییرات غلظت رسوب معلق در سیلاب‌های فصلی ناشی از باران و ذوب برف
سهیلا آقاییگین امین، عبدالرسول تلوری، سید خلاق میرنیا، سادات فیض‌نیا و مهدی وفاخواه ۱۴۴-۱۵۴
- بررسی الگوی استفاده از اراضی در حوزه آبخیز سد سنا استان بوشهر
علی جعفری، داود نیک کامی، اسماعیل عباسی و فاطمه توکلی‌راد ۱۵۵-۱۶۴
- تعیین سهم منابع تولید رسوب از طریق مقایسه نتایج روش‌های تهیه نقشه سیمای فرسایش، انگشت‌نگاری و اندازه‌گیری میدانی
سعید نجفی و سید حمیدرضا صادقی ۱۶۵-۱۷۸
- ارزیابی مدل SWAT2009 در شبیه‌سازی بیلان آبی
آزاده جباری، مجید حسینی و امیر خسرو جردی ۱۷۹-۱۸۹
- کاربرد تداخل‌سنجی تفاضلی راداری در شناسایی و پایش زمین‌لغزش‌ها، مطالعه موردی: حوزه آبخیز گرم‌چای میانه
شهرام روستایی، مهاسا روستایی، محمد شریفی‌کیا و جمشید یاراحمدی ۱۹۰-۱۹۸
- ارائه روشی جامع برای تعیین فرسایش‌پذیری واحدهای سنگ‌شناسی با نگرشی بر زمین‌شناسی ایران
حمیدرضا پیروان و محسن شریعت‌جعفری ۱۹۹-۲۱۳
- تحلیل آماری اثرات متقابل خشک‌سالی بر تشدید ریزگردها و عملکرد گندم در سطح اراضی دیم استان لرستان
جواد محمدی‌نژاد و مرتضی خداقلی ۲۱۴-۲۲۳
- بررسی آزمایشگاهی عملکرد صفحات مستغرق در رسوب‌زدایی از کف حوضچه رسوب‌گیر گردابی
مجتبی صانعی، معین آصفی و کاظم اسماعیلی ۲۲۴-۲۳۲

کاربرد تداخل‌سنجی تفاضلی راداری در شناسایی و پایش زمین لغزش‌ها، مطالعه موردی: حوزه آبخیز گرم‌چای میانه

شهرام روستایی^۱، مهاسا روستایی^۲، محمد شریفی‌کیا^۳ و جمشید یاراحمدی^{۴*}
^۱دانشیار، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز، ^۲استادیار، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ^۳استادیار، دانشکده
علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس و ^۴دانشجوی دکتری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۷/۱۴

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۳/۱۰

چکیده

تداخل‌سنجی تفاضلی راداری (DInSAR) به‌عنوان روشی کارآمد در اندازه‌گیری جابه‌جایی سطح زمین می‌باشد. به‌طوری‌که با استفاده از این فناوری امکان پایش حرکات کوچک سطح زمین به‌صورت پیوسته، با دقت بالا و در گستره وسیعی امکان‌پذیر است. به‌دلیل پوشش وسیع تصاویر ماهواره‌ای، به‌هنگام بودن و پایین بودن هزینه آن‌ها نسبت به سایر روش‌های میدانی کاربرد این فناوری در بررسی مخاطرات طبیعی زمین از جمله زمین‌لغزش‌ها، فرونشست، زلزله و فعالیت‌های آتشفشانی بسیار متداول شده است. در این پژوهش، از تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی در شناسایی ناپایداری دامنه‌های حوزه آبخیز گرم‌چای و محاسبه میزان حرکات آن‌ها استفاده شد. بدین منظور، تعداد هشت تصویر راداری از سنجنده PALSAR ماهواره ALOS انتخاب شد و نتایج پردازشی آن با مشاهدات میدانی مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش، تنها نتایج پردازش زوج تصویری پنجم جولای ۲۰۰۷ و پنجم اکتبر سال ۲۰۰۷ با بازه زمانی ۹۴ روزه به‌صورت نمونه ارائه شده است. حوزه آبخیز گرم‌چای با ۹۴۰ کیلومتر مربع مساحت در ۴۰ کیلومتری شمال‌شرق شهرستان میانه در استان آذربایجان شرقی قرار گرفته و جزء مناطق ناپایدار استان (با ۳۸۰ مورد زمین‌لغزش شناسایی شده در آن) به‌شمار می‌آید. به‌طوری‌که در اثر وقوع آن‌ها خسارات سنگینی به مناطق روستایی و زمین‌های کشاورزی آن‌ها وارد شده و روستای سوین که در شمال‌غربی حوضه قرار دارد، در اثر این لغزش‌ها به مکان دیگری انتقال یافته است. نتایج این پژوهش به‌خوبی نشان می‌دهد که فعالیت در سطح تعدادی از زمین‌لغزش‌های تثبیت شده قدیمی همچنان وجود داشته و به‌دلیل مجاورت آن‌ها با شبکه هیدرولوژیکی منطقه می‌توانند به‌عنوان منبع مهم رسوب‌زایی در نظر گرفته شوند. در مدت یاد شده، بیشترین جابه‌جایی صورت گرفته ۵/۸ سانتی‌متر برآورد شده که مربوط به یک جریان واریزه‌ای شناسایی شده در مجاورت روستاهای آتاجان، بناوران و اوین است. نتایج حاصل از این روش حتماً باید با استفاده از روش‌های ژئودتیکی و پیمایش صحرائی دقت‌سنجی شود.

واژه‌های کلیدی: آذربایجان شرقی، تصاویر راداری، سنجنده PALSAR، فرونشست، ماهواره ALOS

مقدمه

شیب دامنه تعریف کرد (Dai و همکاران، ۲۰۰۲). این حالت مربوط به مناطقی است که در آن تنش برشی مواد بیشتر از مقاومت برشی آن باشد که در قالب واژه

زمین‌لغزش‌ها را می‌توان به‌عنوان حرکات توده‌ای از سنگ، مواد واریزه‌ای و یا بخشی از زمین در راستای

برای مناطق گسترده هزینه زیادی دربر خواهد داشت (Hong و همکاران، ۲۰۰۷). امروزه، با توسعه و پیشرفت در فناوری فضائی، تصویربرداری ماهواره‌ای به‌عنوان یک منبع اطلاعاتی مفید جایگزین مناسبی در این زمینه شده است. تعداد محدودی از مطالعات پیشین به‌صورت ابتدائی اقدام به آشکارسازی لغزش‌های بزرگ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک مکانی پایین نموده‌اند. در حالی که، مطالعات امروزی به‌طور فزاینده‌ای از تصویربرداری با تفکیک مکانی خیلی بالا برای تهیه نقشه زمین‌لغزش‌ها استفاده می‌کنند و تعداد سنجنده‌های فعال نیز با ویژگی‌های مشابه سال به سال در حال افزایش است (Van Westen و همکاران، ۲۰۰۹). دیدگاه دیگر در استفاده از سنجش از دور در تهیه نقشه لغزش‌ها، شامل تصاویر سایه-روشن^۲، ناهمواری تهیه شده از لیدار^۳ و تداخل سنجی رادار دهانه ترکیبی^۴ براساس مدل‌های رقومی ارتفاعی است (Van Den Eeckhaut و همکاران، ۲۰۰۷).

از میان تکنیک‌های دورسنجی، تداخل سنجی راداری (InSAR یا DInSAR) که قابلیت کار در تمام شرایط بد جوی و طول مدت شب و روز را دارد، از جمله تکنیک‌های موثر و کارآمد در پایش تغییرات آرام سطح زمین محسوب می‌شود. قابلیت این تکنیک در آشکارسازی و پایش زمین‌لغزش‌ها قبلاً نیز توسط Gabriel و همکاران (۱۹۸۹) و Feigl و Massonnet (۱۹۹۸) گزارش شده است. در حقیقت، پیشرفت‌های اخیر در تداخل‌سنجی راداری نظیر تداخل‌سنجی تفاضلی (DInSAR) توجه بسیاری از محققان و دست‌اندرکاران درگیر با پایش زمین‌لغزش‌ها و ارزیابی مخاطرات محیطی به‌خود جلب کرده است و قابلیت این تکنیک در زمینه آشکارسازی و پایش حرکات زمین‌لغزش‌ها در مطالعات مختلفی توسط Fruneau و همکاران (۱۹۹۶)؛ Rott و همکاران (۱۹۹۹)؛ Kimura و Yamaguchi (۲۰۰۰)؛ Singhroy و Molch (۲۰۰۴)؛ Strozzi و همکاران (۲۰۰۵)؛ Colesanti و Wasowski (۲۰۰۶)؛ Farina و همکاران (۲۰۰۶)؛

رایج ناپایداری یا گسیختگی دامنه‌ای^۱ از آن یاد می‌شود (Van Westen و همکاران، ۲۰۰۹). ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، شرایط طبیعی مناسبی برای وقوع طیف وسیعی از زمین‌لغزش‌ها را داراست. زمین‌لغزش در ایران به‌عنوان یک بلای طبیعی، سالیانه خسارات جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می‌سازد. اگر برای بلایای طبیعی دیگر احتمال وقوع هر از چند گاهی در نظر گرفته شود، پتانسیل وقوع پدیده لغزش در کشور را باید هر لحظه در نظر گرفت. براساس گزارش نماینده وزیر جهادکشاورزی در سال ۱۳۸۷، خسارات ناشی از وقوع زمین‌لغزش‌ها در ایران (سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۷) با ثبت ۴۹۰۰ مورد در قالب پروژه بانک اطلاعات زمین‌لغزش‌های کشور که براساس تفسیر عکس‌های هوایی مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ صورت گرفته، بیش از ۱۲۷ هزار میلیارد ریال بوده که خسارات مستقیم و غیر مستقیم سالیانه آن بیش از ۵۰۰ میلیارد ریال برآورد شده است (Vazheh، ۲۰۰۸).

مدیریت ریسک و ارزیابی خطر زمین‌لغزش‌ها با شناسائی جامع و تهیه نقشه آن‌ها شروع می‌شود و این امر می‌تواند مبنای کسب آگاهی از توزیع مکانی و زمانی آن‌ها به‌کار رود (Brardinoni و همکاران، ۲۰۰۳). تاکنون روش‌های کلاسیک متعددی برای مطالعه زمین‌لغزش‌ها ارائه شده که از جمله این روش‌ها می‌توان به روش تاکنومتری، ترازیبی، فتوگرامتری برد کوتاه، مشاهدات حاصل از شبکه‌های ژئودتیکی (GPS)، تداخل‌سنجی راداری و لیدار اشاره کرد (Khavaninzadeh، ۲۰۱۱). در اوایل، شناسائی لغزش‌ها عمدتاً بر اساس تفسیر بصری زوج‌های استریوئی عکس‌های هوایی و از طریق انجام مشاهدات صحرائی صورت می‌گرفت. هر چند که تفسیر بصری عکس‌های هوایی در ترکیب با بررسی‌های صحرائی، تا به امروز نیز به‌عنوان یکی از منابع اصلی در نقشه‌برداری زمین‌لغزش‌ها باقی مانده است. اما، این منابع اطلاعاتی ضمن این‌که برای اکثر مناطق دنیا به‌صورت به‌هنگام قابل دسترس نبوده، تهیه آن نیز

² Shaded Relief

³ LiDAR

⁴ InSAR

¹ Slope Fauiler

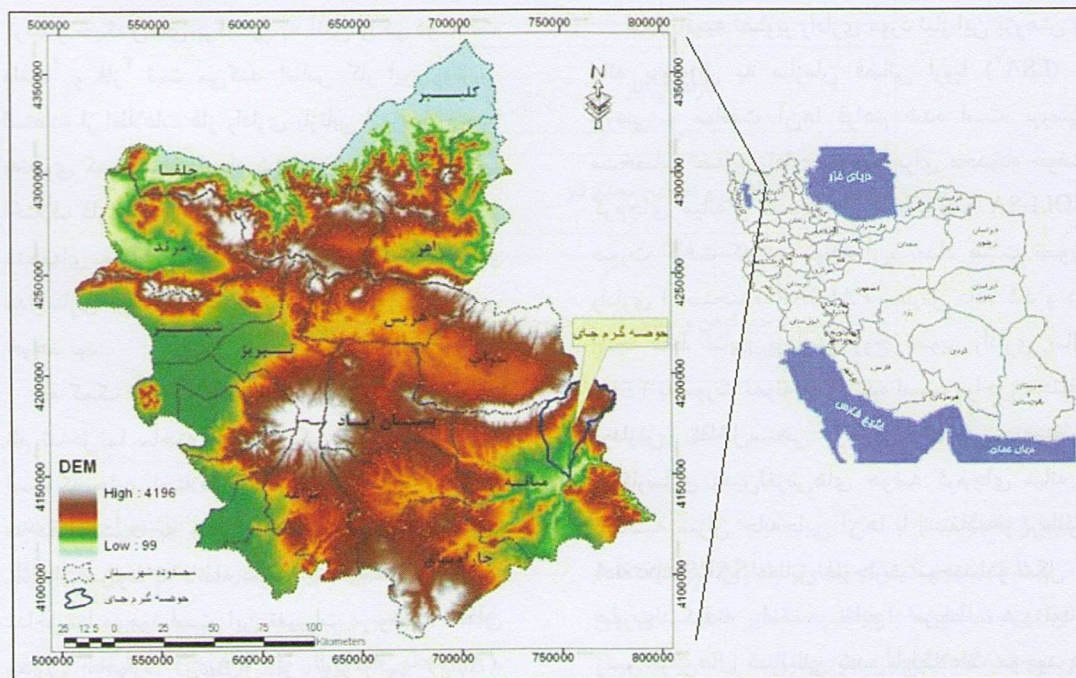
Riedel و Walter (۲۰۰۸)؛ Liu و همکاران (۲۰۱۱)؛ Agostini (۲۰۱۲) و Bovenga و همکاران (۲۰۱۲) گزارش شده است.

این پژوهش، با هدف بررسی امکان آشکارسازی زمین‌لغزش‌های فعال در حوزه آبخیز گرم‌چای با روش تداخل‌سنجی راداری انجام گرفت. در این پژوهش، ضمن آشکارسازی توزیع مکانی زمین‌لغزش‌های به‌وقوع پیوسته در منطقه مورد پژوهش، با استفاده از روش تداخل‌سنجی تفاضلی، میزان جابه‌جایی ناشی از حرکت زمین‌لغزش‌ها در فاصله زمانی دو تصویر راداری پردازش شده، محاسبه شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات سیاسی در استان آذربایجان شرقی و در فاصله ۴۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان میانه و در

منتهی‌الیه شرقی ارتفاعات بزقوش واقع شده است. این منطقه از نظر جغرافیایی بین طول‌های جغرافیایی 37° و 47° و $42'$ و $54'$ تا $48'$ و $8'$ و $25'$ شرقی 37° و $25'$ تا $24'$ تا 37° و $54'$ و $40'$ عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). بلندترین نقطه ارتفاعی منطقه 3069 متر و پست‌ترین آن 1043 متر می‌باشد. مهم‌ترین شبکه زهکشی منطقه رودخانه گرم‌چای بوده که با جهت شمالی-جنوبی از ارتفاعات جنوبی بزقوش سرچشمه گرفته و در مناطق پست شمال شرق شهر میانه بعد از طی 40 کیلومتر به رودخانه قزل‌اوزن می‌پیوندد. منطقه مورد مطالعه عمدتاً کوهستانی بوده به‌طوری‌که 52 درصد مساحت منطقه را شیب‌های $16-45$ درصد تشکیل می‌دهد. براساس آمار بلندمدت ایستگاه هواشناسی میانه (۹۰-۱۳۶۶)، میانگین بارش سالیانه 280 میلی‌متر و متوسط دما $13/5$ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است.



شکل ۱- موقعیت حوزه گرم‌چای در استان آذربایجان شرقی

گرم‌چای به‌دلیل ویژگی‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی آن از جمله مناطقی است که در آن زمین‌لغزش‌های فعال از گسترش بالائی برخوردارند. به‌طوری‌که مطالعه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها نشان می‌دهد که حدود 25 درصد حوزه گرم‌چای از نظر ریسک خطر

براساس نقشه‌های $1:10000$ زمین‌شناسی کشور، سازندهای الیگومیوسن و میوسن بیشترین گسترش را در منطقه داشته که از نظر لیتولوژیکی مربوط به سنگ‌های ریولیت، تراکیت (۲۳ درصد) و گنگومرا و مارن و ماسه‌سنگ (۱۳ درصد) می‌باشند. حوزه آبخیز

زمین لغزش در کلاس زیاد تا خیلی زیاد قرار گرفته است (Fathi, ۲۰۱۱).

در پژوهش حاضر، آشکارسازی زمین لغزش‌های فعال و محاسبه میزان جابه‌جایی آن‌ها در حوضه گرم‌چای میانه به‌روش پردازش تداخل‌سنجی تفاضلی با استفاده از تصاویر راداری سنجنده PALSAR ماهواره ALOS در مدار بالاگذر^۱ صورت گرفته است. تداخل‌سنجی راداری یا همان اینترفرومتری روش استفاده از اختلاف فاز سیگنال‌های برگشتی از سطح زمین در دو تصویر SAR گرفته شده با تاخیر زمانی یا دارای پارالاکس از یک منطقه برای استخراج ارتفاع و یا اطلاعات مربوط به تغییرات سطح زمین اطلاق می‌شود (Akhondzadeh, ۲۰۰۵).

رادار دهانه ترکیبی (SAR) یک نوع سیستم تصویربرداری فعال پهلوگیر است که سیگنال‌های میکروموج را در فواصل زمانی معین در طول مسیر حرکت به‌صورت پالس‌های به‌طرف سطح زمین ارسال کرده و سیگنال‌های برگشتی به آنتن را در دو حالت دامنه^۲ و فاز^۳ ثبت می‌کند. اساس کار این روش، استفاده از اطلاعات فاز راداری بازتابی از زمین است، به‌نحوی که تغییرات ایجاد شده در سطح زمین سبب اختلاف فاز در دو تصویر رادار از دو زمان مختلف از منطقه‌ای مشابه می‌شوند. با بررسی اختلاف فاز و مدل‌سازی آن، تغییرات سطح زمین قابل کمی‌سازی خواهد بود.

به کمک تکنیک تداخل‌سنجی راداری تصویری به نام تداخل‌نما ساخته می‌شود. یک تداخل‌نما تصویری است که حاوی اختلاف فاز دو تصویر راداری است که به دقت نسبت به هم ثبت هندسی^۴ شده‌اند. مقدار تغییرات مربوط به فاصله عارضه تا سنجنده راداری در تداخل‌نما موجود است. این تغییرات مربوط به خطای مداری ماهواره ($\Delta\phi_G$)، اثر توپوگرافی ($\Delta\phi_T$)، جابه‌جایی عارضه ($\Delta\phi_D$) و اثرات اتمسفری ($\Delta\phi_{Atm}$) می‌باشد. جهت استخراج میزان تغییرات سطح می‌بایست تمام اثرات دیگر از تداخل‌نما حذف شود (Dehghani و همکاران، ۲۰۰۶). ساده‌ترین روش

به‌منظور مقابله با مولفه توپوگرافی به حداقل رساندن خط مبنای عمودی^۵ زوج تصاویر انتخابی است. به این ترتیب، قسمت اعظم تاثیر توپوگرافی در ایجاد اختلاف فاز از بین می‌رود. به‌منظور بهبود نتایج می‌توان از یک مدل ارتفاعی رقومی زمین استفاده نمود تا بدین ترتیب باقی‌مانده اثر توپوگرافی را نیز از تصاویر تداخل‌سنج ایجاد حذف نمود. در این پژوهش، از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با اندازه پیکسل ۹۰ متری SRTM استفاده شد. در نهایت، آنچه که در این تصاویر تداخل‌سنج مشهود خواهد بود، اختلاف فاز ناشی از جابه‌جایی زمین در راستای دید سنجنده خواهد بود. رابطه زیر بیانگر عوامل تاثیرگذار در به وجود آمدن اختلاف فاز میان دو تصویر راداری می‌باشد.

$$\Delta\phi = \Delta\phi_G + \Delta\phi_T + \Delta\phi_D + \Delta\phi_{Atm} + Noise \quad (1)$$

که در روش تداخل‌سنجی راداری، آشکارسازی تغییرات سطح زمین تنها در راستای دید ماهواره (LOS^6) قابل امان‌پذیر خواهد بود.

امکان تهیه تصاویر راداری مورد نیاز این پژوهش با ارائه پروپوزال به سازمان فضائی اروپا (ESA^۷) و بررسی و موافقت آن‌ها فراهم شده است. بررسی مشخصات تصاویر راداری موجود برای محدوده حوضه گرم‌چای میانه و سفارش آن‌ها بر برنامه EOLI-SA صورت گرفت که در نتیجه آن، تعداد هشت تصویر راداری از سنجنده PALSAR سفارش داده شد و در اینجا فقط نتایج پردازش زوج تصویر راداری سال ۲۰۰۷ به‌صورت نمونه ارائه شده است. مراحل مختلف پردازش تداخل‌سنجی راداری تفاضلی به‌منظور آشکارسازی زمین لغزش‌های حوضه گرم‌چای میانه و محاسبه میزان جابه‌جایی آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار SARscape 4.4 مطابق فلوجارت موجود در شکل ۲ صورت گرفته است. نتایج مربوط به تعداد زمین لغزش‌های شناسایی شده با اطلاعات موجود در برنامه Google-Earth و انجام پیمایش زمینی و ثبت موقعیت زمین لغزش‌ها با استفاده از GPS ارزیابی و کنترل شده است. با توجه به این‌که هیچ‌گونه اطلاعاتی در ارتباط با اندازه‌گیری میزان جابه‌جایی سطوح

¹ Ascending

² Amplitude

³ Phase

⁴ Co-Register

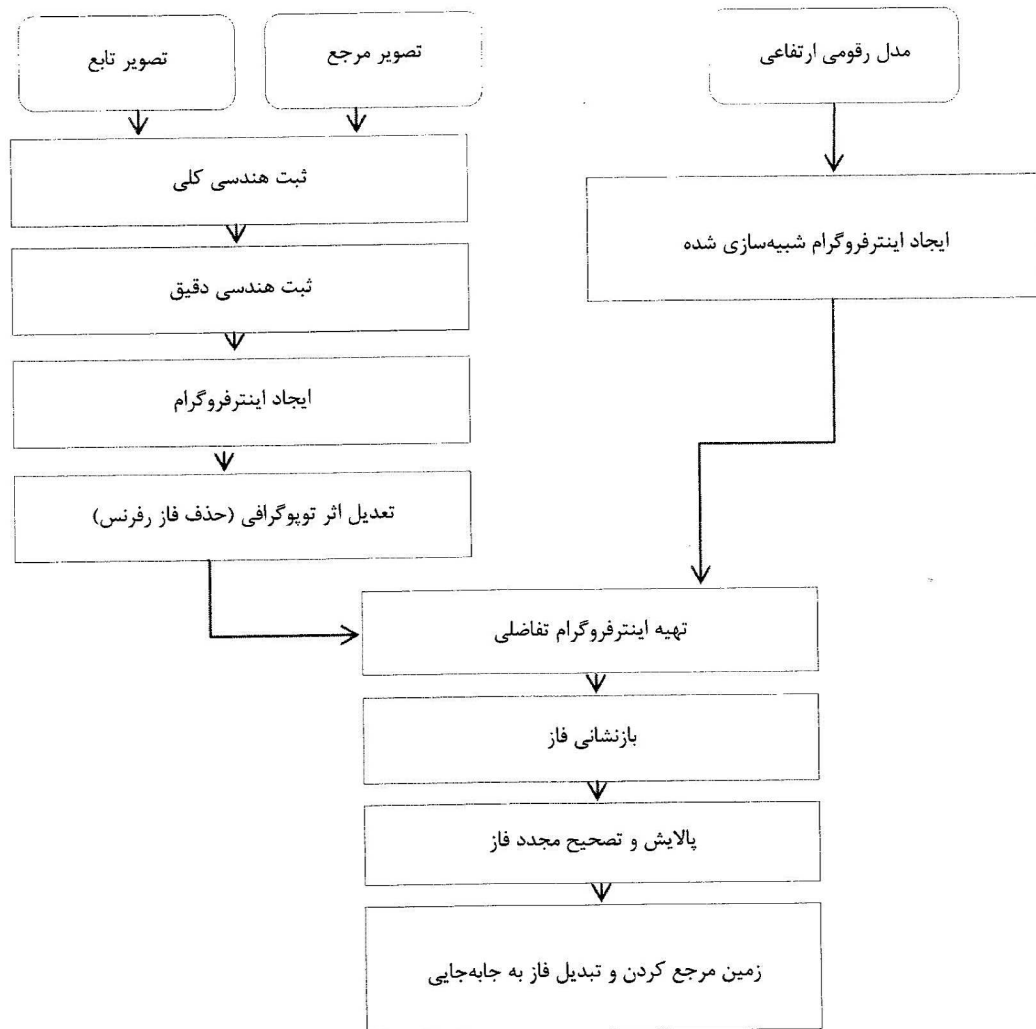
⁵ Perpendicular Baseline

⁶ Line of Sight

⁷ European Space Agency's

زمین‌لغزش‌های شناسایی شده مقدور نبود.

گسیخته شده در منطقه مورد مطالعه موجود نبود، در نتیجه امکان ارزیابی دقت محاسبات مربوط به حرکات



شکل ۲- روندنما پردازش تداخل‌سنجی تفاضلی

تصویر راداری مورد استفاده کمتر باشد، احتمال عدم هم‌بستگی زمانی بین تصاویر یاد شده نیز به حداقل خواهد رسید.

به‌منظور حذف اثر توپوگرافی از تداخل‌نما، از روش تهیه تداخل‌نما همراه با مدل رقومی ارتفاعی ماهواره شاتل (SRTM DEM) استفاده شد. خروجی این مرحله از کار در قالب تداخل‌نمای تفاضلی (DInSAR) به‌صورت تداخل‌نما مسطح شده‌ای می‌باشد که در آن فاز ثابت (به‌خاطر هندسه تصویربرداری) و فاز توپوگرافی از تداخل‌نما حذف شده است (شکل ۱).

نتایج و بحث

ابتدا قابلیت و کیفیت تصاویر راداری مورد استفاده برای تهیه تداخل‌نما با محاسبه مقادیر خط مبنای^۱ آن بررسی شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. مقایسه مقادیر خط مبنای بحرانی و نرمال نشان داد که تصاویر یادشده برای استفاده در پردازش تداخل‌سنجی مناسب بوده و از طرف دیگر، خط مبنای زمانی (۹۲ روز) نیز نشانگر کیفیت لازم زوج تصویری مذکور بوده به‌طوری‌که هر چقدر فاصله زمانی دو

^۱ Baseline

جدول ۱- مشخصات تداخل‌نما و پارامترهای مرتبط با خط مبنا

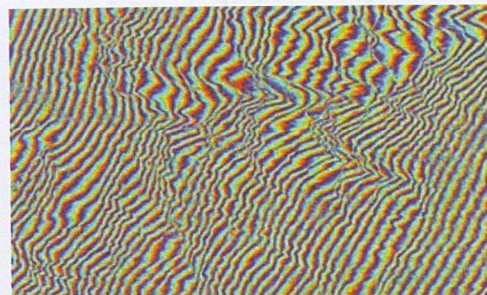
Master	Slave	Normal Baseline (m)	Critical Baseline (m)	2 PI Ambiguity height (m)	2 PI Ambiguity displacement (m)	Time Baseline (Days)
پنجم جولای ۲۰۰۷	پنجم اکتبر ۲۰۰۷	۸۰۲/۰۶	۶۵۳۴/۸۸	۷۹/۹۹	۰/۱۱۸	۹۶

نداشته و مناسب پردازش تداخل‌سنجی نخواهد بود. نقشه همدوسی منطقه مورد مطالعه در شکل ۴ ارائه شده است. دامنه عددی این نقشه بین منفی یک تا یک بوده که مقادیر مثبت نشانگر هم‌بستگی بالا و مقادیر منفی نیز پائین بودن هم‌بستگی را توضیح می‌دهند. میانگین عددی نقشه همدوسی تهیه شده در این پژوهش ۰/۵۸ محاسبه شده و سایر مشخصات آماری آن مانند حداقل همدوسی، حداکثر و انحراف استاندارد آن برای کل تصویر به ترتیب ۰/۰۰۵، ۰/۹۹ و ۰/۱۶ به دست آمده که نشان می‌دهد این زوج تصویر راداری برای تهیه تداخل‌نما مناسب بوده و می‌تواند برای پردازش‌های بعدی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۴- نقشه همدوسی براساس زوج تصویر PALSAR (۲۰۰۷)

با توجه نتایج حاصله تا این مرحله و وضعیت طبیعی منطقه، روش دولونه حداقل ارزش جریان (Delaunay MCF^۶) برای بازیابی فاز مناسب تشخیص داده شد. به دلیل این‌که در این روش، بازیابی فاز تنها بر پیکسل‌های اعمال خواهد شد که دارای مقادیر همدوسی بیشتری از سطح آستانه همدوسی تعریف شده^۷ باشند. به علاوه، در این روش یک شبکه مثلث‌بندی دولونه^۸ جایگزین شبکه‌بندی مربعی شده است. بدین سبب عمل بازیابی تنها بر نقاطی اعمال



شکل ۳- تداخل‌نما مسطح شده منطقه گرم‌چای با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (SRTM DEM)

همان‌طوری‌که از این تصویر نیز قابل مشاهده است، تداخل‌نما مسطح شده حاوی نوفه‌هایی^۱ بوده که باعث پائین آمدن کیفیت بصری فرینج‌ها^۲ می‌شود. هر فرینج یک چرخه رنگ کامل از آبی (صفر رادیان) تا قرمز (2π رادیان) را نشان می‌دهد که بیانگر یک سیکل اختلاف فاز می‌باشد. مقدار هر فرینج برابر با نصف طول موج تصویر راداری مورد استفاده است. بدین منظور، در ادامه کار فیلتر تطبیقی گلدشتاین^۳ برای حذف نوفه تداخل‌نمای مسطح شده اعمال شد. این عمل به‌طور معنی‌داری باعث بهبود کیفیت فرینج تداخل‌نما شده و همچنین، باعث حذف نویزهای که منشاء آن‌ها می‌تواند به دلیل عدم هم‌بستگی^۴ ناشی از فاصله زمانی بین دو گذر پنج ماهواره و یا پارامترهای خط مبنا باشد، خواهد شد. ضمناً با عمل فیلترگذاری اقدام به تهیه نقشه همدوسی^۵ نیز خواهد شد. این نقشه هم‌بستگی دو تصویر راداری را که بیانگر حداقل تغییرات صورت گرفته در پوشش سطح زمین در بازه بین دو تصویربرداری است، نشان می‌دهد که اگر پوشش گیاهی در بازه زمانی بین دو تصویر تغییرات زیادی داشته باشد، تصویر حاصله هم‌بستگی لازم را

^۱ Noises^۲ Fringe^۳ Goldstein Adaptive Filter^۴ Decor Relation^۵ Coherence^۶ Delaunay Minimum Cost Flow^۷ Unwrapping Coherence Threshold^۸ Delaunay Triangular

آن به صورت نقشه بازیابی مجدد شده فاز مورد استفاده در پردازش‌های بعدی از قبیل تهیه مدل رقومی ارتفاعی و نقشه جابه‌جایی سطح زمین در قالب نقشه‌های ژئوکد شده شود. تا این مرحله، فاز مطلق به دست آمده و براساس مقادیر فاز مطلق اقدام به استخراج نقشه سه بعدی رقومی زمین برای منطقه مورد مطالعه شد. این نقشه در مراحل بعدی برای استخراج پارامترهای مختلف از قبیل نقشه‌های شیب، جهت‌های شیب و استخراج و بهینه‌سازی شبکه هیدروگرافی مورد استفاده قرار گرفت. آخرین مرحله در این پژوهش، شناسایی مناطق جابه‌جا شده در قالب زمین‌لغزش‌ها و محاسبه مقدار این جابه‌جایی در بازه زمانی زوج تصویر راداری مورد استفاده بود.

نتایج پردازش تصاویر راداری به روش تداخل‌سنجی تفاضلی نشان داد که در مجموع تعداد ۳۰ نقطه ناپایدار دامنه‌ای در حوضه گرم‌چای میانه در بازه زمانی ۹۲ روزه (فاصله زمانی بین دو زوج تصویری سال ۲۰۰۷) قابل شناسایی است. از نظر توزیع مکانی، این مناطق بیشتر در دامنه‌های غربی رودخانه گرم‌چای گسترش داشته و بزرگ‌ترین آن مربوط به لغزشی است که در مجاورت روستاهای قیرخ بولاق و بناوران، علی بیگلو و اووزال و روستای اوین بوده که حدود ۴۳ هکتار مساحت دارد و از نوع زمین‌لغزش چرخشی می‌باشد. بیشترین مقدار جابه‌جایی صورت گرفته در سطح همین توده لغزشی بوده و میزان فرو افتادگی در سطح آن به میزان ۱۱- سانتی‌متر محاسبه شده است.

سایر مناطق ناپایدار به صورت نامنظم در قسمت‌های شمال و جنوب حوضه گرم‌چای گسترش یافته است. منطقه لغزشی مابین روستای آرموداق و بسیط و مناطق لغزشی مناطق مجاور روستاهای قره حاجیلو و شمال ترناب را می‌توان به‌عنوان نمونه مطرح کرد. نکته قابل توجه این است که اکثر زمین‌لغزش‌های شناسایی شده در این بازه زمانی در مجاورت شبکه رودخانه‌ای قرار داشته و مقادیر جابه‌جایی سطح این مناطق نسبت به عمق و سایر مشخصات مورفومتری آن‌ها نشان می‌دهد که مناطق شناسایی شده عمدتاً منطبق با سطح زمین‌لغزش‌های قبلی بوده و به عبارت دیگر، برخی زمین‌لغزش‌های

خواهد شد که دارای همدوسی بالائی باشند، بدون این‌که تحت تاثیر پیکسل‌های با همدوسی پائین قرار گیرند. استفاده از شبکه مثلث‌بندی دولونه، زمانی مفید است که منطقه مورد مطالعه شامل برخی مناطق با همدوسی پائین باشد، مانند منابع آبی و مناطقی با پوشش گیاهی متراکم در کل پوشش تصویر مورد استفاده. به طوری که در چنین حالتی استفاده از سایر الگوریتم‌های بازیابی فاز باعث ایجاد جهش‌ها^۱ یا جزایر^۲ فازی در تصویر شده در حالی که روش مذکور این تاثیرات یاد شده را به حداقل می‌رساند.

به منظور تبدیل صحیح فاز بازیابی شده به مقادیر ارتفاعی و محاسبات میزان جابه‌جایی سطح زمین، حتماً لازم است مرحله پایش^۳ یا تسطیح مجدد^۴ اجرا شود. اجرای این مرحله باعث می‌شود تا خطاهای احتمالی مداری تصحیح شده و مقدار انحراف^۵ فاز محاسبه شود تا از این طریق مقادیر فاز مطلق به دست آید. البته این کار باعث حذف حالت پله‌ای^۶ فاز نیز خواهد شد. نتیجه این عمل دستیابی به فاز مطلق خواهد بود که مربوط به جابه‌جایی‌های رخ داده در سطح زمین در فاصله زمانی تصویربرداری بین دو زوج تصویری راداری است.

برای اجرای این پروسه حتماً بایستی از نقاط کنترل زمینی (GCP^۷) استفاده شود. این نقاط برای تصحیح پارامترهای مورد نظر در تنظیمات فرایند پایش از قبیل تصحیح خطای مداری سنجنده، تناوب فاز باقی‌مانده، محاسبه میانگین ریشه متوسط مربع خطا^۸ بین مقادیر ارتفاعی آن‌ها با مقادیر متناظر فاز تداخل‌سنجی (به متر) مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مرحله در پژوهش حاضر با استفاده از تعداد ۲۵۰ نقطه کنترل زمینی که از روی نقشه فاز تسطیح شده و براساس نقاط متناظر انتخاب شده از روی مدل رقومی ارتفاعی (SRTM-DEM) برای استخراج مقادیر ارتفاعی نقاط کنترل زمینی صورت گرفت تا خروجی

¹ Jumps

² Islands

³ Refinement

⁴ Re-Flattening

⁵ Offset

⁶ Ramp

⁷ Ground Control Point

⁸ Root Mean Square Error

میزان جابه‌جایی سطوح گسیخته شده قبلاً نیز در مطالعات متعددی نشان داده شده است. از آنجایی‌که پژوهش حاضر صرفاً بر پایه پردازش دو تصویر راداری سال ۲۰۰۷ بوده، بدیهی است که تنها جابه‌جایی‌های اتفاق افتاده در آن بازه زمانی شناسایی و محاسبه شده است. برای شناسایی زمین‌لغزش‌های قدیمی باید از تصاویری استفاده شود که دارای سری زمانی لازم بوده، به‌طوری‌که زمان قبل از وقوع و بعد از آن را هم پوشش بدهد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در صورت امکان دسترسی به تعداد کافی از تصاویر راداری (حداقل ۲۵ تصویر) از تکنیک‌های تحلیل سری زمانی همانند روش‌های PS-InSAR یا SBAS برای آشکارسازی و محاسبه جابه‌جایی‌های سطوح گسیخته شده در مقیاس منطقه‌ای و با دقت بسیار بالا در حد میلی‌متر استفاده شود.

تشکر و قدردانی

تصاویر راداری PALSAR مورد استفاده در این پژوهش از سازمان فضائی اروپا تهیه شده که بدین‌وسیله از مشارکت آن‌ها صمیمانه قدردانی می‌شود. پردازش تصاویر یادشده با استفاده از نرم‌افزار SARscape موجود در دانشکده جغرافیایی دانشگاه تربیت مدرس صورت گرفته و جا دارد از همکاری مسئولین و اساتید گروه جغرافیایی این دانشگاه تشکر شود. همچنین، از دانشگاه تبریز که فرصت تحصیل و پژوهش در دوره دکتری را برای بنده فراهم ساخته سپاسگزارم. این پژوهش با حمایت مالی سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی صورت گرفته است و بدین‌وسیله از مشارکت و همراهی این سازمان قدردانی می‌شود.

قدیمی در منطقه همچنان فعال هستند. بیشترین مقدار جابه‌جایی محاسبه شده حدود ۸/۵ سانتی‌متر بوده و منطبق با انباشتگی مواد در پای دامنه‌ها و داخل بستر رودخانه‌ها است که می‌تواند مربوط به یک جریان واریزه‌ای باشد.

در پژوهش حاضر از روش پردازش تداخل‌سنجی تفاضلی (DInSAR) برای شناسایی مناطق ناپایدار دامنه‌ای و محاسبه میزان جابه‌جایی آن‌ها در حوزه آبخیز گرم‌چای میانه استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد داده‌های راداری و روش پردازش تداخل‌سنجی تفاضلی از پتانسیل خوبی برای آشکارسازی زمین‌لغزش‌ها و محاسبه میزان جابه‌جایی آن‌ها برخوردار بوده و در این میان، تصاویر راداری با طول موج بلند مانند باند L سنجنده PALSAR ماهواره ALOS برای مناطقی با تراکم پوشش گیاهی و باغی بالا همانند حوضه گرم‌چای به دلیل قابلیت نفوذ بیشتر آن در پوشش گیاهی از ارجحیت بالایی برخوردار است. در عین حال، روش یادشده تنها قادر به شناسایی جابه‌جایی‌های رخ داده در راستای دید ماهواره (LOS) بوده و در عین حال، متأثر از اعوجاجات توپوگرافیکی مانند کوتاه‌شدگی^۱، سایه^۲ و واژگونی^۳ می‌باشد.

در هنگام پردازش تداخل‌سنجی باید فازهای مربوط به توپوگرافی و فاز اتمسفری با استفاده از مدل رقومی زمینی دقیق و تصاویر راداری با خط مبنای زمانی کوتاه‌تر، از فاز اصلی تداخل‌نمای ناشی از جابه‌جایی سطح زمین در بازه زمانی بین دو تصویربرداری حذف شوند. نتایج حاصل از پردازش تداخل‌سنجی تفاضلی حتماً باید از طریق روش‌های ژئودیتکی همانند نقشه‌برداری زمینی یا استفاده از GPS‌های دقیق ارزیابی شوند. با این وجود، کارایی و پتانسیل بالای روش یادشده در آشکارسازی و محاسبه

منابع مورد استفاده

1. Agostini, A. 2012. The use of different remote sensing techniques for landslide characterization. PhD Thesis, Scuola di Dottorato in Scienze Della Terra, Dipartimento di Geoscienze, Università Degli Studi di Padova.

¹ Foreshortening

² Shadow

³ Layover

2. Akhondzadeh, M. 2005. Visualization of land subsidence from petroleum extraction by SAR technique. Geomatic Congress, Tehran, Iran (in Persian).
3. Brardinoni, F., O. Slaymaker and M.A. Hassan. 2003. Landslide inventory in a rugged forested watershed: a comparison between air-photo and field survey data. *Geomorphology*, 54: 179-196.
4. Bovenga, F., J. Wasowski, D.O. Nitti, R. Nutricato and M.T. Chiaradia. 2012. Using COSMO/SkyMed X-band and ENVISAT C-band SAR interferometry for landslides analysis. *Remote Sensing of Environment*, 119: 272-285.
5. Colesanti, C. and J. Wasowski. 2006. Investigating landslides with space borne Synthetic Aperture Radar (SAR) Interferometry. *Engineering Geology*, 188(3-4): 173-199.
6. Dai, F.C., C.F. Lee and Y.Y. Nagai. 2002. Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering Geology*, 64(1): 65-87.
7. Dehghani, M., M.J. Valadanjoz, B. Parsons and T. Weight. 2006. Land subsidence evaluation of north-western part of Mashhad by INSAR technique. 26th Iranian's Geology Congress, Islamic Azad University Mashhad Branch (in Persian).
8. Gabriel, A.K., R.M. Goldstein and H.A. Zebker. 1989. Mapping small elevation changes over large areas: differential radar interferometry. *Journal of Geophysical Research*, 94: 9183-9191.
9. Farina, P., D. Colombo, A. Fumagalli, F. Marks and S. Moretti. 2006. Remote sensing techniques for landslide risk analysis: outcomes from the ESA-SLAM project. *Engineering Geology*, 88: 200-217.
10. Fathi, M. 2011. The study and hazard zonation land slide with AHP method (Case study: Garm chay basin-Miane). MSc Thesis, Departemant of Physical Geography, Tabriz University, 156 pages (in Persian).
11. Fruneau, B., J. Achace and C. Delacourt. 1996. Observation and modeling of the Saint-Etienne-de-Tine'e landslide using SAR interferometry. *Tectonophysics*, 265(3-4): 12-22.
12. Hong, Y., R.F. Adler and G. Huffman. 2007. An experimental global prediction system for rainfall-triggered landslides using satellite remote sensing and geospatial datasets. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote*, 45: 1671-1680.
13. Khavaninzadeh, N. 2011. Using RADAR interferometry for landslide studying. MSc Thesis, Faculty of Engineering, Tehran University, 145 pages (in Persian).
14. Kimura, H., and Y. Yamaguchi. 2000. Detection of landslide areas using radar interferometry. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(3): 337-344.
15. Liu, P., Z. Li, T. Hoey, C. Kincal, J. Zhang, J.-P. Muller and Q. Zeng. 2011. Using advanced InSAR time series techniques to monitor landslide movements in Badong of the Three Gorges region, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, (in press).
16. Massonnet, D., and K.L. Feigl. 1998. Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface. *Reviews of Geophysics*, 36(4): 441-500.
17. Riedel, B. and A. Walter. 2008. InSAR processing for the recognition of landslides, *Advances in Geosciences*, 14: 189-194.
18. Rott, H., B. Scheuchl, A. Siegel and B. Grasemann. 1999. Monitoring very slow slope motion by means of SAR interferometry: a case study from a mass waste above a reservoir in the Otzal Alps, Austria. *Geophysical Research Letters*, 26: 1629-1632.
19. Singhroy, V. and K. Molch. 2004. Characterizing and monitoring rockslides from SAR techniques. *Advances in Space Research*, 33: 290-295.
20. Strozzi, T., P. Farina, A. Corsini, C. Ambrosi, M. Thüring, J. Zilger, A. Wiesmann, U. Wegmüller and C. Werner. 2005. Survey and monitoring of landslide displacements by means of L-band satellite SAR interferometry. *Landslides*, 2: 193-200.
21. Van Den Eckhaut, M., J. Poesen, G. Verstraeten, V. Vanacker, J. Nyssen, J. Moeyersons, L.P.H. van Beek and L. Vandekerckhove. 2007. Use of LIDAR-derived images for mapping old landslides under forest. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32: 754-769.
22. Van Westen, C., N. Karel, M. Damen and M. Lubsynska. 2009. Multi-hazard risk assessment: guide book, Enschede, The Netherlands, ITC, www.itc.nl.
23. Vazheh. 2008. <http://vazeh.com/n-2904658.html>.