

## شناسایی و پایش ناپایداری دامنه‌ای به روش پردازش اینترفرومتری تفاضلی در حوضه آبریز طالقان

شهرام روستایی\* - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.  
داود مختاری کشکی - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.  
زهرا اشرفی فینی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۲۲      تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۱۱/۲۵

### چکیده

امروزه، اینترفرومتری تفاضلی راداری (DInSAR) به عنوان یکی از روش‌های کارآمد در اندازه‌گیری جابجایی سطح زمین محسوب می‌شود. به طوری که با استفاده از این فناوری، امکان پایش حرکات کوچک سطح زمین به صورت پیوسته، با دقت بالا و در گستره وسیعی امکان پذیر است. در این پژوهش، از تکنیک اینترفرومتری تفاضلی بر اساس سری زمانی ۲۹ تصویر راداری سنجنده ASAR ماهواره Envisat در بازه زمانی سال ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۹ جهت شناسایی و پایش مناطق ناپایدار حوضه آبریز طالقان استفاده گردید. نتایج حاصله از این تحقیق بر اساس مشاهدات میدانی مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج این تحقیق ۱۷ پهنه ناپایدار در بازه زمانی فوق شناسایی شد که بزرگترین آن‌ها از نوع لغزش مرکب میناوند با میزان جابجایی ۲/۵ سانتی متر در این مدت جابجایی داشته است و همچنین کوچکترین پهنه لغزشی به نام لغزش زیدشت از نوع چرخشی با ۱/۵ سانتی متر در بازه زمانی فوق جابجایی داشته است. انطباق موقعیت مکانی زمین لغزش‌های شناسایی با برخی مناطق لغزشی قدیمی بیانگر فعالی بودن پهنه‌های لغزشی پیشین منطقه است. از نظر توزیع مکانی، مناطق لغزشی شناسایی شده عمدتاً در مجاورت شبکه زهکشی و مناطق مسکونی حوضه قرار داشته و این امر ضمن اشاره به تأثیر شبکه زهکشی در وقوع ناپایداری دامنه‌ای، در ارتباط با جابجایی و انتقال مواد گسیخته شده به داخل شبکه هیدروگرافی و افزایش بار رسوبی رودخانه و دریاچه سد طالقان نیز حائز اهمیت است. نتایج به دست آمده در این بازه زمانی حاکی از آن است مناطق ناپایدار در دامنه‌های غربی با دقت بالایی نسبت به شیب‌های شرقی آشکارسازی شده‌اند. میانگین میزان جابجایی محاسبه شده این پهنه‌های لغزشی در این دوره ۶- تا ۱۳ میلی متر می‌باشد. مهم‌ترین نقطه لغزشی شناسایی شده در دوره اخیر، توده لغزشی میناوند و زیدشت می‌باشند که در مجاورت سد طالقان و مناطق مسکونی قرار دارند.

واژگان کلیدی: ناپایداری دامنه‌ای، اینترفرومتری تفاضلی، تصاویر راداری، حوضه آبریز طالقان.

## مقدمه

ناپایداری های دامنه ای نشان دهنده ی فرایندهای مورفودینامیک است که در زمین های شیب دار رخ داده و به واحدهای مسکونی، صنعتی، باغات و زمین های زراعی آسیب می رساند. این پدیده ها که در اثر واکنش بین نیروهای داخلی و بیرونی زمین شکل می گیرند و فرآیند گسسته ای هستند که فعالیت آنها به وسیله عواملی از قبیل بارش های شدید، زمین لرزه ها، نیروهای تکتونیکی و غیره تشدید می شوند. زمین لغزش ها یکی از فرایندهای ژئومورفولوژیکی است که با جابجایی و حرکت حجم عظیمی از خاک و سنگ تحت تاثیر نیروی ثقل در مناطق شیب دار تکامل چشم انداز مناطق کوهستانی را تحت تاثیر قرار می دهد شرایط ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و زمین شناسی محل به همراه فرایندهای ژئودینامیکی، پوشش گیاهی، کاربری، فعالیت های انسانی، شدت بارندگی و زمین لرزه ها، باعث شکل گیری این پدیده می گردند. (وانگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۳، ۱۱۰). بررسی و مطالعه دینامیک حاکم بر حرکت دامنه تحت مدل های مختلف دینامیکی امکان پذیر می باشد. آگاهی های بدست آمده از مخاطرات دامنه ای در جهان نشان داده است که آسیب های فراوانی ناشی از ایجاد ناپایداری در دامنه ها و شیب ها می باشد. برای جلوگیری از این آسیب ها بگونه ای ویژه در ناپایداری ها و نیز به گونه ای فراگیر در انواع سازه های طبیعی و ساخته دست آدمی باید به شناخت پارامترهای دینامیکی دامنه ها و ویژگی محرک های ورودی آنها پرداخت. از طریق مطالعه جابجایی زمین میتوان به برآوردی از پارامترهای تاثیرگذار در فرایند جابجایی زمین دست یافت که این امر در مدلسازی ژئوفیزیکی و تعیین راهکارهای لازم جهت مقابله با این گونه از پدیده ها موثر خواهد بود. زمین لغزش از جمله پدیده های ژئوفیزیکی از ناپایداری های دامنه ای است که رخداد آن موجب جابجایی دامنه های لغزشی در راستای شیب خواهد شد. این جابجایی ها موجب به بار آمدن خسارات مالی و جانی هنگفتی می شود (اکبری مهر<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۲، ۴۵).

به منظور پیشگیری از این تلفات و خسارات باید این حرکات سطحی و مشخصات ژئومورفومتریکی این پهنه ها را در وهله اول شناسایی نمود. در وهله دوم باید کلیه محرک های دینامیکی بوجود آورنده و تشدید کننده پهنه های لغزشی را مورد تحلیل و بررسی قرار داد. در مرحله آخر باید از فعال بودن و یا نبودن شیب لغزشی و نرخ جابجایی سالانه آن در صورت فعالیت توده لغزشی آگاه شد. کشور ایران به دلیل مساعد بودن شرایط جغرافیایی و فقدان مدیریت جامع و عدم رعایت آستانه های محیطی و عدم رعایت آستانه های محیطی بعنوان یک کشور پر خطر بشمار می رود، بطوریکه جزء ۱۰ کشور بلاخیز جهان محسوب می شود. 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. به منظور تحلیل دینامیکی زمین لغزش ها، ضروری است که ویژگی های شاخص و دینامیکی دامنه های مخاطره آمیز با انجام بازدیدهای صحرائی و مطالعات ژئوتکنیکی و تحلیل محاسبات فاکتورهای موثر تعیین گردد. پایداری سازی شیب ها یکی از مهمترین مسائل در فعالیت های عمرانی می باشد، هرگونه تحلیل نادرست می تواند به خسارت جبران ناپذیری منجر شود. انتخاب روش صحیح پایداری سازی شیب ها به محیط و پارامترهای ژئودینامیک دامنه و همچنین به انتخاب روش مناسب تحلیل بستگی مستقیم دارد. دقیق ترین روش تحلیل پهنه های لغزشی در حال حاضر روش دینامیکی می باشد که در این روش با آنالیز دینامیکی دامنه ها قبل از وقوع فرایندهای مختلف اقلیمی، هیدرولوژیکی و زمین شناسی و رفتار دامنه ها (میزان جابجایی احتمالی) بعد از رخ دادن فرایندهای فوق به بررسی میزان جابجایی سطحی دامنه ها می پردازد (کوجی ساسا<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۴، ۷۳). مدیریت ریسک و ارزیابی خطر زمین لغزش ها با شناسایی جامع و تهیه نقشه آن ها شروع می

۱ Wang

2 Akbari mehr

3 Kyoji Sassa

شود و این امر می‌تواند مبنایی جهت کسب آگاهی از توزیع مکانی و زمانی آن‌ها بکار رود (گازتی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰، ۹۱)، (براردینونی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳، ۱۸۱). تاکنون روشهای متعددی نظیر: تاکنومتری، ترازیابی، فتوگرامتری برد کوتاه، مشاهدات حاصل از شبکه‌های ژئودتیکی (GPS)، اینترفرومتری راداری و لیدار جهت مطالعه زمین لغزش‌ها بکار رفته است (خوانین زاده، ۱۳۹۰، ۷۲). در اوایل، شناسایی لغزش‌ها عمدتاً بر اساس تفسیر بصری زوج استریوئی عکسهای هوایی در کنار مشاهدات صحرائی صورت می‌گرفت. هرچند که تفسیر بصری عکسهای هوایی در ترکیب با بررسیهای صحرائی، تا به امروز نیز به عنوان یکی از روش‌های مرسوم در نقشه برداری زمین لغزش‌ها باقی مانده است. اما این منابع اطلاعاتی ضمن اینکه برای اکثر مناطق دنیا به صورت به هنگام قابل دسترس نبوده، تهیه آن نیز برای مناطق وسیع هزینه زیادی در بر خواهد داشت (هانگ<sup>۳</sup>، آدلر<sup>۴</sup>، هافمن<sup>۵</sup>، ۲۰۰۷، ۱۶۷۴).

اینترفرومتری روش استفاده از اختلاف فاز سیگنال‌های برگشتی از سطح زمین در دو تصویر SAR گرفته شده با تأخیر زمانی یا دارای پارالاکس از یک منطقه جهت استخراج ارتفاع و یا اطلاعات مربوط به تغییرات سطح زمین است (آخوندزاده<sup>۶</sup>، ۲۰۰۵، ۵۲). رادار دهانه ترکیبی SAR یک نوع سیستم تصویربرداری فعال پهلوگیر بوده که سیگنال‌های میکروموج را در فواصل زمانی معین در طول مسیر حرکت به صورت پالسهای به طرف سطح زمین ارسال کرده و سیگنالهای برگشتی به آنتن را در دو حالت دامنه<sup>۷</sup> و فاز<sup>۸</sup> ثبت می‌کند. اساس کار این روش، استفاده از اطلاعات فاز راداری بازتابی از سطح زمین است به نحوی که تغییرات ایجادشده در سطح زمین سبب اختلاف فاز در دو تصویر راداری در دو زمان مختلف از منطقه ای مشابه می‌شود. با بررسی اختلاف فاز و مدل سازی آن، تغییرات سطح زمین قابل کمی سازی خواهد بود. به کمک تکنیک اینترفرومتری راداری تصویری به نام اینترفروگرام ساخته میشود. یک اینترفروگرام، تصویری است که حاوی اختلاف فاز دو تصویر راداری است که به دقت نسبت به هم ثبت هندسی<sup>۹</sup> شده اند. مقدار تغییرات مربوط به فاصله عارضه تا سنجنده راداری در اینترفروگرام موجود است. این تغییرات مربوط به خطای مداری ماهواره ( $\Delta\varphi_G$ )، اثر توپوگرافی ( $\Delta\varphi_T$ )؛ جابجایی عارضه ( $\Delta\varphi_D$ ) و اثرات اتمسفری ( $\Delta\varphi_{Atm}$ ) می‌باشد. جهت استخراج میزان تغییرات سطح میبایست تمام اثرات دیگر از اینترفروگرام حذف گردد (دهقانی و همکاران، ۱۳۸۵). ساده ترین روش به منظور مقابله با مؤلفه توپوگرافی، به حداقل رساندن خط مبنای عمودی<sup>۱۰</sup> زوج تصاویر انتخابی است. به این ترتیب قسمت اعظم تأثیر توپوگرافی در ایجاد اختلاف فاز از بین می‌رود. به منظور بهبود نتایج می‌توان از یک مدل ارتفاعی رقومی زمین استفاده نمود تا بدین ترتیب باقیمانده اثر توپوگرافی را نیز از اینترفروگرام حذف نمود. در نهایت آنچه در تصاویر اینترفروگرام مشهود خواهد بود، اختلاف فاز ناشی از جابجایی زمین در راستای دید سنجنده است.

رابطه زیر بیانگر عوامل تأثیرگذار در به وجود آمدن اختلاف فاز میان دو تصویر راداری می‌باشد.

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_G + \Delta\varphi_T + \Delta\varphi_D + \Delta\varphi_{Atm} + \text{Noise}$$

1 Guzzeti

2 Brardinoni

3 Hong

4 Adler

5 Huffman

6 Akhondzadeh

7 Amplitude

8 Phase

9 Co-register

10 Perpendicular Baseline

قابلیت این تکنیک در آشکارسازی و پایش زمین لغزش ها پیشتر توسط گابریل<sup>۱</sup>، گلدشتاین<sup>۲</sup> و زبکر<sup>۳</sup>، ۱۹۸۹؛ مسونت<sup>۴</sup> و فیگل<sup>۵</sup> ۱۹۸۶ گزارش شده است. در حقیقت، پی شرفتهای اخیر در اینترفرومتری راداری نظیر اینترفرومتری تفاضلی (DInSAR) توجه بسیاری از محققان و دست اندرکاران مرتبط با پایش زمین لغزش ها و ارزیابی مخاطرات محیطی را به خود جلب کرده است. استفاده از این تکنیک در زمینه مطالعه زمین لغزش ها در ایران عمدتاً به تحقیقات (گوزل پور و همکاران، ۲۰۱۰، ۱۴۲۵) در بررسی حرکات توده های سمیرم در جنوب شرق ایران، (دژمور و همکاران، ۲۰۰۸، ۶۲) در زمینه مانیتورینگ حرکت بطئی زمین لغزش بزرگ کهرود در رشته کوه البرز- ایران، (اکبری مهر و همکاران، ۲۰۱۲، ۴۵) در مطالعه توده لغزشی رو ستای گوگرد، (خوانین زاده، ۱۳۹۰، ۷۲) در زمینه پایش زمین لغزش های حوضه طالقان، (روستایی و همکاران، ۱۳۹۲، ۱۹۲) آشکارسازی زمین لغزش های حوضه آبریز گرمی چای میانه برمی گردد. این تحقیق باهدف آشکارسازی زمین لغزش های فعال در حوضه آبریز طالقان با روش اینترفرومتری تفاضلی انجام گرفته است، در این تحقیق، ضمن آشکارسازی توزیع مکانی زمین لغزش های فعال در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از روش اینترفرومتری تفاضلی، میزان جابجایی ناشی از حرکات زمین لغزش ها در فاصله زمانی زوج تصاویر راداری پردازش شده نیز محاسبه شده است.

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز طالقان که یکی از زیرحوضه های مهم حوضه آبریز سفیدرود به شمار می رود، در دامنه جنوبی رشته کوه های البرز و در بخش شمال غربی در فاصله ۹۰ کیلومتری از شهر تهران واقع شده است. این حوضه از شمال به حوضه آبریز الموت، از جنوب به زیاران و صمغ آباد و از شرق به بخشی از حوضه آبریز کرج و از غرب به حوضه آبریز شاهرود محدود می گردد. این حوضه بین دو عرض جغرافیایی ۳۶° ۵۳' ۹" الی ۳۶° ۲۱' ۱۷" شمالی و طول جغرافیایی ۵۵° ۳۵' ۵۵" الی ۵۱° ۱۱' ۴۲" شرقی واقع شده است. وسعت حوضه آبریز طالقان در حدود ۹۸۳،۳۴ کیلومتر مربع است ولی باید توجه داشت که محدوده مطالعاتی در این طرح فقط شامل حوضه آبریز سد طالقان است. ارتفاع حوضه از سطح دریا از ۱۶۴۰ تا ۴۲۵۰ متر متغیر است رودخانه طالقان در مرکز این حوضه از گردنه عسلک در غرب کندوان سر چشمه می گیرد و به سمت غرب در جریان است این رودخانه پس از دریافت شاخه های پر آبی مانند رودهای علی زان- مهران خجیره حسنجون و اورازان و... طی چندین کیلومتر به رودخانه الموت می پیوندد و پس از آن با نام رودخانه شاهرود به دریاچه سد سفید رود می ریزد. دسترسی به دره طالقان و منطقه طرح با طی کردن مسیر اتوبان کرج به سوی قزوین و وارد شدن به جاده انحرافی و اختصاصی طالقان - که ۴ کیلومتر بعد از آبیگ واقع شده است- و پس از طی ۲۸ کیلومتر از کناره اتوبان و عبور از فراز گردنه ابراهیم آباد مقدور می باشد. شکل شماره ۱ موقعیت قرار گیری حوضه آبریز طالقان را نسبت به نواحی هم جوار و راه های دسترسی حوضه را نشان می دهد.

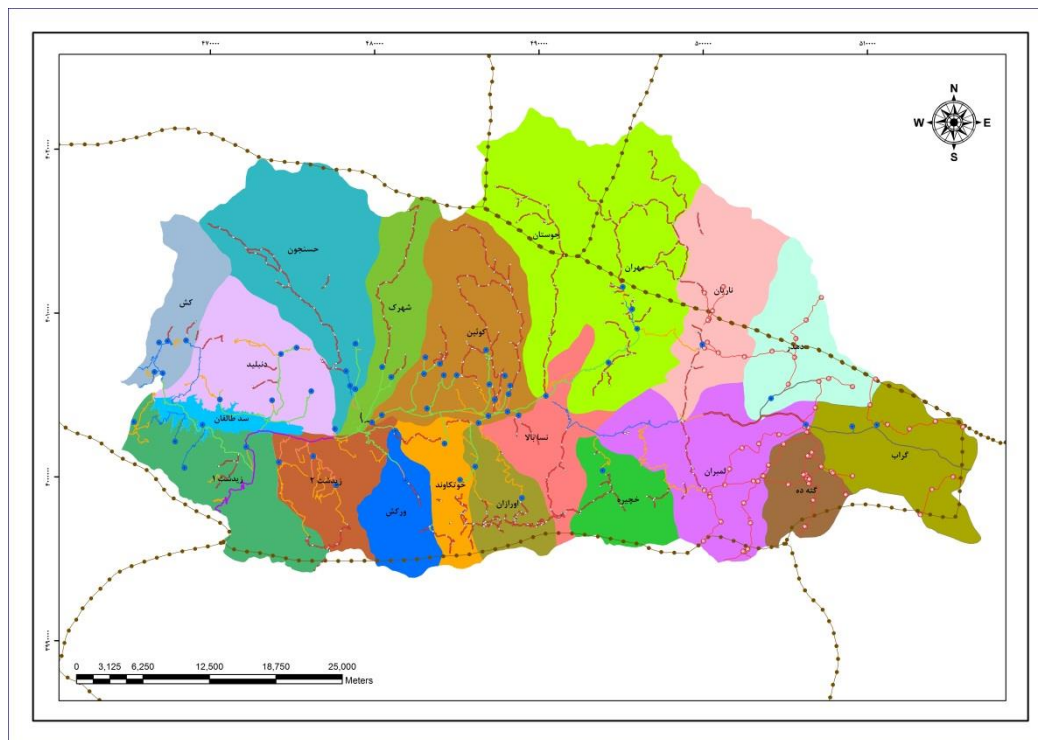
۱ Gabriel

۲ Goldstein

۳ Zebker

۴ Massonnet

۵ Feigl



شکل شماره ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

### روش پژوهش

در پژوهش حاضر، آشکار سازی زمین لغزش‌های فعال و محاسبه میزان جابجایی آن‌ها در حوضه آبریز طالقان به روش پردازشی اینترفرومتری تفاضلی با استفاده از تصاویر راداری سنجنده ASAR ماهواره Envisat در مدبلا گذر<sup>۱</sup> اتفاق افتاده است. تصاویر راداری مورد نیاز از طریق ارائه پروپوزال پژوهشی به سایت ftp دانشگاه دلف و جلب موافقت آن‌ها تهیه گردید. بررسی مشخصات تصاویر راداری موجود برای محدوده حوضه آبریز طالقان و سفارش آن‌ها با برنامه EOLI-SA صورت گرفت.

در این مطالعه از ۲۹ تصویر SAR سنجنده ASAR استفاده گردید. تصاویر مورد استفاده، تصاویری با هندسه تصویربرداری نزولی (واقع بر مدار شمالی-جنوبی) که با طول موج باند C از طیف ماکروویو امواج الکترومغناطیس (λ = 5.6 cm) تهیه شده‌اند، می‌باشد این تصاویر از نوع تصاویر SLC شده و در بازه زمانی میان سالهای 2003 تا 2009 جمع‌آوری شده‌اند. لازم به ذکر است که نوع جاروب سنجنده مرتبط با تصاویر مورد استفاده از نوع جاروب سنجنده مرتبط با تصاویر مورد استفاده از نوع جاروب سنجنده مرتبط با تصاویر مورد استفاده از نوع Is2 می‌باشد که زاویه تابش آن در رنج ۲۷-۱۹ درجه قرار دارد. جدول ۱-۱ مشخصات تصاویر راداری سفارش داده شده را نشان می‌دهد. مراحل مختلف پردازش اینترفرومتری راداری تفاضلی به منظور آشکار سازی زمین لغزش‌ها و محاسبه میزان جابجایی آن‌ها با استفاده از نرم افزار ENVI4.2 مطابق فلوچارت موجود در شکل (۲) انجام گردید. در همین راستا، ابتدا تصاویر راداری جهت پردازش اینترفرومتری به فرمت SLC تبدیل شدند. سپس به منظور ثبت هندسی<sup>۲</sup> تصاویر، یکی از آن‌ها به عنوان تصویر

<sup>۱</sup> Ascending

<sup>۲</sup> Co-registration

مرجع ۱ و سایر تصاویر به عنوان تصاویر تابع ۲ در نظر گرفته شدند. از طریق ترکیب دو تصویری که نسبت به هم به طور دقیق ثبت هندسی شده اند یک اینترفروگرام تهیه شد. در حقیقت یک اینترفروگرام از حاصل ضرب هر پیکسل تصویر اول در مزدوج مختلط ۳ تصویر دوم ساخته میشود. در ادامه، اینترفروگرام تفاضلی از طریق حذف فاز رفرنس بر اساس مدل رقومی ارتفاعی منطقه تهیه شد. به منظور بهبود نسبت فاز سیگنال به نوفه (SNR) اینترفروگرام تهیه شده، از فیلتر تطبیقی گلدشتاین استفاده شد. نقشه همدوسی ۴ نیز که شاخصی از کیفیت اینترفروگرام بوده در این مرحله تهیه گردید. در ادامه فرایند پردازش، مرحله اصلاح فاز ۵ با استفاده از روش ۶ (Delaunay MCF) صورت گرفت. به منظور تبدیل صحیح فاز اصلاح شده به مقادیر ارتفاعی و محاسبه میزان جابجایی سطح زمین، حتماً لازم است تا مرحله پایش ۷ یا تسطیح مجدد ۸ فاز اجرا گردد. اجرای این مرحله باعث می شود تا خطاهای احتمالی مداری تصحیح شده و مقدار انحراف ۹ فاز محاسبه گردد تا از این طریق، مقادیر فاز مطلق به دست آید. البته این کار باعث حذف حالت پله ای ۱۰ فاز نیز خواهد شد (اسکانیو و همکاران، ۲۰۱۳؛ فابیانو و همکاران، ۲۰۱۴). شکل شماره ۲ فلوجارت پردازش اینترفرومتری تفاضلی را نشان می دهد.

اجرای این پروسه از طریق بازدید میدانی و مدل رقومی ارتفاعی صورت گرفت. آخرین مرحله از پروسه پردازش اینترفرومتری تفاضلی، تبدیل فاز مطلق به نقشه جابجایی و ژئوکد کردن آن است که بر اساس سطح بیضوی WGS84 سیستم تصویر متریک صورت گرفت. در نقشه های نهایی مربوط به جابجایی حاصل از پردازش اینترفرومتری تفاضلی، همیشه مقادیر مثبت به معنی کاهش فاصله سنجنده تا سطح زمین یا به عبارت دیگر بالآمدگی سطح زمین بوده و مقادیر منفی نیز به معنی عکس این عمل یا همان فروافتادگی سطح زمین در جهت دید ماهواره ۱۱ (LOS) تفسیر می شوند. شاخص اصلی تفسیر این قبیل نقشه ها تغییرات فاز بوده که در قالب تغییر ناگهانی در تن رنگی مشخص ظاهر خواهد شد. در همین راستا، مقادیر مثبت تغییرات فاز سیگنال راداری با تن رنگی قرمز و کاهش ارتفاع با تغییرات تدریجی تن رنگی آبی نشان داده می شوند (راهنمای تکنیک اینترفرومتری-آژانس فضائی اروپا، 2007).

با توجه به اینکه هیچ گونه اندازه گیری مستقیم از میزان جابجایی سطوح گسیخته شده در منطقه مورد مطالعه موجود نبود، لذا ارزیابی دقت نتایج تحقیق حاضر از طریق بازدید میدانی و هم پوشانی نتایج با برنامه Google Earth صورت گرفت شکل شماره ۳ نمایش پوشش تصاویر ENVISAT تهیه شده با هدف تداخل سنجی را نشان می دهد.

<sup>۱</sup> Master

<sup>۲</sup> Slave

<sup>۳</sup> complex conjugate

<sup>۴</sup> Coherence map

<sup>۵</sup> Phase Unwrapping

<sup>۶</sup> Delaunay Minimum Cost Flow

<sup>۷</sup> Refinement

<sup>۸</sup> Re-flattening

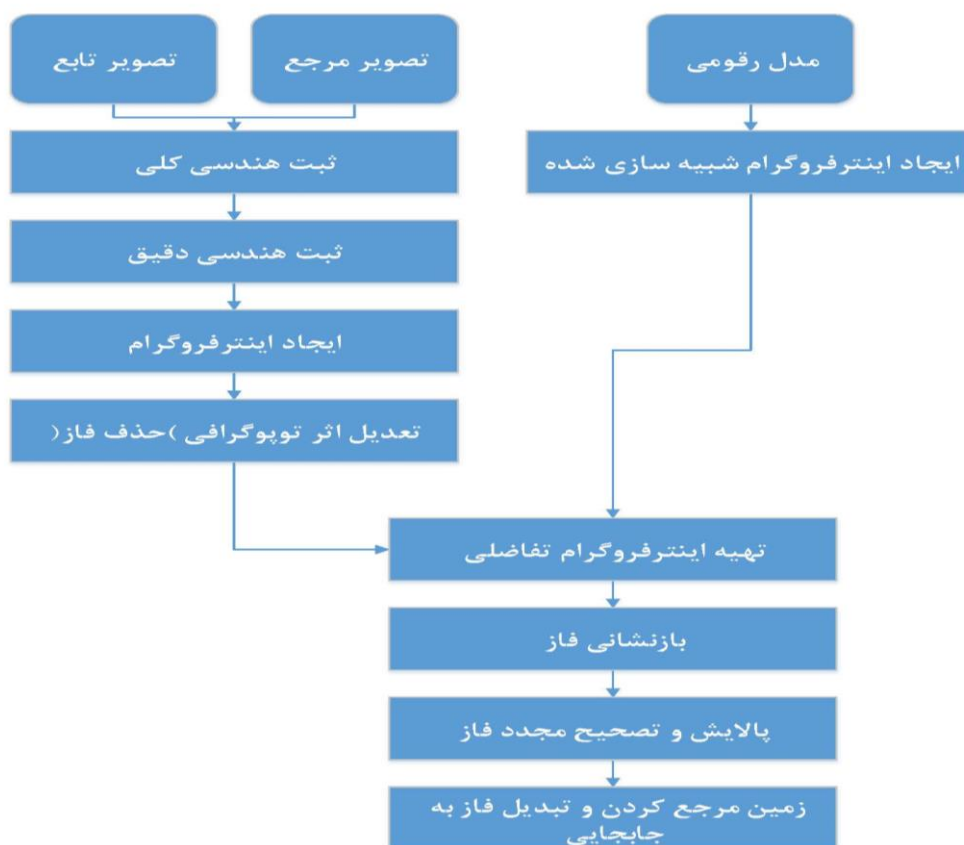
<sup>۹</sup> Offset

<sup>۱۰</sup> Ramp

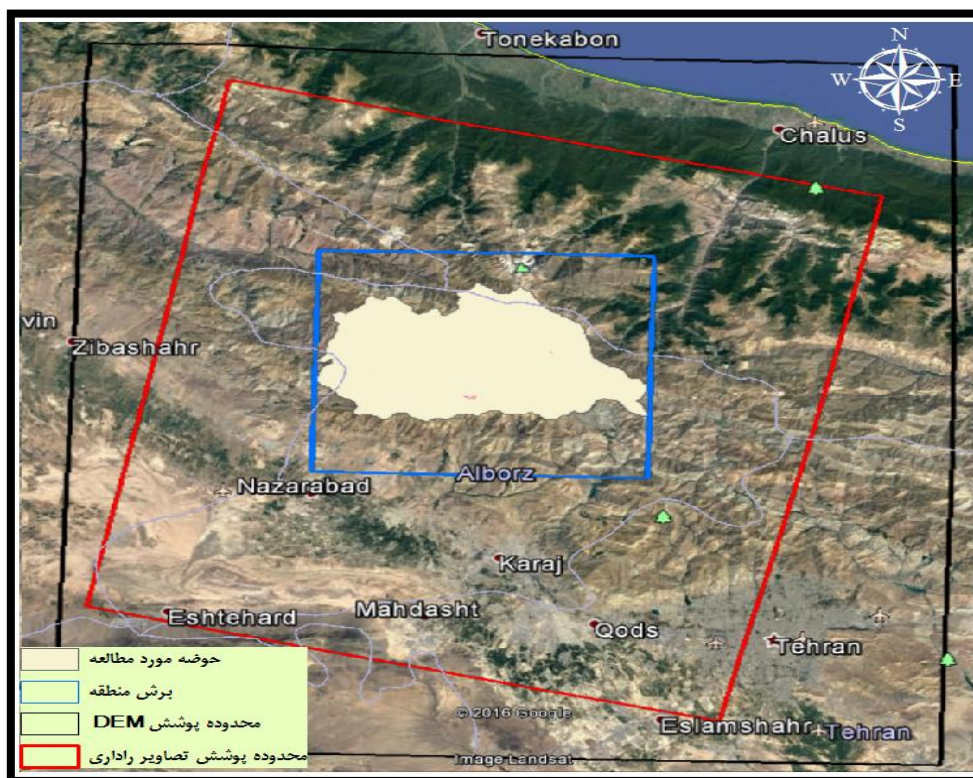
<sup>۱۱</sup> Line Of Sight

جدول شماره ۱: مشخصات تصاویر راداری سفارش داده شده به منظور پایش شیب حوضه طالقان

متوسط همدوسی	خط مبنای زمانی (روز)	خط مبنای بحرانی (متر)	خط مبنای عمودی (متر)	زوج تصویر راداری	تصویر فرعی	تصویر اصلی	سنجنده
۰/۲۷	۳۵	۲۴۳	۲۴۱/۴۵	A	۲۰۰۳۰۸۲۲	۲۰۰۳۰۷۱۸	ASAR
۰/۳۳	۴۲	۲۴۳	۲۳۲/۱۷	B	۲۰۰۴۰۳۱۹	۲۰۰۴۰۱۰۹	
۰/۲۵	۱۷۲	۲۴۳	۱۷۵/۵۴	C	۲۰۰۴۱۱۱۹	۲۰۰۴۰۵۲۸	
۰/۴۲	۲۲۰	۲۴۳	۱۴۵/۱۷	D	۲۰۰۵۰۵۱۳	۲۰۰۴۱۲۲۴	
۰/۲۹	۷۳	۲۴۳	۲۲۲/۰۲	E	۲۰۰۶۰۴۳۰	۲۰۰۶۰۲۱۹	
۰/۳۵	۵۳	۲۴۳	۲۱۱/۳۶	F	۲۰۰۸۰۷۱۱	۲۰۰۸۰۵۲۰	
۰/۳۸	۳۴	۲۴۳	۲۵۵/۲۵	G	۲۰۰۸۰۹۱۹	۲۰۰۸۰۸۱۵	
۰/۴۴	۱۱۸	۲۴۳	۲۰۱/۳۳	H	۲۰۰۹۰۲۰۸	۲۰۰۸۱۰۲۴	
۰/۳۹	۲۴۳	۲۴۳	۱۱۱/۲۳	I	۲۰۰۹۱۲۰۱	۲۰۰۹۰۳۳۱	



شکل شماره ۲: فلوجارت پردازش اینترفرومتری تفاضلی



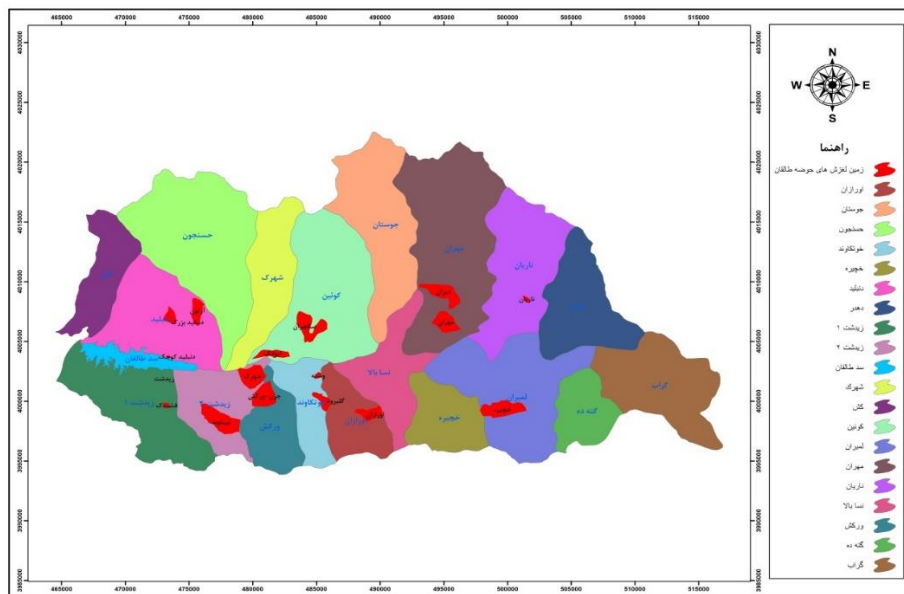
شکل شماره ۳: نمایش پوشش تصاویر ENVISAT تهیه شده با هدف تداخل سنجی بر روی تصویری از شمال ایران

## نتایج

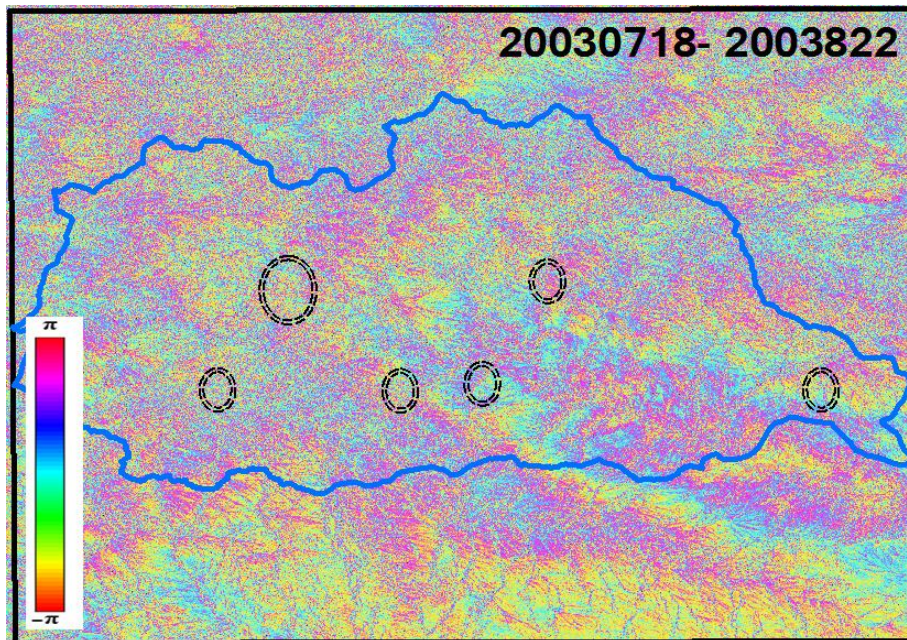
نتایج پردازش اینترفرومتری تفاضلی زوج تصاویر راداری (۱۸ جولای ۲۰۰۳ تا ۳۱ مارس ۲۰۰۹) که مطابق با ۲۷ تیر ماه ۱۳۸۲ تا ۱۱ فروردین ۱۳۸۷ هجری شمسی بوده در قالب توزیع مکانی مناطق لغزش همراه با مقادیر جابه جایی صورت گرفته در سطح آن در شکل شماره ۴ و ۶ نشان داده شده است. مطابق اطلاعات موجود در این پژوهش در مجموع ۱۷ توده لغزش در حوضه آبریز طالقان با بازدیدهای میدانی انتخاب گردید، سپس میزان ناپایداری این توده ها با استفاده از تصاویر SAR سنجنده ASAR در یک بازه زمانی از سال ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۹ مورد پردازش و تحلیل قرار گرفت. شکل شماره ۵ یک نمونه از تصاویر تداخل سنج با کیفیت مناسب، تولید شده در پردازش نهایی را به همراه بخشی از پهنه های لغزشی نشان می دهد. جدول مشخصات زمین لغزش های انتخابی در زیر آورده شده است. شایان ذکر است اکثر زمین لغزش های شناسایی شده در این بازه زمانی در مجاورت روستاهای مسکونی و با شبکه رودخانه ای قرار داشته و توزیع مکانی آنها نشان می دهد که قسمت عمده مناطق شناسایی شده منطبق با زمین لغزش های قبلی است به عبارت دیگر، برخی زمین لغزش های قدیمی در منطقه همچنان فعال هستند. در بین این توده های لغزشی، پهنه لغزشی زیدشت با ۷/۲۰ کیلومتر کوچکترین پهنه لغزشی در شیب شرقی حوضه و پهنه لغزشی میناوند با ۴۲۰۶ کیلومتر در شیب غربی حوضه قرار گرفته اند (شکل شماره ۴). یکی از نکات بارز توده های لغزشی انتخابی مجاورت با مناطق مسکونی مستقر در حوضه می باشد جدول شماره ۲ مشخصات این توده های لغزشی را نشان می دهد بیشترین مقدار جابجایی صورت گرفته در سطح توده های لغزشی مرکب بوده بطوریکه بیشترین مقدار فروفتگی در سطح آن در توده لغزش میناوند به میزان ۲,۵ سانتی متر محاسبه شده است سایر مناطق ناپایدار بصورت نامنظم در قسمت های شمال و جنوب حوضه طالقان گسترش یافته است نکته قابل توجه این است که بیشترین مقدار جابجایی محاسبه شده منطبق با انباشتگی مواد در پای



دامنه‌ها و داخل بستر رودخانه هاست که می‌توان آنها را به ترتیب در قالب لغزش واریزه ای<sup>۱</sup> و جریانات واریزه ای<sup>۲</sup> قرار داد.



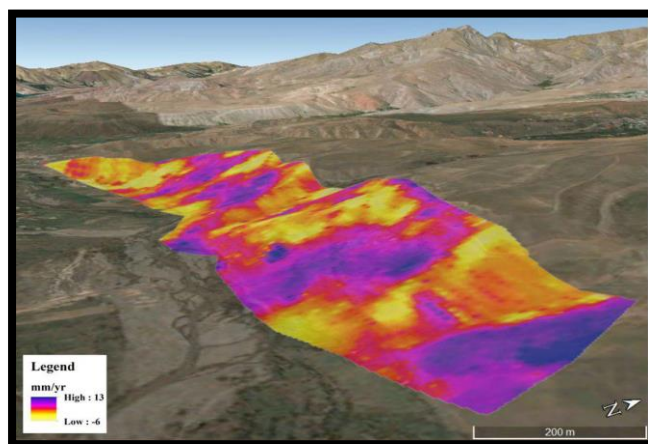
شکل شماره ۴: پراکنش زمین لغزش های حوضه آبریز طالقان



شکل شماره ۵: یک نمونه از تصاویر تداخل سنج با کیفیت مناسب، تولید شده در پردازش نهایی منطقه خط چین محدوده پهنه لغزشی در حوضه طالقان

۱. Debris slide

۲. Debris flow



شکل شماره ۶: میزان نرخ جابجایی در سطح حوضه طالقان برای تمامی پهنه های لغزشی

همانطور که در شکل های فوق مشخص است، پیکسل های شناسایی شده در منطقه مورد بررسی از طریق روش های درون یابی زمین آمار مشخص شده اند. با پردازش روی این تصاویر می توان به شناسایی حرکات پایین رفتگی و با بالا آمدگی تحت اثر عواملی همچون زمین لغزش، فروزشست زمین و یا فعالیت های تکنونیک زمین اشاره کرد که پیکسل های موجود با مقادیر منفی حاکی از حرکات آنها به سمت پایین در راستای دید ماهواره و پیکسل های با مقادیر مثبت نشانگر یک حرکت به سمت بالا در راستای دید ماهواره هستند (شکل شماره ۶).

جدول شماره ۲: مشخصات توده های لغزشی در حوضه آبریز طالقان-منبع: محاسبات نگارنده

ردیف	پهنه لغزشی	مساحت (کیلومتر)	طبقه مستقر شیب	جهت شیب	میزان جابه جایی (سانتی متر)	نوع لغزش
۱	زیدشت	۷/۲۰	۲۰-۱۰°	شرق	۱/۵	چرخشی
۲	دنبلید کوچک	۵۴/۳۰	۲۰-۱۰°	جنوب	۱	چرخشی
۳	ناریان	۱۹۶/۲۷	۴۰-۲۰°	شمال	۱/۸	بلوکی
۴	وشته	۲۱۴/۱۶	۲۰-۱۰°	غرب	۱/۲	چرخشی
۵	فشندک	۲۱۶/۱۷	۲۰-۱۰°	شمالغربی	۱/۷	چرخشی
۶	دنبلید بزرگ	۸۵۲/۵۰	۲۰-۱۰°	جنوبغربی	۱	چرخشی
۷	گلیرود	۱۱۰۱/۷۰	۲۰-۱۰°	شمالغربی	۱/۴	چرخشی
۸	ایوانکی	۱۳۹۸/۰۳	۴۰-۲۰°	جنوب	۱/۴	چرخشی
۹	آرتون	۱۵۲۵/۵۰	۲۰-۱۰°	جنوب	۱/۲	واریزه ای
۱۰	اورازان	۱۵۷۱/۸۹	۲۰-۱۰°	غرب	۱	واریزه ای
۱۱	مهران	۲۴۳۵/۸۹	۴۰-۲۰°	شمالغرب	۲/۱	مرکب
۱۲	جزن ورکش	۲۸۷۴/۶۹	۲۰-۱۰°	شمال شرق	۱/۷	چرخشی
۱۳	شهرک	۲۹۷۸/۴۱	۲۰-۱۰°	شمالغرب	۲/۳	مرکب
۱۴	دیزان	۳۱۲۱/۹۸	۲۰-۱۰°	شرق	۱	واریزه ای
۱۵	سکچران	۳۲۵۵/۶۲	۲۰-۱۰°	غرب	۱	چرخشی
۱۶	خچیره	۳۵۸۰/۲۹	۴۰-۲۰°	شمالشرق	۱/۴	واریزه ای
۱۷	میناوند	۴۲۰۶/۳۷	۲۰-۱۰°	غرب	۲/۵	مرکب

توزیع مکانی زمین لغزش‌های شناسایی شده نشان می‌دهد قسمت عمده این لغزش‌ها در شیب‌های غربی و جنوب غربی گسترش یافته‌اند بازدیدهای میدانی نشان داد که اکثر آن‌ها منطبق با مناطق لغزشی قدیمی هستند و جابه‌جایی‌های صورت گرفته در سطح این لغزش‌ها دلالت بر فعال بودن آن‌ها دارد با توجه به این امر که تمامی پهنه‌های لغزشی انتخابی در کنار مناطق مسکونی قرار دارند پایداری و تثبیت توده لغزشی امری لازم می‌باشد تا از خطرات احتمالی جلوگیری شود.

یکی از مهمترین توده‌های لغزشی که میزان جابجایی برابر با  $\frac{2}{3}$  سانتی متر داشته زمین لغزش شهرک می‌باشد که با توجه به کاربری‌های مختلفی که داخل شهرک طالقان قرار دارد اعم از مسکونی، تجاری، آموزشی و بهداشتی حائز اهمیت می‌باشد با پردازش تصاویر راداری مشخص گردید این زمین لغزش در منطقه عمر طولانی نداشته و فعالیت آن با صحبت با اهالی منطقه از حدود ۸ سال پیش شدت گرفته است، در محدوده مورد بررسی مصالح در گیر عمدتاً ریزدانه هستند مصالحی که در متن توده لغزشی قرار گرفته‌اند شامل مصالح سیلت و رس همراه با شن می‌باشد و ضمانت آن‌ها بین ۵ تا ۲۰ متر در نقاط مختلف توده تغییر می‌کند، سنگ بستر در زیر این رسوبات تناوبی از گل سنگ‌ها و ماسه سنگ‌ها می‌باشد در توده لغزشی مورد مطالعه لغزشهای فرعی متعددی صورت گرفته است که لغزش‌های فرعی با توجه به خصوصیات آنها، مصالح درگیر، عمق لغزش و موارد دیگر از نوع لغزشهای چرخشی هستند.

مهمترین عوامل ایجاد این زمین لغزش شیب دامنه، جنس مصالح، تاثیر آبهای سطحی و زیرزمینی، ساختارهای زمین شناسی، فرسایش رودخانه‌ای در پنجه آن، نوسانات لرزه‌ای مصنوعی و آبیاری باغات موجود که سبب افزایش رطوبت خاک شده است، هستند بنابراین با توجه به پردازش تصاویر و بازدیدهای میدانی می‌توان نتیجه گرفت زمین لغزش شهرک یک زمین لغزش مرکب است که در آن لغزش‌هایی با مکانیسم چرخشی و انتقالی رخ داده است. یکی دیگر از مهمترین توده‌های لغزشی، زمین لغزش زیدشت می‌باشد که با توجه به وسعت کم اما به دلیل قرار گیری در بالا دست روستای زیدشت و نزدیکی به سد طالقان از طرف اداره منابع طبیعی استان تهران در سال ۱۳۸۸ تحت مطالعه قرار گرفت پس از آنگیزی سد طالقان و قرار گرفتن بخشی از جاده ارتباطی زیاران، شهرک طالقان زیر آب، تراز ارتفاعی جاده تغییر داده شده است و مسیر جدید جاده از داخل توده زمین لغزشی زیدشت عبور کرده است تغییرات ایجاد شده در وضعیت محدوده باعث بروز لغزش‌هایی گردیده است و ترک‌های کشتی زیادی روی توده خاک به وجود آورده است این تغییرات خطرات زیادی را در پیش داشته و امنیت منطقه و تاسیسات زیر بنایی و سد طالقان را به خطر انداخته است.

بزرگترین پهنه لغزشی، زمین لغزش میناوند یا پمپ بنزین می‌باشد و تمامی انواع ناپایداری‌ها اعم از خزش، ریزش، لغزش، سولی فولکسیون و بهمین بر روی این پهنه قابل مشاهده می‌باشد با توجه به اینکه رسوبات حاصل از آنگیزی رودخانه‌های سد طالقان در پایین دست به این دامنه می‌رسد و همچنین برفگیر بودن و شیب دار بودن دامنه باعث جابجایی واریزه‌ها بر روی دامنه می‌شود و پردازش تصاویر راداری و کالیبره کردن با منطقه به این نتیجه رسیدیم که در حواشی پمپ بنزین که در محدوده روستای میناوند واقع شده است سطح زمین و کناره‌های جاده دچار کج شدگی و برگشت حاشیه‌های جاده شده است که اگر این پهنه کنترل نشود در بازه‌های زمانی مختلف خسارات زیادی را به منطقه تحمیل می‌کند توزیع مکانی زمین لغزشهای شناسایی شده حاصل از پردازش زوج تصاویر راداری و بررسی آنها نشان دهنده این امر است که بیشترین میزان جابجایی‌ها بین سالهای ۲۰۰۴ الی ۲۰۰۸ میلادی رخ داده است و مقایسه تصاویر راداری نشان می‌دهد هر چند در زمان‌های قبلی این توده‌ها لغزشی در نیمه شرقی و مناطق بالادست دامنه‌ها و رودخانه بوده در حال حاضر می‌باشند در جهت‌های غربی مستقر شده‌اند و برخی از زمین لغزش‌ها که در دوره‌های قبلی فعال بودند، در این دوره تغییراتی در سطح آنها مشاهده نگردیده و میزان جابجایی‌های مشاهده شده در مقیاسه با زمانهای قبل کمتر است نکته قابل ذکر در این دوره، آنومالی‌های مشاهده شده در دامنه‌های مشرف به محل احداث سد طالقان بوده که در نتایج حاصله به صورت مناطق ناپایدار به نظر می‌رسیدند در حالیکه کنترل صحرایی این مناطق نشان داد که تغییرات فاز شناسایی شده

در این قسمت ها به خاطر دستکاری هایی بوده که در جریان احداث راه های دسترسی و احداث سد بر سطح دامنه ها و حفاریها و بارگذاریهای غیر مجاز بر روی سطوح دامنه های حوضه تحمیل شده است و ناپایداری آنها را باگسیختگی ناشی از وقوع زمین لغزش ها اشتباه گرفت .

با این وجود، یک قسمت از تغییرات فاز مشاهده شده در این ناحیه مربوط به توده های لغزشی فوق الذکر می باشد که مشخص گردید فعلاً در حال حاضر از بین این توده های لغزشی انتخابی، توده لغزشی میناوند و مهران جز فعالترین و خطرناکترین توده های لغزشی محسوب می شود که لازم است با انجام مطالعات مهندسی تحلیل پایداری بر روی این دامنه ها صورت بگیرد .

### بحث و نتیجه گیری

در تحقیق حاضر از روش پردازش اینترفرومتری تفاضلی (DIn SAR) جهت شناسایی مناطق ناپایدار دامنه ای و محاسبه میزان جابجایی در حوضه آبریز طالقان استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که برخی دامنه های حوضه آبریز طالقان همچنان ناپایدار بوده و انطباق موقعیت مکانی زمین لغزش های شناسایی با برخی مناطق لغزشی قدیمی بیانگر فعالی بودن پهنه های لغزشی پیشین منطقه است. از نظر توزیع مکانی، مناطق لغزشی شناسایی شده عمدتاً در مجاورت شبکه زهکشی و مناطق مسکونی حوضه قرار داشته و این امر ضمن اشاره به تأثیر شبکه زهکشی در وقوع ناپایداری دامنه ای، در ارتباط با جابجایی و انتقال مواد گسیخته شده به داخل شبکه هیدروگرافی و افزایش بار رسوبی رودخانه نیز حائز اهمیت است و نزدیکی به مناطق مسکونی و گسترش راه های ارتباطی یکی از عوامل وقوع ناپایداری می باشد. یافته های این تحقیق از طریق مشاهدات صحرائی و تعیین موقعیت مکانی توده لغزشی از طریق پردازش تصاویر راداری مورد ارزیابی گرفته است. نتایج کار نشان داد که همه سطوح لغزشی با دقت بالائی آشکارسازی شده است. بنابراین می توان اذعان داشت که روش پردازش اینترفرومتری تفاضلی راداری (DInSAR) روشی کارآمدی در شناسایی زمین لغزشی ها می باشد. داده های دورسنجی میکروویو به دلیل پوشش وسیع تصاویر ماهواره ای، به هنگام بودن آنها در کنار پایین بودن نسبی هزینه تهیه آنها نسبت به سایر روش های سنتی و رایج در تهیه نقشه زمین لغزش ها مانند: تفسیر استریوئی عکس های هوایی، تاکنومتری، ترازبایی، فتوگرامتری برد کوتاه ارجحیت داشته و استفاده از این فناوری مخصوصاً برای مناطق وسیع و صعب العبور کوهستانی جایگزین مناسبی در مقایسه با روش های کلاسیک یادشده خواهد بود.

در بین این توده های لغزشی، پهنه لغزشی زیدشت با  $7/20$  کیلومتر کوچکترین پهنه لغزشی در شیب شرقی حوضه و پهنه لغزشی میناوند با  $4206$  کیلومتر در شیب غربی حوضه قرار گرفته اند. بیشترین مقدار جابجایی صورت گرفته در سطح توده های لغزشی مرکب بوده بطوریکه بیشترین مقدار فروفتگی در سطح آن در توده لغزش میناوند به میزان  $2.5$  سانتی متر محاسبه شده است سایر مناطق ناپایدار بصورت نامنظم در قسمت های شمال و جنوب حوضه طالقان گسترش یافته است نکته قابل توجه این است که بیشترین مقدار جابجایی محاسبه شده منطبق با انباشتگی مواد در پای دامنه ها و داخل بستر رودخانه هاست که می توان آنها را به ترتیب در قالب لغزش واریزه ای و جریانات واریزه ای قرار داد. توزیع مکانی زمین لغزش های شناسایی شده نشان می دهد قسمت عمده این لغزش ها در شیب های غربی و جنوب غربی گسترش یافته اند بازدیدهای میدانی نشان داد که اکثر آن ها منطبق با مناطق لغزشی قدیمی هستند و جابه جایی های صورت گرفته در سطح این لغزش ها دلالت بر فعال بودن آن ها دارد در حال حاضر از بین این توده های لغزشی انتخابی، توده لغزشی میناوند و مهران جز فعالترین و خطرناکترین توده های لغزشی محسوب می شود که لازم است با انجام مطالعات مهندسی تحلیل پایداری بر روی این دامنه ها صورت بگیرد. از آنجائی که تحقیق حاضر بر پایه پردازش اینترفرومتری تفاضلی زوج تصاویر راداری در بازه زمانی  $2003$  الی  $2009$  صورت گرفته است بدیهی است که تنها امکان شناسایی زمین لغزش های فعال موجود در این بازه زمانی یادشده مقدور بوده و بنابراین لازم است جهت آشکارسازی زمین لغزش های قدیمی تر از تصاویری متناسب با تاریخ وقوع آنها استفاده گردد.

## منابع

- Akbari mehr, M., M. Motagh, M.A. Sharifi, N. Khavaninzadeh, 2012, Evaluation of landslide creep in Gougerd slope, northwestern Azerbaijan, using Differential SAR Interferometry and GPS observation, *Science and Techniques of Surveying, Volum2. Tehran, Iran. (In Farsi)*
- Akhondzadeh, M., 2005, Visualization of land subsidence from petroleum extraction by SAR technique, *Geomatic Congress, Tehran, Iran (In Farsi)*
- Brardinoni, F., O. Slaymaker, M.A. Hassan, 2003. Landslide inventory in a rugged forested watershed: a comparison between air-photo and field survey data. *Geomorphology 54, 179–196*
- Dehghani, M., M.J., Valadanzoj, B. Parsons, T. Weight, 2006, land subsidence evaluation of north-western part of Mashhad by INSAR technique, 26th Iranian's Geology Cong. (In Farsi)
- Djamour, Y. et al. 2008, Monitoring of the large slow Kahrod landslide in Alborz mountain range (Iran) by Gps and SAR Interferometry, *www.science direct.com Journal of Engineering Geology*.
- Gabriel, A.K., R.M. Goldstein, H.A. Zebker, 1989. Mapping small elevation changes over large areas: differential radar interferometry. *J. Geophys. Res. 94, 9183-9191.*
- Gozalpour, B., M. Motagh and M. Momeni, 2010, The application of InSAR technique for investigating mass movement in Semrom, Southeast Iran, *American Geophysical Union, Fall Meeting 2010, abstract #NH23A-1425*
- Guzzetti, F., 2000, Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy, *Engineering Geology, 58(2):89-107*
- 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 T.Geosci. Remote, 45, 1671–1680*
- <http://earth-ndrmp.moi.ir/projects-geotechnic-fa.html>.
- <http://www.landinfo.com/index.htm>.
- <http://www.landslidecentre.org>
- Khavaninzadeh, N., 2011, Using RADAR Interferometry for landslide studying, MSc thesis, technical Faculty, Tehran University, Iran (In Farsi)
- Khavaninzadeh, N., M. Motagh, M. Sharifi and S. Alipur, 2010, C-band and L-band InSAR for recognition and monitoring of landslides in Taleghan, Central Iran, *American Geophysical Union, Fall Meeting 2010, abstract #NH23A-1424*
- Koji Sasa, P., 2014. Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran. *Catena 97, 71–84.*
- Landslide Database of Iran, 2013, Landslide reports archive in department of Natural Resources and Watershed Management in East Azerbaijan, Tabriz, Iran (In Farsi)
- Massonnet A. and G. Feigl, 1998, Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface, *Reviews of Geophysics 36 (4) (1998), pp. 441–500.*
- Rostaei, Sh. M. Rostaei, M. A. Sharifikia and J. Yarahmadi, 2013, Application of Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry (D-InSAR) for detection and monitoring of landslides, *Journal of Watershed Engineering and Management, Volume 5, Issue 3, 2013, Pages 190-198 (In Farsi)*
- SARscape user guide, 2010, [www.itvis.com](http://www.itvis.com)
- Wang, G., Sassa, K., 2003. Pore-pressure generation and movement of rainfall-induced landslides: effects of grain size and fine-particle content. *Engineering Geology, 69: 109-125.*