

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک

ارزیابی پایداری (خطر ریزش) شیروانی های خاکی و سنگی با

استفاده از سنجش از دور

نگارنده:

مجید مهرآبادی

استاد راهنما:

دکتر محسن کرامتی

دکتر سعید قره چلو

مهر ۱۴۰۰

شماره: ۵۷۱ / ۴۰۰

تاریخ: ۱۴۰۲/۰۹/۲۸

ویرایش:

باسمه تعالی

فرمهای ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد مربوط
به ورودی های ۹۴ به بعد



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای مجید مهرآبادی با شماره دانشجویی ۹۶۱۴۵۷۴ رشته مهندسی عمران گرایش ژئوتکنیک تحت عنوان ارزیابی پایداری (خطر ریزش) شروانی های خاکی و سنگی با استفاده از سنجش از دور که در تاریخ ۱۴۰۰/۷/۲۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار شد به شرح ذیل اعلام می گردد:

☒ الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰ ☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۷/۹۹			
☐ ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۷/۹۹ ☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۴-۱۵/۹۹			
☐ ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد			
نوع تحقیق: ☒ نظری ☐ عملی			

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر محسن کرامتی	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر سعید قره چلو	استادیار	
۳- استاد مشاور			
۴- استاد داور اول	دکتر امیر بذرافشان مقدم	استادیار	
۵- استاد داور دوم	دکتر رمضان واقعی	استادیار	
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر ابراهیم زمانی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آن‌ها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی‌ام بوده‌اند، دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند. حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان.

به پاس قلب‌های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهِشان به شجاعت می‌گراید و به پاس محبت‌های بی‌دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند.

تشکر و قدردانی:

در اینجا بر خود لازم می‌دانم از تلاش و زحمات بی‌دریغ و راهنمایی‌های ارزنده اساتید گرانقدر و دل‌سوزم، جناب آقای دکتر محسن کرامتی و آقای دکتر سعید قره‌چلو، در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه صمیمانه تقدیر و تشکر نمایم. همچنین از دوستانم آقایان مصطفی عنابستانی و اسماعیل کشاورز صالح که ایام خوشی را در کنار هم سپری کردیم و مرا در اتمام این پروژه همراهی کردند تقدیر و تشکر می‌نمایم.

تعهدنامه

اینجانب مجید مهرآبادی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ارزیابی پایداری (خطر ریزش) شیروانی های خاکی و سنگی با استفاده از سنجش از دور تحت راهنمایی دکتر محسن کرامتی و دکتر سعید قره چلو متعهد می شوم

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

زمین لغزش به علت ماهیت خطرناکی که دارد، سریعاً به ساختار مناطق مستعد لغزش تأثیر می‌گذارد و خسارت‌های عمده به زیرساخت‌ها، ساختمان‌ها، راه‌ها و ... وارد می‌کند. در این پژوهش به بررسی زمین لغزش و پایداری شیروانی‌ها محدود روستای حسین آباد کالپوش از توابع شهرستان میامی در استان سمنان پرداخته شده است.

در این مطالعه از تصاویر ماهواره سنتینل-۱، با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری، به منظور ارزیابی و شناسایی مناطق مستعد ریزش بهره گرفته شده است. در مرحله بعد نتایج در محیط GIS مورد تحلیل قرار گرفتند. در نهایت برای صحت سنجی نتایج حاصل شده، شناسایی‌های زیرسطحی انجام شده است. نتایج تداخل سنجی داده‌های راداری سنتینل-۱ با تکنیک DInSAR در بازه زمانی ۱۲ روز، بیانگر جابجایی‌های حدود ۷ سانتی متر در شیب‌های شمالی و شمال غربی، حدود ۳ تا ۴ سانتی متر در شیب‌های غربی و ۱ تا ۳ سانتی متر در شیب‌های شرقی و شمال شرقی بوده است. در محدوده جاده‌های ارتباطی روستا نیز تغییر مکان‌هایی در حدود ۳ سانتی متر مشاهده شده است. همچنین شناسایی‌های زیرسطحی بیانگر خاک از نوع رس با حد خمیری پایین بود که عدد SPT پایینی داشته است. به علت حضور آب زیرسطحی، بارش فراوان و عدم تسلیح خاک توسط ریشه درختان، خاک به صورت اشباع درآمده است و با افزایش خاصیت رمبندگی، مقاومت برشی خود را از دست داده و روان شده است.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، شیروانی خاکی، حسین آباد کالپوش، سنتینل-۱، شناسایی

زیرسطحی، DInSAR

فهرست مطالب

۱	فصل ۱: کلیات
۲	۱-۱- مقدمه.....
۲	۲-۱- بیان مساله و اهمیت موضوع.....
۵	۳-۱- ضرورت انجام تحقیق.....
۶	۴-۱- اهداف تحقیق.....
۶	۵-۱- نوآوری تحقیق.....
۷	۶-۱- روش انجام تحقیق.....
۷	۷-۱- ساختار پایان نامه.....
۹	فصل ۲: مروری بر منابع
۱۰	۱-۲- مقدمه.....
۱۰	۲-۲- ناپایداری های زمین.....
۱۰	۱-۲-۲- زمین لغزش.....
۱۲	۲-۲-۲- انواع زمین لغزش های دامنه ای.....
۱۵	۳-۲-۲- عوامل مؤثر بر ایجاد زمین لغزش.....
۱۸	۴-۲-۲- انواع زمین لغزش ها براساس نوع حرکت.....
۲۳	۵-۲-۲- خزش.....
۲۳	۶-۲-۲- روش های تثبیت دامنه های مستعد در برابر لغزش.....
۲۴	۷-۲-۲- فرونشست.....
۲۵	۸-۲-۲- عوامل ایجاد فرونشست.....
۲۹	۹-۲-۲- آسیب های ناشی از فرونشست.....
۲۹	۱۰-۲-۲- شیروانی های خاکی.....
۳۱	۱۱-۲-۲- گسل.....
۳۲	۳-۲- سنجش از دور.....
۳۲	۴-۲- سنجش از دور راداری.....
۳۴	۲-۴-۲- انواع سنجنده.....
۳۴	۵-۲- مبانی InSAR.....
۳۶	۶-۲- مبانی DInSAR.....
۳۶	۷-۲- مروری بر ادبیات موضوع.....
۳۶	۱-۷-۲- مروری بر مطالعات گذشته در ایران.....
۴۰	۲-۷-۲- مروری بر مطالعات گذشته در سایر نقاط جهان.....
۴۷	۸-۲- جمع بندی.....
۴۹	فصل ۳: مواد و روش ها
۵۰	۱-۳- مقدمه.....

۵۰	۲-۳- منطقه مورد مطالعه.....
۵۲	۲-۲-۳- زمین‌شناسی منطقه.....
۵۴	۳-۲-۳- شرایط اقلیمی منطقه.....
۵۵	۴-۲-۳- پوشش گیاهی منطقه.....
۵۷	۳-۳- بحث‌ها و مطالعات ژئوتکنیکی.....
۵۸	۴-۳- ماهواره مورد استفاده برای بررسی پدیده زمین لغزش.....
۵۸	۱-۴-۳- Sentinel-1 ماهواره.....
۶۴	۵-۳- نرم افزار های مورد استفاده.....
۶۴	۱-۵-۳- PLAXIS نرم افزار.....
۶۵	۶-۳- مراحل انجام تحقیق.....
۶۷	فصل ۴: نتایج و بحث
۶۸	۱-۴- مقدمه.....
۶۸	۲-۴- پردازش DInSAR با استفاده از داده‌های Sentinel-1.....
۶۸	۱-۲-۴- انتخاب زوج تصویر SAR جهت انجام تداخل سنجی.....
۷۲	۲-۲-۴- ایجاد اینترفروگرام.....
۷۴	۳-۲-۴- حذف اثر فاز توپوگرافی از اینترفروگرام.....
۷۵	۴-۲-۴- اعمال فیلترگذاری بر روی اینترفروگرام.....
۷۷	۵-۲-۴- تصحیح مقادیر فاز.....
۷۹	۶-۲-۴- تبدیل فاز به جابجایی.....
۸۵	۳-۴- بررسی همبستگی تکتونیکی با زمین لغزش.....
۸۷	۴-۴- تحلیل‌های GIS.....
۹۶	۵-۴- شناسایی‌های زیر سطحی.....
۱۰۱	۶-۴- پیش بینی خطرات احتمالی.....
۱۰۳	۷-۴- نتیجه گیری و بحث.....
۱۰۵	فصل ۵: جمع‌بندی نتایج و پیشنهادها
۱۰۶	۱-۵- مقدمه.....
۱۰۶	۲-۵- جمع بندی نتایج.....
۱۰۷	۳-۵- پیشنهادها.....
۱۰۸	۴-۵- محدودیت‌ها.....
۱۰۹	مراجع
۱۱۵	پیوست‌ها

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) رانش زمین در روستای حسین آباد، دشت کالپوش میامی، فروردین ۱۳۹۸..... ۵
- شکل (۱-۲) لغزش یک خیابان در منطقه زیباشهر گرگان..... ۱۱
- شکل (۲-۲) رانش زمین در ورودی شهرستان طالقان در استان البرز سال ۱۳۹۷..... ۱۲
- شکل (۳-۲) لغزش انتقالی، تصویر سمت چپ منطقه چیاپاس جنوب مکزیک و تصویر سمت راست
مخروط های آتشفشانی در مکزیک مرکزی..... ۱۳
- شکل (۴-۲) لغزش چرخی..... ۱۴
- شکل (۵-۲) لغزش در جاده الجبیه..... ۱۵
- شکل (۶-۲) شماتیک زاویه شیب و اثر آن بر میزان لغزش..... ۱۶
- شکل (۷-۲) هوازدگی سنگ..... ۱۷
- شکل (۸-۲) ریزش کوه در جاده یاسوج شیراز، بهمن ۱۳۹۵..... ۱۹
- شکل (۹-۲) بهمن سنگی در جاده چالوس، آبان ۱۳۹۷..... ۲۰
- شکل (۱۰-۲) شکست واژگونی در خروجی تونل انحراف آب سد مشمپای زنجان..... ۲۱
- شکل (۱۱-۲) خسارت روانه واریزه به شهر کارابالدا، در شمال ساحل ونزوئلا، در دسامبر ۱۹۹۹..... ۲۲
- شکل (۱۲-۲) شکاف بلند و پهنی که در پی فرونشست زمین در قسمت جنوبی دشت دامغان ایجاد شده
است..... ۲۵
- شکل (۱۳-۲) فرونشست همراه با معدن کاری زیرزمینی..... ۲۶
- شکل (۱۴-۲) فرونشست در اثر برداشت بیش از حد سیالات..... ۲۷
- شکل (۱۵-۲) فرونشست در اثر انحلال سنگ های آهکی..... ۲۸
- شکل (۱۶-۲) عکس میدانی از زمین لغزش از نوع بلند در منطقه هراز، استان مازندران..... ۳۰
- شکل (۱۷-۲) شیروانی خاکی جاده کیاسر..... ۳۰
- شکل (۱۸-۲) شماتیک گسل امتداد لغز..... ۳۱
- شکل (۱۹-۲) شماتیک گسل شیب لغز..... ۳۱
- شکل (۲۰-۲) عملکرد یک سیستم راداری..... ۳۳
- شکل (۲۱-۲) شماتیک تصویر برداری با استفاده از رادار دریاچه مصنوعی..... ۳۵
- شکل (۱-۳) موقعیت روستای حسین آباد کالپوش در استان سمنان، شهرستان میامی و کشور..... ۵۱
- شکل (۲-۳) محدوده روستای حسین آباد کالپوش..... ۵۱
- شکل (۳-۳) طبقه بندی خاک شهرستان میامی و روستای حسین آباد کالپوش..... ۵۳
- شکل (۴-۳) نقشه گسل های شهرستان میامی و روستای حسین آباد کالپوش..... ۵۴
- شکل (۵-۳) نقشه میزان بارندگی شهرستان میامی..... ۵۵
- شکل (۶-۳) نقشه پوشش گیاهی شهرستان میامی و روستای حسین آباد کالپوش..... ۵۷
- شکل (۷-۳) چهار حالت تصویربرداری سنجنده Sentinel-1..... ۶۰
- شکل (۸-۳) ماهواره Sentinel-1..... ۶۱

شکل (۳-۹) تصویر خام ماهواره Sentinel-1 به تاریخ ۲۰۱۹/۰۳/۳۰.....	۶۳
شکل (۳-۱۰) فلوچارت تحقیق.....	۶۶
شکل (۴-۱) شکل شماتیک محیط نرم افزار Snap برای چسباندن تصاویر.....	۷۰
شکل (۴-۲) نمایش اطلاعات دو تصویر Sentinel-1 در نرم افزار.....	۷۱
شکل (۴-۳) فلوچارت تهیه اینترفروگرام از جفت تصویر Sentinel-1.....	۷۳
شکل (۴-۴) تصویر فاز بعد از انجام تکنیک اینترفرومتری.....	۷۳
شکل (۴-۵) تصویر همدوسی بعد از انجام تکنیک اینترفرومتری.....	۷۴
شکل (۴-۶) فلوچارت اینترفروگرام تفاضلی.....	۷۶
شکل (۴-۷) خروجی فاز تداخل سنجی پس از اعمال فیلترها.....	۷۷
شکل (۴-۸) مراحل تصحیح فاز توسط نرم افزار SNAP.....	۷۸
شکل (۴-۹) مراحل تصحیح فاز توسط نرم افزار SNAP.....	۷۸
شکل (۴-۱۰) مراحل تبدیل فاز به جابجایی در نرم افزار SNAP.....	۷۹
شکل (۴-۱۱) مراحل تبدیل فاز به جابجایی در نرم افزار SNAP.....	۸۰
شکل (۴-۱۲) زمین مرجع کردن در نرم افزار SNAP.....	۸۰
شکل (۴-۱۳) زمین مرجع کردن در نرم افزار SNAP.....	۸۱
شکل (۴-۱۴) تصویر زمین مرجع شده جابجایی منطقه.....	۸۲
شکل (۴-۱۵) میزان تغییرات ارتفاعی زوج تصویر از ماهواره Sentinel-1.....	۸۳
شکل (۴-۱۶) تصویر گوگل ارث منطقه کالپوش.....	۸۴
شکل (۴-۱۷) تصویر سه بعدی منطقه کالپوش برگرفته از گوگل ارث.....	۸۴
شکل (۴-۱۸) نقشه راهها در شهرستان میامی.....	۸۸
شکل (۴-۱۹) نقشه راهها در روستای حسین آباد کالپوش.....	۸۸
شکل (۴-۲۰) نقشه آبراهه شهرستان میامی.....	۹۰
شکل (۴-۲۱) نقشه آبراهه روستای حسین آباد کالپوش.....	۹۱
شکل (۴-۲۲) طبقات ارتفاعی نقاط مختلف شهرستان میامی.....	۹۲
شکل (۴-۲۳) طبقات ارتفاعی نقاط مختلف روستای کالپوش.....	۹۲
شکل (۴-۲۴) طبقات ارتفاعی نقاط مختلف شهرستان میامی.....	۹۳
شکل (۴-۲۵) طبقات ارتفاعی نقاط مختلف شهرستان میامی.....	۹۳
میزان جابجایی در نقاط ارتفاعی مختلف برحسب درصد مساحت لغزش به مساحت کل منطقه.....	۹۴
شکل (۴-۲۶).....	۹۴
شکل (۴-۲۷) جهات شیب روستای حسین آباد کالپوش و نواحی اطراف.....	۹۵
شکل (۴-۲۸) حضور جریانات زیرسطحی در خاک منطقه.....	۹۸
شکل (۴-۲۹) حضور جریانات زیرسطحی در خاک منطقه.....	۹۸
شکل (۴-۳۰) خروجی نرم افزار PLAXIS از شیروانی مدلسازی شده.....	۹۹
شکل (۴-۳۱) شیروانی مدلسازی شده در نرم افزار PLAXIS.....	۹۹

- شکل (۳۲-۴) میزان جابجایی نقاط نمونه برداری شده..... ۱۰۰
- شکل (۳۳-۴) نقاط گرفته شده از گوگل ارث..... ۱۰۰
- شکل (۳۴-۴) نقاط ترسیم شده روی شیروانی..... ۱۰۱
- شکل (۳۵-۴) زمین لغزش روستای حسین آباد کالپوش..... ۱۰۲
- شکل (۳۶-۴) زمین لغزش روستای حسین آباد کالپوش..... ۱۰۲

فهرست جداول

جدول (۱-۳) اطلاعات مربوط به ماهواره Sentinel-1.....	۵۹
جدول (۲-۳) چهار حالت تصویربرداری سنجنده Sentinel-1.....	۶۰
جدول (۳-۳) اطلاعات مربوط به تصاویر داندود شده از ماهواره Sentinel-1.....	۶۲
جدول (۱-۴) اطلاعات زوج تصویر Sentinel-1.....	۷۰
جدول (۲-۴) آمار بزرگی زمین لرزه‌های رخ داده بین ۲۰۱۸/۰۳/۲۱ تا ۲۰۱۹/۰۷/۱۶ که توسط مرکز لرزه نگاری کشوری ثبت شده‌اند.....	۸۶
جدول (۳-۴) میزان جابجایی در حاشیه راه‌ها برحسب درصد مساحت لغزش به مساحت کل منطقه.....	۸۹
میزان جابجایی در نقاط ارتفاعی مختلف برحسب درصد مساحت لغزش به مساحت کل منطقه.....	۹۴
جدول (۴-۴) میزان جابجایی در نقاط ارتفاعی مختلف برحسب درصد مساحت لغزش به مساحت کل منطقه.....	۹۴
جدول (۵-۴) لغزش زمین با توجه به جهت شیب‌ها برحسب درصد مساحت لغزش به مساحت کل منطقه.....	۹۵
جدول (۶-۴) مشخصات سنگ بستر.....	۹۷

فصل ۱:

کلیات

۱-۱- مقدمه

زمین لغزش از اساسی‌ترین خطرهای کوهستان‌ها به‌شمار می‌رود. برای ایجاد زمین لغزش عوامل زیادی تاثیرگذار هستند که پایداری دامنه را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند. یک نمونه از این حرکات زمین در ایران، زمین لغزش ناشی از زلزله در رودبار- منجیل است که تعداد زیادی از اهالی ساکن در منطقه را در زیرخاک مدفون کرد [۱]. هرساله شاهد لغزش زمین در بیشتر مناطق دنیا هستیم که بنابه منطقه، خسارات جانی و مالی متغیر است. بیشترین خطرهای مناطق کوهستانی که دارای شیب‌های نسبتاً تندی هستند، رخ می‌دهد. به‌طور کلی می‌توان به این موضوع اشاره کرد که با برنامه‌ریزی صحیح و شناسایی مناطق خطر، زمین لغزش پدیده‌ای مدیریت‌پذیر می‌باشد [۲]. لذا مهندسين عمران روش‌های گوناگونی برای پایدارسازی شیروانی‌ها پیشنهاد دادند که هرکدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی هستند. در این پژوهش بااستفاده از داده‌های ماهواره‌ای که کاربردهای وسیع در مطالعه و پایش تغییرات زمین دارند و دارای دقت بالایی هستند، مناطق مستعد خطر را پایش کرده و به تحلیل و بررسی این مناطق پرداخته شده است.

۱-۲- بیان مساله و اهمیت موضوع

جایجایی‌های سطحی زمین مانند زمین لغزش و فرونشست پدیده‌های طبیعی هستند که هرساله در تمام نقاط جهان رخ می‌دهند. این پدیده‌ها به‌صورت طبیعی و مصنوعی ایجاد می‌شوند. از عوامل ایجاد ایجاد آن‌ها می‌توان به وجود سطوح شیب‌دار، آب، زمین لرزه، انفجار، عملیات ساختمانی، ساختمان زمین شناسی و غیره اشاره کرد. کشور ایران جزو لرزه‌خیزترین نقاط جهان قرار دارد و عبور دو کمر بند زلزله از کشور ایران شهادی بر این ادعا می‌باشد که باعث وقوع هرچه بیشتر این پدیده‌ها می‌شود. چند نمونه از زمین لغزش‌های مهم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. در ایالات متحده، زمین لغزش باعث خسارت‌های اقتصادی سالانه یک تا دو میلیارد دلار و

کشته شدن حدود ۲۵ تا ۵۰ نفر می‌شود که این شمار از تعداد کشته شده‌ها در اثر زلزله نیز بیشتر برآورد شده است [۳]. لی و وانگ (۱۹۹۲)، شمار کشته‌شدگان ناشی از رویداد زمین لغزش را در یک دوره بین سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۹ به طور محافظه‌کارانه بیش از ۵۰۰۰ نفر تخمین زده است که این رقم نشان می‌دهد به‌طور میانگین در هر سال ۱۲۵ نفر در اثر زمین‌لغزش کشته شده‌اند؛ آن‌ها همچنین خسارت‌های اقتصادی را حدود ۵۰۰ میلیون دلار برآورد نموده‌اند [۴]. فاجعه‌بارترین زمین لغزش باعث از دست رفتن جان ۱۰۰۰۰۰ نفر شده است [۵]. در کشور ایران نیز از مهم‌ترین زمین لغزش‌ها می‌توان به زمین لغزش رودبار و منجیل در سال ۱۳۶۹ اشاره کرد. در این زلزله ۳۵ هزار نفر کشته و ۶۰ هزار نفر زخمی برجای گذاشت [۱].

هم‌اکنون به‌منظور شناسایی و کاهش پیامدهای ناشی از زمین لغزش نیاز به پایش بیشتری در این زمینه احساس می‌شود. گام اول شناسایی مناطق مستعد ریزش در سراسر کشور، با استفاده از اطلاعات ریزش‌های قدیمی می‌باشد. با علم به میزان زمین لغزش‌های رخ داده و همچنین شناسایی مناطق تحت تأثیر، نه تنها قادر به شناسایی میزان پیشرفت زمین لغزش در یک منطقه بوده و از پیشرفت آن جلوگیری می‌کنیم، بلکه می‌توان اطلاعات مناسبی از ویژگی‌های زمین شناسی منطقه به‌دست آورد. در گذشته برای شناسایی این مناطق فعالیت‌های میدانی انجام میشد که عمده‌تاً زمان‌بر، پرهزینه و در اکثر موارد از دقت مناسبی برخوردار نبود. در دهه‌های گذشته استفاده از ابزار GPS گسترده‌تر شده است. این تکنیک دارای مزایایی نظیر دقت بالای اندازه‌گیری است ولی مسائلی نظیر هزینه بالای اجرا، باعث شد این روش به‌صورت گسترده مورد استفاده قرار نگیرد [۶].

منطقه مطالعاتی در این پایان نامه دشت کالپوش واقعاً در روستای حسین آباد در استان سمنان می‌باشد که از مناطق سرسبز، توریستی و جنگلی این استان است که از مشکل زمین لغزش رنج می‌برد. در فروردین سال ۱۳۹۸ پس از بارندگی‌های فراوان، زمین لغزش بزرگی در منطقه رخ داد

که تعداد بسیار زیادی از منازل مسکونی تخریب کرد و خسارات فراوانی به زیربناهای این منطقه وارد نمود (شکل ۱-۱). برای رفع این مشکل مهندسان در تلاش هستند روستا را در منطقه دیگری بنا نمایند که مشکلات زمین شناسی نداشته باشد و خطری ساکنان این منطقه را تهدید نکند. بدین منظور در این پژوهش با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای راداری و تکنیک‌های مرتبط با آن که سرعت و دقت بسیار بالا، هزینه کم و توانایی فراهم نمودن مشاهدات گسترده و منظم را از سطح زمین دارند، به بررسی مناطق دارای جابجایی می‌پردازیم و مکان‌هایی که دارای جابجایی کمتری هستند را به عنوان مناطق مناسب انتخاب می‌کنیم.





شکل (۱-۱) رانش زمین در روستای حسین آباد، دشت کالیپوش میامی، فروردین ۱۳۹۸

۳-۱- ضرورت انجام تحقیق

زمین لغزش را می‌توان یکی از بلاهای طبیعی دانست که هر ساله باعث خسارات زیادی به مناطق مسکونی، زیرساخت‌ها، راه‌های ارتباطی و غیره می‌شود که عوامل طبیعی و انسانی در وقوع آن موثرند. عوامل متعددی چون عوامل زمینی، توپوگرافی، آب و هوایی، پوشش گیاهی و انسانی در وقوع حرکات توده‌ای موثرند. به‌طور کلی عواملی که موجب ناپایداری دامنه می‌شود، شامل عوامل مؤثر در افزایش تنش برشی و عوامل مؤثر در کاهش مقاومت برشی می‌باشد. وجود رس در کنار سایر شرایط مانند رطوبت و توپوگرافی و تحریکات حاصل از دست‌کاری مصنوعی باعث فعال شدن لغزش می‌شود [۷].

باتوجه به عدم سهولت دسترسی به بسیاری از مناطق کوهستانی، هزینه‌بر بودن و صرف زمان زیاد برای نمونه‌گیری، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای با دقت بالا، برای صرفه‌جویی در هزینه و وقت در شناسایی و پایش مناطق مستعد جابجایی و لغزش، در راستای تهیه نقشه‌های آتی مناطق خطر مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین در این پژوهش به بررسی و پایش لغزش منطقه کوهستانی

حسین آباد کالپوش در مجاورت سد کالپوش در شهرستان میامی استان سمنان با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای و زمینی پرداخته شده است و با استفاده از اطلاعات بدست آمده از این داده‌ها، مناطق دچار جابجایی را شناسایی نموده و نقشه‌های آن تهیه شده است.

۴-۱- اهداف تحقیق

اهداف این پژوهش را می‌توان بصورت زیر بیان نمود:

- بررسی و پایش زمین لغزش روستای حسین آباد کالپوش با استفاده از داده ماهواره راداری
- پهنه بندی سریع مناطق دچار لغزش و جابجایی با داده‌های ماهواره راداری و تهیه نقشه‌های جابجایی زمین با استفاده از نرم‌افزارهای سنجش از دور و تهیه نقشه‌های پایه منطقه مانند خاک، پوشش، شیب و توپوگرافی و... در محیط GIS و آنالیز ارتباط آنها با یکدیگر و منطقه جابجا شده
- ارزیابی صحت و بررسی‌های میدانی و تحلیلی در محیط نرم افزار ژئوتکنیکی و مقایسه نتایج
- بررسی و تحلیل نقش سد در جابجایی و ارایه راهکارهای کلی پایداری شیروانی‌ها

۵-۱- نوآوری تحقیق

تاکنون تحقیقات زیادی در ارتباط با مناطق ناپایدار و دارای لغزش بر اساس منابع داده مختلف انجام شده است. در اکثر این تحقیقات از داده‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای به صورت جدا از هم استفاده شده است. در این پژوهش، از تلفیق داده‌های زمینی و داده‌های ماهواره راداری Sentinel-1 با استفاده از تکنیک‌های پردازش این داده‌ها مانند DInSAR در منطقه حسین آباد کالپوش که جدیداً تحت تاثیر زمین لغزش قرار گرفته و ناحیه مستعدی برای ریزش به شمار می‌رود، بهره گرفته شده و در نهایت به مقایسه نتایج دو روش باهم پرداخته شده است.

۱-۶- روش انجام تحقیق

در این پژوهش و در مرحله نخست ابتدا با استفاده از نرم‌افزار SNAP، میزان نرخ جابجایی زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری در روستای حسین آباد کالپوش میامی واقع در استان سمنان محاسبه شد. در مرحله بعد پس از محاسبه جابجایی‌های رخ داده در منطقه، جهت اعتبار سنجی داده‌ها و نتایج با وضعیت لرزه‌خیزی و داده‌های تکتونیکی در بازه زمانی یک سال، مورد آنالیز و مقایسه قرار گرفته است. همچنین با استفاده از نقشه‌های شیب، جهت شیب، نوع خاک، پوشش گیاهی و ...، به تحلیل و تفسیر نتایج نرم‌افزار SNAP در محیط GIS با جابجایی شناسایی شده، تطبیق داده شده است. در نهایت جهت صحت سنجی نتایج بدست آمده، یکی از شیروانی‌های لغزش یافته را با استفاده از نرم افزار PLAXIS مورد بررسی و ارزیابی قرار داده شده است.

۱-۷- ساختار پایان نامه

پایان نامه پیش رو در پنج فصل تنظیم گردیده است که خلاصه مطالب ارائه شده در هر فصل به صورت زیر می‌باشند:

فصل اول : در این فصل ضمن بیان مقدمه، به بیان مسئله و اهمیت موضوع، ضرورت انجام تحقیق، اهداف تحقیق، نوآوری تحقیق و روش انجام تحقیق پرداخته شده است.

فصل دوم : در این فصل بعد از بیان مقدمه، به تعریف انواع ناپایداری‌های زمین، عوامل و آسیب‌های ایجاد شده توسط این ناپایداری‌ها، تعریف علم سنجش از دور و در نهایت مروری بر مطالعات انجام شده در ایران و سایر نقاط جهان پرداخته شده است.

فصل سوم : در این فصل منطقه مورد مطالعه و خصوصیات اقلیمی منطقه نظیر پوشش گیاهی، زمین شناسی، نوع خاک و ... پرداخته شده است. همچنین مشخصات ماهواره Sentinel-1 و

خلاصه‌ای از روند تحقیق بیان شده است.

فصل چهارم : در این فصل ابتدا با استفاده از داده‌های ماهواره Sentinel-1 به تداخل سنجی

راداری پرداختیم. سپس زمین لرزه‌های رخ داده بررسی شده است. سپس به تحلیل داده‌ها توسط

نرم افزار GIS پرداخته شده است. در انتهای فصل، شناسایی‌های زیرسطحی و پیش بینی خطرات

احتمالی انجام شده است.

فصل پنجم : در ابتدای فصل به نتیجه گیری تحقیقات انجام شده، سپس به ارائه پیشنهادهایی

جهت ادامه تحقیق و محدودیت‌های موجود در حین پژوهش پرداخته شده است.

فصل ۲:

مروری بر منابع

۱-۲- مقدمه

جابجایی‌های زمین نظیر لغزش و فرونشست، از ابتدای خلقت وجود داشته اما با پیشرفت زندگی شهری و دخالت انسان در طبیعت، به‌منظور ساخت شریان‌های اصلی، سدها، شهرها و غیره این جابجایی‌ها باعث ایجاد خسارات و خطرات زیادی برای انسان شده است. برای مقابله با این رویدادهای طبیعی، مهندسان از مطالعات عددی و میدانی زیادی استفاده کردند. هرکدام از این روش‌ها، دارای مزایا و معایبی است که به میزانی منجر به کاهش و پیش‌بینی خطرات ناشی از جابجایی زمین می‌شود.

از آن‌جا که پایان‌نامه حاضر از روش سنجش از دور برای مطالعه جابجایی زمین استفاده می‌کند و سپس از مطالعات میدانی برای صحت‌سنجی بهره می‌گیرد، فصل پیش‌رو را با معرفی زمین لغزش و عوامل ایجاد آن، فرونشست، سنجش از دور ماهواره راداری شروع و در ادامه به‌بیان مطالعات و تحقیقات محققان در این زمینه می‌پردازیم.

۲-۲- ناپایداری‌های زمین

۱-۲-۲- زمین لغزش

حرکت توده خاکی یا سنگی بر روی سطح شیب‌دار، که بر اثر عوامل گوناگونی نظیر شرایط آب و هوایی، پوشش گیاهی، زلزله، حرکات تکتونیکی، تغییر در شیب دامنه، تغییر در ارتفاع سطوح شیب‌دار، تغییر کاربری زمین، شدت هوازگی و غیره ناپایدار می‌شود، زمین لغزش می‌نامند. چند مورد دیگر از تعاریف زمین لغزش به‌شرح زیر می‌باشد. از نظر برخی از دانشمندان، زمین لغزش ناشی از حرکت خاک و سنگ‌ها است که روی شیب‌ها صورت می‌گیرد [۸]. انجمن بین‌المللی زمین‌شناسی مهندسی نیز زمین لغزش را جابجایی توده‌ای از مواد در راستای شیب به سمت پایین بیان کرده‌اند. همچنین از دیدگاه این انجمن هنگامی زمین مستعد لغزش می‌شود که ناپایداری در

آن شیب رخ دهد [۹]. به‌طور کلی کاهش نیروی مقاومت برشی و متناسب با آن افزایش نیروی محرک در شیب‌ها و شیروانی‌های سنگی و آبرفتی، باعث کاهش پایداری و تعادل در شیب می‌شود که این پدیده زمین لغزش نام دارد. لغزش‌ها انواع مختلفی دارند و در هر نوع مصالحی می‌توانند ایجاد شوند. شکل سطح گسیختگی و ویژگی‌های توده محرک معمولاً به‌عنوان عوامل طبقه‌بندی لغزش‌ها استفاده می‌شود. شکل (۱-۲) لغزش یک خیابان در منطقه زیباشهر گرگان را نشان می‌دهد که این منطقه به دلیل وجود خاک با مقاومت برشی پایین و اعمال سربارهای متعدد ناشی از عبور وسایل نقلیه، دچار زمین لغزش شده است. شکل (۲-۲) نیز رانش زمین را در شهرستان طالقان در سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد که همانگونه در شکل مشخص است مسیر ورودی شهر کاملاً ترک‌های وسیعی برداشته و غیر قابل استفاده شده است.



شکل (۱-۲) لغزش یک خیابان در منطقه زیباشهر گرگان [۱۰]



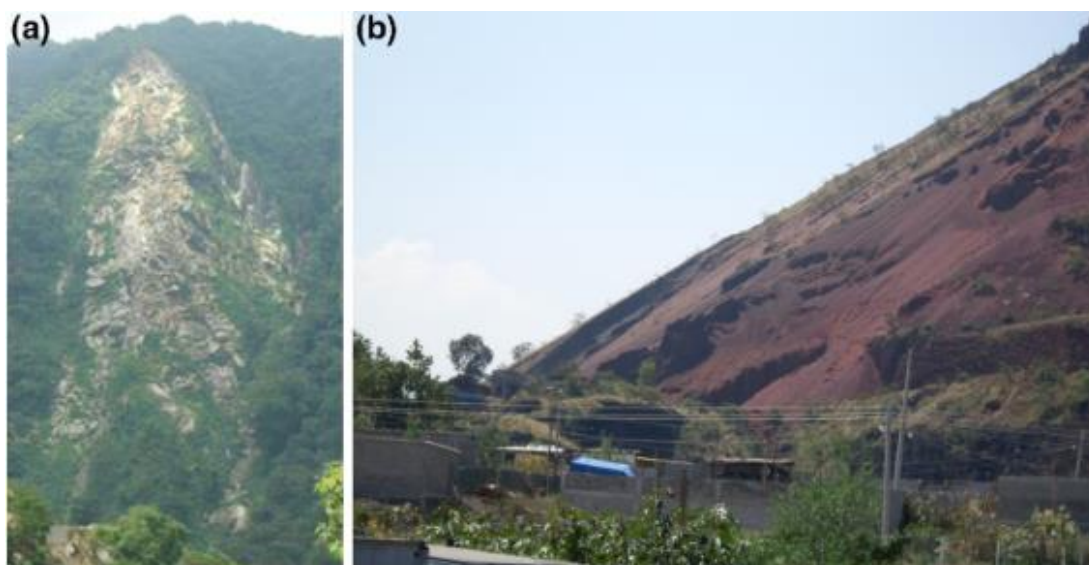
شکل (۲-۲) رانش زمین در ورودی شهرستان طالقان در استان البرز سال ۱۳۹۷

۲-۲-۲- انواع زمین لغزش‌های دامنه‌ای

۲-۲-۲-۱- لغزش انتقالی^۱ یا ساده

در لغزش انتقالی، توده‌ای از مواد بر روی یک سطح نسبتاً مسطح با چرخش کم، به سمت پایین دامنه حرکت می‌کنند. شکل (۲-۳) نمونه‌ای از لغزش انتقالی را در کشور مکزیک نشان می‌دهد. در این تصویر (b) کاملاً مشخص است که توده خاک و سنگ روی یک سطح تقریباً مسطح، به سمت پایین شیروانی حرکت می‌کنند.

¹ Translational Slide

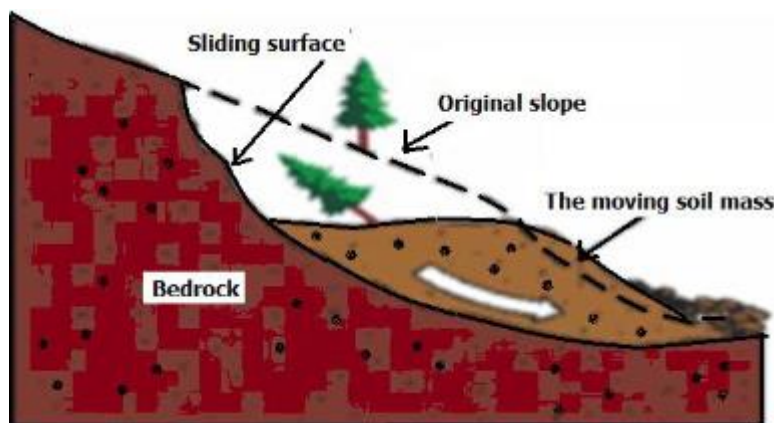


شکل (۲-۳) لغزش انتقالی، تصویر سمت چپ منطقه چیاپاس جنوب مکزیک و تصویر سمت راست مخروط های آتشفشانی در مکزیک مرکزی [۱۱]

۲-۲-۲-۲- لغزش دایره‌ای یا چرخشی^۱

لغزش دایره‌ای یا چرخشی اغلب در دامنه‌های خاکی و خرده سنگی طبیعی و مصنوعی دیده می‌شوند. این نوع گسیختگی به صورت منحنی با تقعر رو به بالا و جابجایی تقریباً چرخشی در سراسر عرض لغزش اتفاق می‌افتد. شکل (۲-۴) شماتیکی از لغزش چرخشی است. با توجه به شکل توده خاک جابجا شده به صورت یک منحنی دارای تقعر رو به بالا به سمت پایین شیب به صورت تقریباً چرخشی در حرکت است. خط چین نیز سطح اولیه شیب را نشان می‌دهد.

¹ Rotational Slide



شکل (۴-۲) لغزش چرخشی [۱۲]

۲-۲-۳- لغزش مسطوی در سنگ

این لغزش انواع گوناگونی دارد. لغزش یک یا چند واحد سنگی در امتداد یک یا چند سطح مسطوی، سر خوردن یک قطعه کوچک یا ورقه‌ای از سنگ به روی دامنه، لغزش توده عظیمی از سنگ، لغزش گوه‌ای در راستای خط وصول دو صفحه متقاطع، نمونه‌هایی از لغزش مسطوی است. تعاریف از سایت انجمن ایرانی ژئومورفولوژی در دی ۱۳۹۹ برداشت شده است (<https://irangeomorphology.ir>). شکل (۵-۲) نمونه ای از لغزش مسطوی در جاده الجبّه را نشان می‌دهد. در این منطقه قطعه‌های سنگ در امتداد سطح شیبدار، به سمت پایین شیب لغزش کرده‌اند که باعث خطر برای وسایل نقلیه عبوری می‌شود.



شکل (۵-۲) لغزش در جاده الجبیه [۱۳]

۳-۲-۲- عوامل مؤثر بر ایجاد زمین لغزش

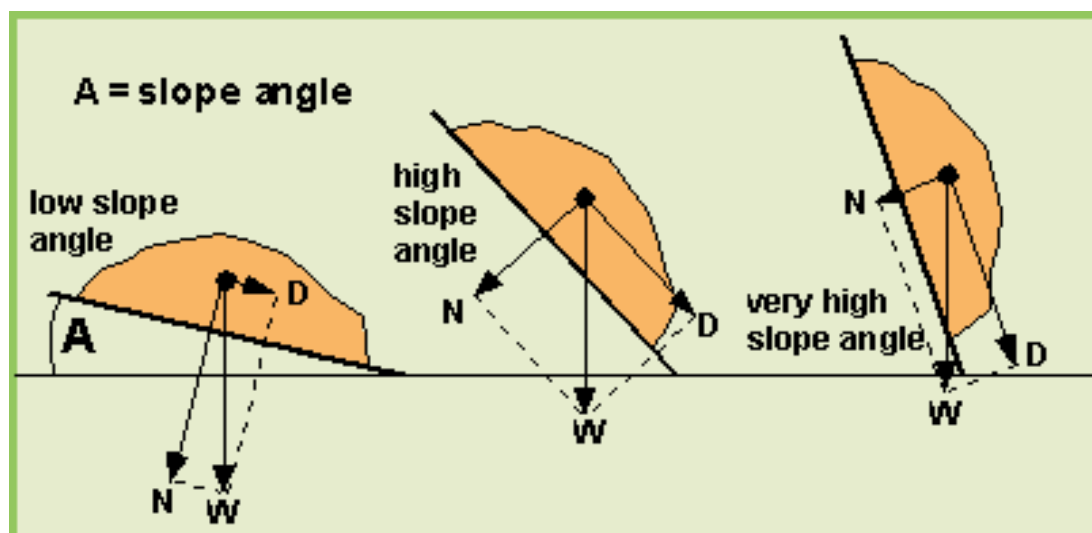
۳-۲-۲-۱- وجود سطح شیب‌دار

در سطح شیب‌دار قسمتی از نیروی شتاب جاذبه زمین، در جهت شیب زمین قرار می‌گیرد و باعث می‌شود هر ذره از جسم تمایل به حرکت در جهت شیب داشته باشد. ولی ذره زمانی شروع به حرکت می‌کند که مقدار نیروی موازی با شیب زمین بیشتر از مجموع نیروی اصطکاک^۱ و چسبندگی^۲ ذرات سنگ شود. بنابراین هرچه شیب زمین بیشتر باشد، امکان حرکت مواد بر اثر نیروی جاذبه بیشتر خواهد بود. شکل (۶-۲) شماتیک زاویه شیب را برای یک توده خاک نشان

¹ Friction

² Cohesion

داده شده است. با توجه شکل، هرچه زاویه شیب بیشتر می‌شود، امکان لغزش توده خاک به دلیل افزایش نیروی جاذبه، بیشتر می‌شود.



شکل (۶-۲) شماتیک زاویه شیب و اثر آن بر میزان لغزش

۲-۲-۳-۲- آب

آب از جمله عواملی است که حرکت خاک و سنگ‌ها را بر اثر نیروی جاذبه زمین آسان می‌کند. آب با نفوذ خود به داخل سنگ و خاک موجب می‌شود که ضمن افزایش وزن توده، نیروی اصطکاک و چسبندگی داخلی دانه‌ها و قطعات سنگ یا به عبارتی مقاومت آن‌ها در مقابل حرکت کاهش یابد. کانی‌های رسی و سنگ‌هایی مانند مارن با جذب آب انبساط پیدا نموده و موجب لغزش لایه‌های فوقانی در جهت شیب لایه بندی می‌شوند.

۲-۲-۳-۳- هوازدگی

هوازدگی باعث سست شدن و خرد شدن سنگ‌های متراکم و در نتیجه باعث حرکت آن‌ها در اثر نیروی ثقل می‌شود. تغییرات آب و هوایی ناشی از عوامل جوی نظیر باد و باران به ناپایداری توده‌های سنگی کمک می‌کند. شکل (۷-۲) چند قطعه سنگ را نشان می‌دهد که هوازدگی باعث

ترک برداشتن و خرد شدن این سنگ‌ها شده است.



شکل (۷-۲) هوازدگی سنگ

۲-۳-۴- زمین لرزه

معمولاً در حرکت‌های توده‌های بزرگ سنگ، محرک اولیه زلزله است. در مناطق کوهستانی، زمین لرزه می‌تواند باعث به‌وقوع پیوستن زمین لغزش‌های بزرگی گردد.

۲-۳-۵- جنس سنگ‌ها

سنگ‌های مختلف با توجه به ویژگی‌هایی که دارند، مقاومت‌های گوناگونی از خود نشان می‌دهند. به‌عنوان مثال سنگ‌های رسوبی اگر سطح لایه‌بندی آن‌ها تقریباً موازی شیب سطح زمین باشد، حرکت این توده‌های سنگ سریع‌تر می‌شود. لایه‌های رسی نیز به دلیل تخلخل زیاد، در اثر بارندگی آب فراوانی جذب می‌کنند و وزن آن‌ها بیشتر می‌شود و در نتیجه باعث ناپایداری و لغزش می‌گردد.

۲-۳-۶- ساختمان زمین‌شناسی

وجود درزها، گسیختگی‌ها و گسل‌ها، در حرکت توده‌های سنگی بسیار مؤثر است. وجود درز و

شکستگی باعث نفوذ آب به داخل سنگ، افزایش وزن توده، در مناطق سردسیر باعث انجماد آب داخل سنگ، کاهش مقاومت سنگ و در نتیجه زمینه را برای زمین لغزش فراهم می‌کنند.

۲-۲-۳-۷- وضعیت لایه‌بندی

جهت شیب و امتداد لایه‌ها از عوامل مؤثر بر حرکت سنگ است. برای مثال اگر شیب و امتداد لایه‌ها به طرف جاده و مناطق مسکونی باشد، موجب ناپایداری بیشتر توده سنگ می‌گردد.

۲-۲-۳-۸- عوامل غیرطبیعی (مصنوعی)

عوامل مصنوعی یا عواملی که بشر در به‌وجود آمدن آن دخیل هستند نیز باعث ناپایداری توده‌های سنگی و ایجاد لغزش می‌گردد. انفجار و عملیات ساختمانی و راهسازی از جمله عوامل مصنوعی محسوب می‌شوند.

۲-۲-۴- انواع زمین لغزش‌ها براساس نوع حرکت

۲-۲-۴-۱- ریزش سنگ^۱

در این نوع ریزش، قطعات و توده‌های سنگی در امتداد شیب‌های تند به طرف پایین ریزش می‌کنند. در این حالت سنگ‌ها پس از جدا شدن از سنگ مادر به سرعت سقوط می‌کنند ولی ممکن است انباشته شدن ذرات در دامنه کوه به تدریج و به آهستگی صورت گیرد. ذرات سنگ به تدریج در پای صخره توده‌هایی ایجاد می‌کنند. شکل (۲-۸) ریزش کوه در جاده یاسوج شیراز را نشان می‌دهد که به دلیل ریزش سنگ‌ها در پای شیروانی، توده‌ای از سنگ ایجاد شده است.

¹ Rockfall



شکل (۸-۲) ریزش کوه در جاده یاسوج شیراز، بهمن ۱۳۹۵

۲-۲-۴-۲- بهمن سنگی^۱

به حرکت توده‌های عظیمی از سنگ که با سرعت زیاد به سمت پایین دامنه صورت می‌پذیرد، بهمن سنگی می‌گویند. در بهمن سنگی حرکت مواد به صورت‌های ریزش (Falling)، لغزش (Sliding) و جریان (Flow) دیده شود. شکل (۹-۲) نمونه‌ای از بهمن سنگی در جاده چالوس را نشان می‌دهد که توده عظیمی از سنگ به سمت پایین شیروانی حرکت کرده و باعث مسدود شدن جاده شده است.

¹ Rock avalanche



شکل (۲-۹) بهمن سنگی در جاده چالوس، آبان ۱۳۹۷

۲-۲-۴-۳- لغزش سنگ^۱

لغزش سنگ عمود بر امتداد سطوح لایه بندی و در جهت بزرگترین شیب لایه انجام می‌شود. سطح لغزش در این نوع گسیختگی صفحه ای است، ولی در سنگ های به شدت خرد شده دایره‌ای می‌باشد. معمولاً لغزش سنگ زمانی اتفاق می‌افتد که لایه‌های سنگی در امتداد شیب، دارای درز و ترک‌های زیادی باشد [۱۴]. وقتی قسمتی از سنگ‌های پایین دامنه کنده شود، سنگ‌های فوقانی تکیه‌گاه خود را از دست داده و به پایین شیب می‌لغزند. وجود یک لایه رس در زیر سنگ‌های دیگر، یکی از عوامل مهم لغزش سنگ‌ها است که باعث کاهش نیروی اصطکاک توده‌های سنگی شده و ممکن است باعث لغزش آن‌ها به طرف پایین شود.

۲-۲-۴-۴- واژگون شدن سنگ^۲

در سنگ‌های دارای لایه‌بندی یا شکستگی، هنگامی که خط عبوری از مرکز ثقل جسم، از قاعده آن خارج شود، جسم تعادل خود را از دست داده و واژگون می‌گردد. توده‌های سنگ در این حالت

¹ Rock Slide

² Rock Toppling

به صورت ستون‌هایی ساده یا متوالی از سنگ مادر جدا شده و فرو می‌ریزند. شکل (۲-۱۰) نمونه‌ای از واژگون شدن سنگ را در یکی از دیواره‌های انحراف آب سد مشمپای زنجان نشان می‌دهد. ستون سنگی به دلیل اینکه خط عبوری از مرکز ثقل، از قاعده آن خارج شده است، تعادل خود را از دست داده و در حال واژگونی است.



شکل (۲-۱۰) شکست واژگونی در خروجی تونل انحراف آب سد مشمپای زنجان [۱۵]

۲-۲-۴-۵- لغزش خاک^۱

لغزش در توده‌های خاک همانند توده‌های سنگی با یک سطح گسیختگی همراه است که آن را سطح لغزش می‌گویند. در خاک‌ها اگر گسیختگی چرخشی یا دورانی باشد، سطح لغزش دایره‌ای شکل خواهد بود ولی اگر گسیختگی از نوع انتقالی باشد، سطح لغزش صفحه‌ای می‌باشد [۱۴]. افزایش فشار آب منفذی در زمین لغزش‌های رویداده در خاک، نقش اساسی دارد.

۲-۲-۴-۶- جریان خاک^۲

جریان خاک بر دامنه‌های با شیب ملایم تا متوسط، در خاک‌های ریزدانه، معمولاً رس یا سیلت رخ

¹ Soil Slump

² Soil flow

می‌دهد، ولی در سنگ بستر رس‌دار به شدت هوازده نیز امکان‌پذیر است. توده در یک روانه خاک همانند یک جریان ویسکوز یا پلاستیک با دگرشکلی داخلی شدید حرکت می‌کند. لغزش‌ها یا گسترش‌های جانبی نیز ممکن است در فرودست به جریان خاک تکامل یابند. روانه‌های خاک از بسیار کند (خزش)، تا سریع و ناگهانی نوسان می‌کنند [۱۶].

۲-۲-۴-۷- جریان گل^۱

جریان‌های گل معمولاً بعد از بارندگی‌های شدید در امتداد دره‌ها شروع به حرکت می‌کنند. این مواد به تدریج بر اثر فرسایش زمین بسیار غلیظ شده و قدرت تخریب زیادی بدست می‌آورند. سرعت این جریان‌ها پس از رسیدن به دشت‌ها کم شده و به تدریج می‌ایستند. این مواد پس از خشک شدن، به شکل لایه نازکی در سطح زمین باقی می‌مانند. ذرات ریز مانند رس و سیلت هنگامی که اشباع شوند، این‌گونه جریان‌ات گلی را به وجود می‌آورند. شکل (۲-۱۱) جریان گل در شهر کارابالدا را در سال ۱۹۹۹ نشان می‌دهد که باعث ایجاد خسارات مالی و جانی فراوانی شد.



شکل (۲-۱۱) خسارت روانه واریزه به شهر کارابالدا، در شمال ساحل ونزوئلا، در دسامبر ۱۹۹۹ [۱۶]

¹ Mud flow

۲-۲-۵- خزش^۱

خزش حرکت آرام، پیوسته و روبه پایین خاک و سنگ بر روی سطح شیب‌دار است. این جابه‌جایی در اثر غلبه تنش برشی بر نیروهای مقاوم است که برای یک تغییرشکل دائمی کافی است اما برای ایجاد یک گسیختگی برشی کم است. خزش به کمک تنه کج‌شده درخت‌ها، تیرهای کج‌شده، پرچین‌ها و عواملی از این قبیل قابل شناسایی می‌باشد.

۲-۲-۵-۱- انواع خزش

۱- فصلی: در این حالت جابه‌جایی در درون عمق خاکی رخ می‌دهد که رطوبت و دمای آن

تحت تأثیر تغییرات فصلی است.

۲- پیوسته: در این حالت تنش برشی متناوباً بر مقاومت مواد غلبه می‌کند.

۳- پیش‌رونده: در این نوع خزش، شیب‌ها به نقطه شکست خود می‌رسند به نحوی که انواع

دیگر جابه‌جایی توده ایجاد می‌شود.

۲-۲-۶- روش‌های تثبیت دامنه‌های مستعد در برابر لغزش

اگرچه جلوگیری از انجام عملیات ساختمانی در پهنه‌های مستعد لغزش، مناسب‌ترین اقدام برای مقابله با لغزش زمین می‌باشد ولی با توجه به افزایش جمعیت و تمایل ساکنان مناطق شهری به احداث سکونت‌گاه در مناطق ییلاقی و کوهستانی، اغلب احداث ساختمان در این‌گونه مناطق حساس را ناگزیر می‌کند. بنابراین از روش‌های زیر برای پایدارسازی مناطق مستعد می‌توان استفاده نمود.

✓ کنترل زهکشی آب به منظور کاهش فشار آب حفره‌ای

✓ کاهش زاویه شیب و استفاده از روش پلکانی

✓ استفاده از دیوار حائل

¹ Creep

✓ درخت‌کاری کردن زمین‌های مستعد لغزش به دلیل جلوگیری کردن ریشه‌های درختان از

حرکت سریع آب در خاک و ایجاد فرسایش

✓ پوشاندن درز و شکستگی‌های سنگ‌ها و خاک‌ها با استفاده از روش‌هایی مانند بتن‌پاشی

✓ نصب تورهای سیمی

✓ استفاده از میل‌مهار در ساخت‌گاه‌های سنگی و خاک‌های سفت

۲-۲-۷- فرونشست

فرونشست عبارت است از حرکت قائم و رو به پایین سطح زمین که با بردار اندک افقی همراه باشد. این تعریف پدیده‌هایی هم چون زمین لغزش‌ها را بدلیل اینکه حرکت آن‌ها دارای بردار افقی قابل توجهی است و همچنین نشست در خاکهای دستی، که دارای مکانیسم متفاوتی می باشد شامل نمی‌شود [۱۷]. نشست زمین باعث ایجاد شکاف‌های عمیق در سطح زمین، کج شدن لوله‌های چاه، خرابی ساختمان‌ها و لوله زایی چاه‌ها می‌گردد. لوله زایی به پدیده‌ای گفته می‌شود که در آن به دلیل نشست زمین قسمتی از لوله چاه به خارج از سطح زمین رانده می‌شود [۱۸]. شکل (۲-۱۲) شکاف ایجاد شده در قسمت جنوبی دشت دامغان را نشان می‌دهد. پدیده شکاف بعد از فرونشست زمین، به دلیل برداشت بیش از حد آب‌های زیر زمینی و در نتیجه خالی شدن فضای زیر خاک ایجاد شده و باعث ترک برداشتن ساختمان‌ها، راه‌ها، زیرساخت‌ها و... می‌شود.



شکل (۲-۱۲) شکاف بلند و پهنی که در پی فرونشست زمین در قسمت جنوبی دشت دامغان ایجاد شده است [۱۹]

۲-۲-۸- عوامل ایجاد فرونشست

۲-۲-۸-۱- نشست زمین در اثر معدن‌کاری

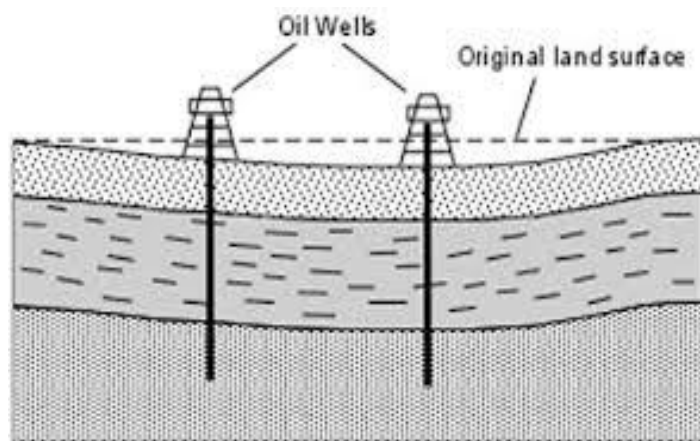
استخراج مواد معدنی در معادن زیر زمینی، طبقات فوقانی مواد معدنی شکسته شده و به تدریج به سمت پایین حرکت می‌کنند تا فضای خالی را پر کنند. این عمل در نهایت در سطح زمین نشست ایجاد خواهد کرد. نشست ناشی از استخراج مواد معدنی بر سازه‌ها و تاسیسات سطح زمین اثر

شکل (۲-۱۳) فرونشست همراه با معدن کاری زیرزمینی [۲۱]

۲-۲-۸-۲- بر داشت سیالات

برداشت سیالات یکی دیگر از عوامل ایجاد فرونشست در سطح زمین می باشد. دو سیال مهمی که

در زیرزمین وجود دارند، یکی آب (به صورت آب زیرزمینی) و دیگری نفت خام و گاز طبیعی هستند. بیشتر فرونشست زمین مربوط به برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی است. برای مثال، بیش از ۸۰ درصد فرونشست شناسایی شده در ایالات متحده، مربوط به برداشت آب‌های زیرزمینی است [۲۲]. به همین ترتیب، به نظر می‌رسد فرونشست زمین و تخریب آبخوان‌ها در حوضه مرکزی و شمال شرق ایران، ناشی از همین امر باشد که معضلی فراگیر است [۲۳]. برداشت بیش از حد منابع زیرزمینی نظیر نفت و گاز (شکل ۲-۱۴) باعث ایجاد چنین رخدادی شده است. در این بازه زمانی بهترین راه برای کاهش و کنترل فرونشست، اصلاح مصرف و مدیریت برداشت منابع زیر زمینی می‌باشد.



شکل (۲-۱۴) فرونشست در اثر برداشت بیش از حد سیالات

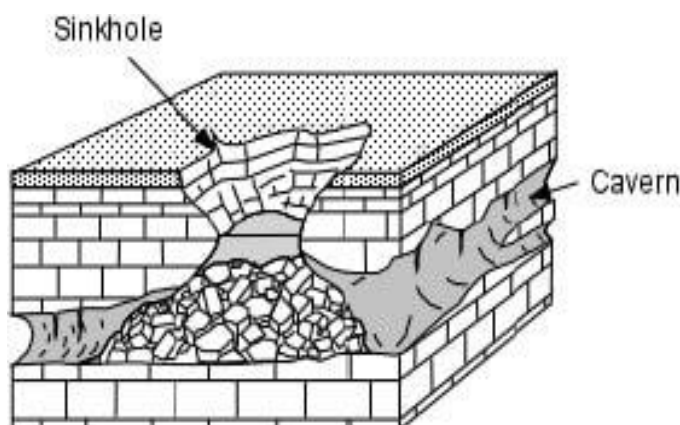
۲-۲-۸-۳- فعالیت‌های تکتونیکی

یکی از عوامل ایجاد فرونشست، فعالیت‌های تکتونیکی می‌باشد که همه ساله باعث ایجاد نشست، شکاف و فروچاله در تمامی نقاط جهان می‌شود. فرونشست به دلیل وجود گسل و هم‌چنین وقوع زلزله ایجاد می‌گردد. فلات ایران از لحاظ تکتونیکی فعال است و نزدیک به ۸۵ درصد سرزمین ایران از لحاظ پهنه‌بندی خطر زلزله، جزو مناطق با ریسک بالا و متوسط می‌باشد. لذا شناخت وضعیت زمین ساخت، خاک، نوع مصالح، دوری و نزدیکی به خطوط گسل‌های فعال و غیره در

مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی و مهندسی عمران بسیار ضروری است [۲۴].

۲-۲-۸-۴- سنگ‌های انحلال‌پذیر

مناطق دارای سنگ‌های انحلال‌پذیر نظیر گچ، آهک و نمک بسیار مستعد در برابر نشست و ایجاد فروچاله در سطح زمین می‌باشند. در این مناطق وجود رودخانه‌های زیر زمینی، باعث انحلال سنگ‌ها شده و غارهای زیر زمینی ایجاد می‌کنند. در منطقه دشت رامهرمز و دشت میادوود-دالون فراوانی ساختارها از عوامل اصلی تشکیل کارست محسوب می‌شود. در نتیجه‌ی انحلال سنگ‌های ژئپسی، میزان یون‌های سولفات در آب‌های سطحی و زیر زمینی افزایش یافته و موجب کاهش کیفیت آب شده است. برداشت بیش از حد آب‌های زیر زمینی و کاهش سطح ایستابی، افزایش سرعت انحلال سنگ‌های ژئپسی را در پی داشته و فرونشست زمین و تشکیل فروچاله را موجب گردیده است [۲۵]. شکل (۲-۱۵) فرونشست زمین را در اثر انحلال سنگ‌های آهکی نشان می‌دهد. لایه‌های آهکی زیر سطحی در داخل آب‌های زیر زمینی حل می‌شوند و تونل‌هایی در عمق زمین ایجاد می‌کنند که باعث ریزش خاک سطحی و ایجاد فروچاله می‌شوند.



شکل (۲-۱۵) فرونشست در اثر انحلال سنگ‌های آهکی [۲۶]

۲-۲-۸-۵- ذوب یخ در لایه‌های منجمد عمق زمین

از عوامل ایجاد فرونشست به‌خصوص در مناطق سردسیر کره زمین، ذوب یخ‌های موجود در لایه‌های منجمد زمین می‌باشد. به‌دلیل تغییر الگوهای هواشناسی و گرم‌شدن زمین، ذوب شدن یخ‌های موجود در لایه‌های عمقی زمین افزایش یافته است و باعث فرونشست و در نتیجه وارد آوردن خسارت به منازل مسکونی، شریان‌های اصلی و غیره شده است.

۲-۲-۹- آسیب‌های ناشی از فرونشست

فرونشست باعث تغییرات مشهودی در سطح زمین می‌شود. این تغییرات باتوجه به عوامل ایجاد کننده فرونشست، متغیر است. چند نمونه از مهم‌ترین آسیب‌های فرونشست را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

- به وجود آمدن شکاف در سطح زمین
- شکست و یا بیرون زدگی لوله جدار چاه‌ها
- تغییر ناهمسان در ارتفاع و شیب رودخانه‌ها، آبراهه‌ها و سازه‌های انتقال آب
- ایجاد تخریب در شریان‌های حیاتی و سازه‌های مهم
- کاهش میزان نفوذپذیری سطحی

۲-۲-۱۰- شیروانی‌های خاکی

شیروانی خاکی به توده خاکی گفته می‌شود که دارای سطحی شیب‌دار نسبت به افق باشد. یا به‌بیان دیگر، هر سطح شیب‌داری که زاویه‌ای غیر از صفر با افق داشته باشد، شیروانی گفته می‌شود. شیروانی‌ها یا به صورت طبیعی (ناشی از عوامل جوی مانند آب، باد و غیره) و یا به‌صورت مصنوعی (دست‌ساز انسان) می‌باشند. عوامل تاثیرگذار بر شیروانی‌ها می‌توان به نیروی وزن، فرسایش، زلزله، آب‌های زیرزمینی و غیره اشاره کرد که باعث ناپایداری شیروانی می‌شود. شکل (۲-۱۶) و (۲-۱۷) نمونه‌ای از شیروانی‌های خاکی را در منطقه هراز و جاده کیاسر نشان داده

است. شکل اول شیروانی طبیعی و شکل دوم شیروانی دست‌ساز انسان می‌باشد که برای جلوگیری از ریزش کوه ایجاد شده است.



شکل (۲-۱۶) عکس میدانی از زمین لغزش از نوع بلند در منطقه هراز، استان مازندران.

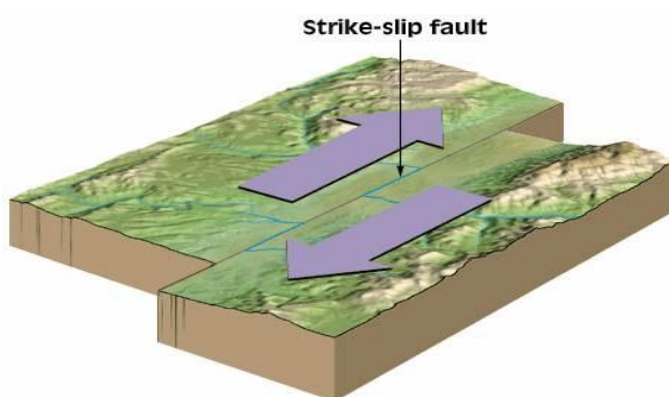


شکل (۲-۱۷) شیروانی خاکی جاده کیاسر

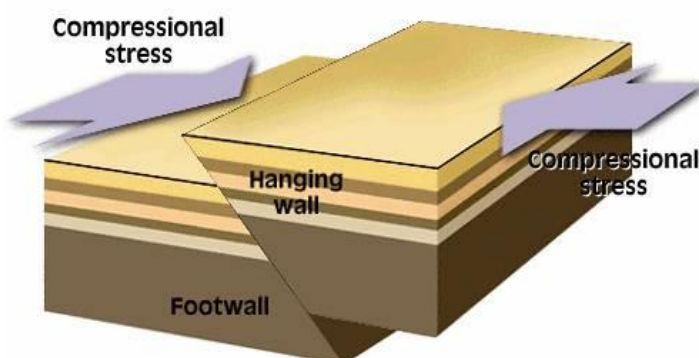
۲-۲-۱۱- گسل^۱

اگر نیروی وارد بر صفحات زمین به‌نحوی باشد که منجر به شکستگی و جابجایی توده‌های سنگ شود، باعث ایجاد گسل می‌شود. این جابجایی‌ها ممکن است به‌صورت قائم، مایل و یا افقی باشد. گسل‌ها را به دو گروه کلی امتداد لغز و شیب لغز تقسیم می‌کنند. گسل‌هایی که امتداد اصلی لغزش در امتداد راستای گسل باشد، گسل امتداد لغز (شکل ۲-۱۸) و گسل‌هایی که امتداد اصلی لغزش موازی جهت شیب گسل باشد (شکل ۲-۱۹)، گسل‌های شیب لغز گویند

(www.iiees.ac.ir).



شکل (۲-۱۸) شماتیک گسل امتداد لغز (www.ngdir.ir)



شکل (۲-۱۹) شماتیک گسل شیب لغز (www.ngdir.ir)

¹ Fault

۲-۳- سنجش از دور

سنجش از دور (Remote Sensing)، علم و هنر بدست آوردن اطلاعات و تصویر برداری از زمین با استفاده از تجهیزات هوانوردی مثل هواپیما، ماهواره و ... می‌باشد. سنجش از دور علم استخراج اطلاعات از اشیا زمینی به صورت غیر مستقیم و به‌وسیله سنجنده است. خروجی مرحله اول توسط هر سنجنده یک تصویر است. معمولاً هر ماهواره چندین سنجنده دارد که هر کدام کاربرد متفاوتی دارد. ارتفاع ماهواره‌های سنجش از دور غالباً بیشتر از ۷۰۰ کیلومتر و کمتر از ۱۵۰۰ تا ۱۶۰۰ کیلومتر می‌باشد. مزیت برتر اطلاعات ماهواره‌ای نسبت به سایر منابع اطلاعاتی، پوشش تکراری آن‌ها از نواحی معین با فاصله زمانی مشخص است. در سنجش از دور انتقال اطلاعات با استفاده از تشعشعات الکترومغناطیسی صورت می‌پذیرد. از کاربردهای سنجش از دور می‌توان به پیش‌بینی وضع هوا، مطالعه آلودگی جو و تخریب لایه اوزون، شناسایی پوشش‌های گیاهی، مطالعه خاک، مدیریت بر جنگل، حجم منابع آب، نقشه‌های زمین‌شناسی، تهیه مدل رقومی زمین (DEM) و ... اشاره کرد (www.gistech.ir).

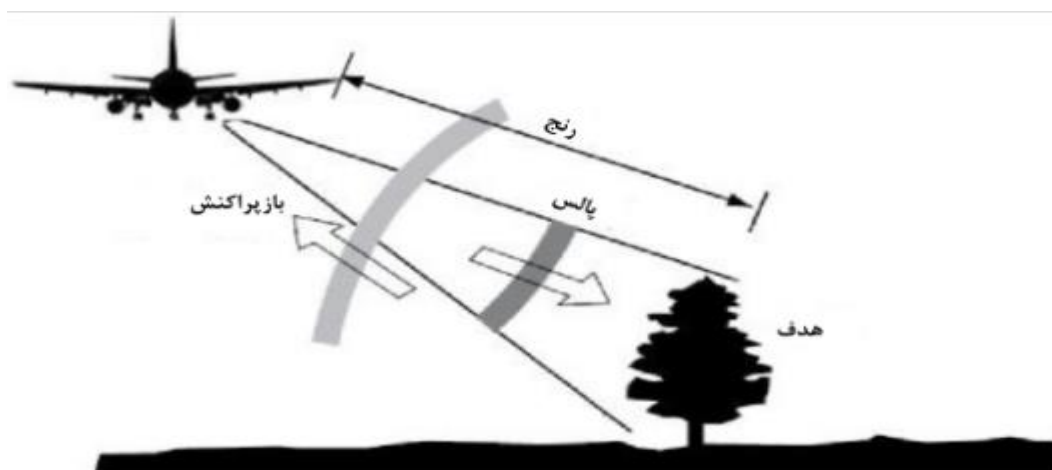
۲-۴- سنجش از دور راداری

RADAR مخفف کلمات Radio Detection And Ranging بوده و به‌معنی آشکارسازی به کمک امواج ماکروویو^۱ است [۲۷]. فناوری سنجش از دور راداری در زمینه‌های علمی زیادی نظیر زمین‌شناسی، معدن، سیستم‌های اطلاعات مکانی، هواشناسی، کشاورزی، جغرافیا و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده جهانی از سنجش از دور توسط ماهواره Landsat در سال ۱۹۷۲ آغاز شد و هم‌اکنون نیز سنجنده‌های جدیدتر مانند ماهواره‌های Sentinel مورد استفاده قرار می‌گیرند. سنجش از دور راداری مانند سنجش از دور نوری می‌تواند برای اخذ تصاویر از سطح زمین استفاده

¹ Microwave

کند ولی نحوه شکل‌گیری تصاویر در سنجش از دور راداری متفاوت است. به‌طور خلاصه یک سیستم راداری دارای سه عملکرد زیر است:

- ✓ ارسال پالس‌های ماکروویو به سمت هدف
- ✓ دریافت بخشی از سیگنال بازگشتی از هدف که به آن بازپراکنش گویند.
- ✓ اندازه‌گیری شدت و همچنین تأخیر زمانی سیگنال بازگشتی



شکل (۲-۲۰) عملکرد یک سیستم راداری [۲۸]

ارسال پالس‌ها در یک سنجنده راداری در جهت عمود بر مسیر پرواز سکو (هواپیما یا ماهواره) می‌باشد که به آن جهت رنج گفته می‌شود. با حرکت سکو در مسیر پرواز، سنجنده به‌طور مکرر پالس‌های ماکروویو را در جهت رنج ارسال و سیگنال برگشتی جهت تشکیل تصویر جمع‌آوری می‌شود. درجات خاکستری یا روشن در یک تصویر راداری متناسب با میزان بازپراکنش دریافتی می‌باشد. هرچه میزان بازپراکنش بالا باشد، تصویر راداری روشن‌تر می‌شود، درحالی‌که اهداف با بازپراکنش پایین، تیره‌تر به نظر می‌رسند.

۲-۴-۲- انواع سنجنده^۱

سنجنده‌های استفاده شده در سنجش از دور، به دو گروه فعال و غیرفعال تقسیم می‌شوند. سنجش از دور غیر فعال از یک منبع انرژی طبیعی که عمدتاً خورشید است، بهره می‌گیرد. سنجنده‌های فعال، امواج را از خود تولید کرده و با ارسال آن به سمت هدف و دریافت انرژی برگشتی، به ویژگی‌های هدف پی می‌برند. از جمله سنجنده‌های فعال می‌توان به RADARSAT-2 و Sentinel-1 اشاره کرد. این سنجنده‌ها در محدوده ماکروویو بین یک و نیم سانتی‌متر تا یک متر (۳۰۰ مگاهرتز تا ۲۰ مگاهرتز) فعالیت می‌کنند [۲۹]. یکی از مزیت‌های استفاده از محدوده طیفی ماکروویو در سنجش از دور راداری این است که امواج تحت تأثیر شرایط جوی قرار نمی‌گیرند و قادرند در ابرها نفوذ کنند. بنابراین در مناطق پوشیده از ابر می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. قابلیت تصویربرداری در روز و شب بدون نیاز به نور خورشید، حساسیت زیاد به شکل هندسی، زبری سطح و محتوای رطوبتی عوارض و همچنین قابلیت نفوذ نسبی سیگنال رادار در عوارض مختلف نظیر خاک، از دیگر مزیت‌های سنجش از دور راداری می‌باشند.

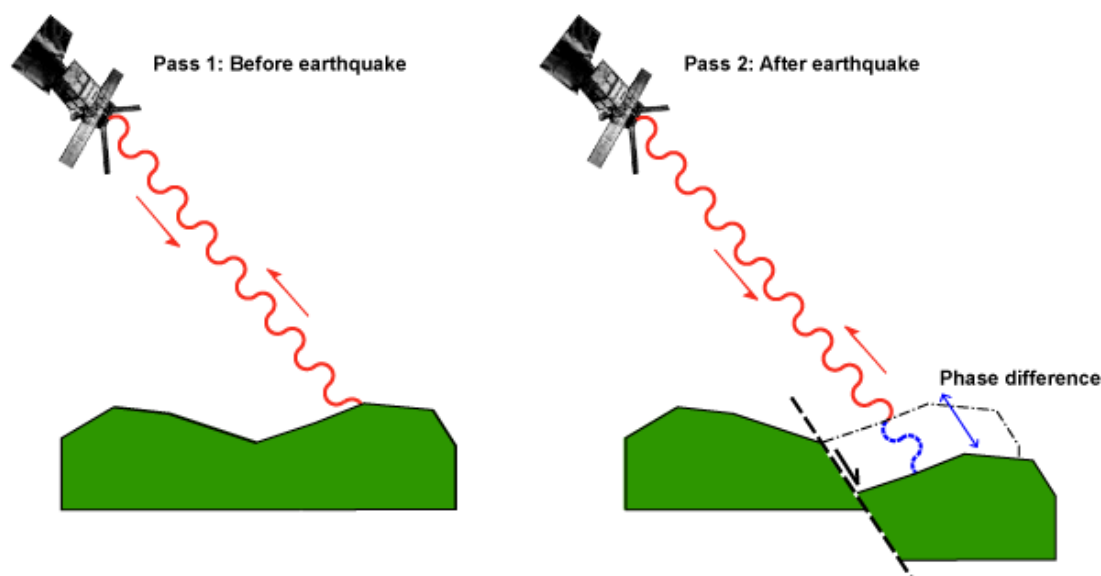
۲-۵- مبانی InSAR

رادارهای روزنه مصنوعی (Synthetic Aperture Radar) نوعی از رادارها گفته می‌شود که برای نقشه‌برداری و تصویربرداری از سطح زمین به کار می‌روند. امواج این رادار به دفعات بالا با سرعت زیاد به سطح موردنظر تابانیده می‌شوند و پس از بازگشت، تصویر دوبعدی از سطح موردنظر ایجاد می‌کند. با گسترش سیستم‌های رادار دریاچه مصنوعی، استفاده از تداخل سنجی رادار با دریاچه مصنوعی یا InSAR^۲ جهت به دست آوردن تغییرشکل پدیده‌های سطح زمین مورد بررسی قرار گرفت [۳۰]. در تداخل سنجی راداری دو عدد آنتن استفاده می‌شود. پردازش و ضبط سیگنال‌ها از

¹ Sensor

² Interferometric Synthetic Aperture Radar

هر دو آنتن، تصاویر راداری سه بعدی از منطقه را تولید می‌کنند که هر پیکسل نسبت به پیکسل قبلی اختلاف فاز دارد. این اختلاف فازها اطلاعات ارزشمندی از هندسه منطقه ارائه می‌دهد. وجود اطلاعات فاز در InSAR زمانی ارزشمند خواهد بود که اختلاف آن در سطح پیکسل‌های دو تصویر راداری مقایسه شود وگرنه تنها وجود اطلاعات فاز در یک تصویر ارزشی نخواهد داشت [۳۱]. از تداخل‌سنجی SAR، می‌توان برای تهیه نقشه‌های توپوگرافی با تفکیک بالا، تعیین تغییرات بسیار کوچک در سطح زمین در طی دوره‌های روزانه تا سالانه با دقت در حد میلی‌متر بدون توجه به شرایط آب و هوایی، توانایی تصویربرداری از یک سطح با دقت تفکیک از چند متر تا چند کیلومتر استفاده کرد. شکل (۲-۲۱) شماتیکی از تصویربرداری رادار دریچه مصنوعی را نشان می‌دهد. در عبور یک، یک تصویر از منطقه مورد مطالعه برداشت می‌شود و در عبور دوم ماهواره که چند روز با برداشت اول فاصله دارد، تصویر از همان منطقه قبلی برداشت می‌شود. اختلاف فاز میان پیکسل‌های دو تصویر مقایسه شده و در نهایت میزان جابجایی حاصل می‌شود.



شکل (۲-۲۱) شماتیک تصویربرداری با استفاده از رادار دریچه مصنوعی (InSAR) [۳۲]

۲-۶- مبانی DInSAR

تداخل سنجی تفاضلی راداری (DInSAR^۱)، به عنوان روشی کارآمد در اندازه‌گیری جابه‌جایی سطح زمین می‌باشد به طوری که با استفاده از این فناوری امکان پایش حرکات کوچک سطح زمین به صورت پیوسته، با دقت بالا و در گستره وسیعی امکان‌پذیر است. در این روش میزان جابجایی حاصل شده، برآیند دو محور اصلی می‌باشد. به دلیل پوشش وسیع تصاویر ماهواره‌ای، به هنگام بودن و پایین بودن هزینه آن‌ها نسبت به سایر روش‌های میدانی، کاربرد این فناوری در بررسی مخاطرات طبیعی زمین از جمله زمین لغزش‌ها، فرونشست، زلزله و فعالیت‌های آتشفشانی بسیار متداول شده است.

۲-۷- مروری بر ادبیات موضوع

۲-۷-۱- مروری بر مطالعات گذشته در ایران

✓ محبوبه خوش باطن و همکاران ۱۳۹۴؛ به پایش زمین لغزش نقل سمیرم با استفاده از تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری (DInSAR) پرداختند. در این پژوهش از ۶ تصویر راداری سنجنده ASAR ماهواره ENVISAT استفاده شده است. نتایج پردازش تصاویر راداری، بیشترین میزان جابجایی قائم صورت گرفته در سطح توده لغزشی نقل در سال ۲۰۱۰، از تاریخ ۲۴ ژوئن تا ۷ اکتبر با بازه زمانی ۱۰۵ روزه، معادل ۵ سانتیمتر و در سال ۲۰۱۱، حداکثر نرخ جابجایی توده لغزشی مربوط به زوج تصویری، ۲ سپتامبر ۲۰۱۱ و ۳۱ اکتبر ۲۰۱۱ با بازه زمانی ۱۲۰ روزه، معادل با ۶ سانتیمتر می‌باشد [۳۳].

✓ لیلا خدانی قشلاق و همکاران ۱۳۹۷؛ به پایش زمین لغزش با استفاده از روش تداخل سنجی راداری InSAR با کمک نرم افزارهای ArcGIS، SAR scape و ENVI5.3

¹ Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar

در محدوده اهر تا ورزقان پرداخته‌اند. از ۱۰ تصویر سنجنده ASAR ماهواره ENVISAT در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ استفاده شده است که ۸ تصویر جهت استفاده در پردازش اینترفرومتری InSAR مناسب بودند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان جابجایی در منطقه، مربوط به قسمت های شرق و غرب به صورت لغزش بوده است که بیشترین و کمترین تغییرات سطح زمین در منطقه، بین ۰,۵ تا ۰,۲- متر در بازه زمانی سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ است [۳۴].

✓ علی مهرابی ۱۳۹۷؛ به‌شناسایی یک گنبد نمکی احتمالی در حال صعود، با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری و با هدف پایش تغییرات پوسته زمین در ناحیه زاگرس پرداخت. او در این روش از تصاویر راداری ASAR و Sentinel-1 و نرم‌افزارهای SNAP و SARscape بهره گرفته است. نتایج به‌دست آمده از تحلیل تصاویر ASAR، نرخ رشد گنبد نمکی در بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ به‌میزان ۱,۶ سانتیمتر در سال بوده است. همچنین نتایج حاصل‌شده از تصاویر Sentinel-1 بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷، نرخ رشد به ۲,۹ سانتیمتر در سال رسیده است. مجموع نتایج به‌دست آمده گویای این است که گنبد نمکی، فعال بوده و به‌دلیل اهمیت گنبدهای نمکی در زمینه‌های مختلف، به‌عنوان مثال تشکیل مخازن نفتی، لازم است تا مطالعات ژئوفیزیکی ویژه‌ای در محل صورت گیرد [۳۵].

✓ شهرام روستایی و همکاران ۱۳۹۷؛ به‌شناسایی و پایش ناپایداری دامنه‌ها در حوضه آبریز طالقان، با روش اینترفرومتری تفاضلی راداری پرداختند. ۲۹ تصویر سنجنده ASAR ماهواره ENVISAT در بازه زمانی سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹ استفاده شده است. نتایج نشان داد که میانگین میزان جابجایی محاسبه شده این پهنه های لغزشی در این دوره ۶- تا ۱۳ میلی‌متر بوده است که بزرگترین آن‌ها از نوع لغزش مرکب میناوند با میزان جابجایی ۵,۲ سانتیمتر در این مدت جابجایی داشته است. همچنین توده لغزشی میناوند و زیدشت

مهمترین نقطه های لغزشی منطقه در دوره اخیر می‌باشند که در مجاورت سد طالقان و منازل مسکونی قرار دارند [۳۶].

✓ زهرا میرزایی و همکاران ۲۰۱۹؛ به بررسی تغییر شکل سطح زمین در میدان نفتی آذر، واقع در شرق شهر مهران، استان ایلام، پرداختند. آن‌ها در این مطالعه با استفاده از Persistent Scatter Interferometry (PSI)، که روشی برای تجزیه و تحلیل سری زمانی است، برای اندازه گیری تغییر شکل های مختلف استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که حداکثر میزان جابه جایی در میادین مشترک ایران و عراق در جهت عمودی ۱۵ میلی متر و در جهت افقی ۳۰ میلی متر بوده است. تغییر شکل عمودی، فرونشست ناشی از استخراج را تأیید می‌کند که بیشتر در مجاورت میدان نفتی مشاهده شده است و تغییر شکل افقی به دلیل وقوع بارندگی قابل توجه پس از یک دوره خشک سالی و همچنین وجود لایه های ماسه در اعماق مختلف می‌باشد [۳۷].

✓ امیر افشاری و همکاران ۱۳۹۸؛ به ارزیابی ناپایداری دامنه ها در ناحیه راه آهن لرستان با بهره گیری از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری پرداختند. آن‌ها از تصاویر ماهواره Sentinel-1 در بازه زمانی سه سال از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ استفاده کردند. همچنین از نرم افزار SUBSOFT به منظور تحلیل استفاده شده است. نتایج حاصل از تفسیر نمودار های سری زمانی نشان داد که بیشترین میزان حرکات مواد در فصول پاییز و بهار بوده و بیشترین میزان حرکت موارد در بازه سه ساله حدود ۲۸,۸ سانتیمتر در محدوده ایستگاه تنگ هفت تا تنگ پنج می‌باشد [۳۸].

✓ علی مهرابی و همکاران ۱۳۹۹؛ به پایش نرخ جابجایی رانش زمین در منطقه مشایخ، شهرستان ممسنی فارس، با استفاده از تکنیک پراکنش کننده های دائمی تصاویر راداری سنتینل ۱ پرداختند. در این پژوهش ۷۵ تصویر ماهواره سنتینل ۱ طی سه دوره از سال

۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ انتخاب کردند. نتایج بدست آمده نرخ جابجایی رخ داده در سطح توده رانشی از ۲ اکتبر ۲۰۱۴ تا ۳۱ می ۲۰۱۶ به میزان ۵,۱ سانتیمتر در سال، طی زمان ۱۸ جولای ۲۰۱۶ تا ۲۸ دسامبر ۲۰۱۷ به میزان ۵,۳ سانتیمتر در سال و در طول زمان ۹ ژانویه ۲۰۱۸ تا ۲۷ جولای ۲۰۱۹ به ۵,۷ سانتیمتر در سال رسیده است. همچنین مساحت توده رانشی از ۳,۵ کیلومتر مربع به ۴ کیلومتر مربع گسترش یافته است [۳۹].

✓ حمید گنجائیان و همکاران ۱۳۹۹؛ به بررسی اثرات محسوس و نامحسوس زمین لرزه منطقه ازگله کرمانشاه بر لندفرم‌ها با بهره‌گیری از تصاویر سنتینل ۱ و اطلاعات بازدید های میدانی پرداختند. این پژوهش شامل سه مرحله بوده است. نتایج بیانگر این است که تحت تاثیر زمین لرزه ازگله، منطقه بین ۶۱۳- تا ۹۱۷ میلی‌متر جابجایی داشته است. همچنین لندفرم های منطقه نیز با جابجایی های زیادی روبرو شدند به طوری که دشت های منطقه نیز تحت تاثیر این جابجایی بودند. بیشترین میزان جابجایی با ۳۸۲ تا ۹۱۷ میلی‌متر بالآآمدگی مربوط به دشت ذهاب بوده است. دامنه های واقع در منطقه نیز با اثرات محسوس زیادی مواجه شدند، به نحوی که بسیاری از دامنه های نزدیک به روستای رمکی رمضان، مله کبود و قوچ باشی با زمین لغزش و دامنه های نزدیک به آبشار پیران و دره بابا یادگار با ریزش روبرو شدند [۴۰].

✓ ساسان بابایی و همکاران ۲۰۲۰؛ به بررسی فرونشست زمین با استفاده از تداخل سنجی Synthetic Aperture Radar (SAR) و الگوهای آب زیرزمینی در دشت قزوین، کشور ایران، پرداختند. آن‌ها از داده‌های Envisat و Sentinel-1 برای مطالعه فرونشست استفاده کردند. آنالیز سری‌های زمانی Envisat و Sentinel-1 بیان‌گر این است که منطقه به‌ترتیب با نرخ متوسط ۴۰ میلی‌متر و ۶۵ میلی‌متر در سال، در حال فرونشست می‌باشد. مقایسه نقشه‌های به‌دست آمده، نشان‌دهنده رشد الگوی فرونشست در منطقه است. همچنین

بررسی منابع آب زیرزمینی حاکی از کاهش تقریباً ۱۷ متری سطح آب زیرزمینی از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ می‌باشد. در نتیجه کنترل تعداد چاه‌ها و روش‌های آبیاری کشاورزی ممکن است در کاهش سطح آب‌خوان تأثیر به‌سزایی داشته باشد و منجر به کنترل پدیده فرونشست شود [۴۱].

۲-۷-۲- مروری بر مطالعات گذشته در سایر نقاط جهان

✓ آنا بارا و همکاران^۱ ۲۰۱۶؛ به بررسی پتانسیل داده‌های Sentinel-1 برای تشخیص رانش زمین در منطقه Molise، کشور ایتالیا که روند زمین لغزش در آن مکرر است، پرداختند. آن‌ها با تلفیق نقشه‌های جابجایی و سری‌زمانی Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) با داده‌های زمین‌شناسی/ ژئومورفولوژیکی در محیط GIS، شروع به تجزیه و تحلیل داده‌ها نمودند. نتایج بدست آمده توانایی Sentinel-1 را برای تجزیه و تحلیل و نظارت بر رانش زمین، نشان داد. علاوه بر این، در صورت وجود سری‌زمانی طولانی‌تری از Sentinel-1 برای پردازش، درک بهتر از رفتار لغزش و ارتباط آن با عوامل محرک پیش‌بینی می‌شود [۴۲].

✓ آنا بارا و همکاران^۲ ۲۰۱۷؛ به شناسایی و به‌روزرسانی مناطق با قابلیت تغییر شکل فعال براساس تصاویر SAR ماهواره Sentinel-1 در جزایر Gran Canaria، Tenerife و La Gomera پرداختند. هدف اصلی این مطالعه، ارائه روشی برای به‌روزرسانی و ارزیابی دوره‌ای فعالیت‌های خطر جغرافیایی مانند زمین لغزش، فرونشست و غیره در یک منطقه خاص بابت بهره‌برداری از پوشش منطقه‌ای وسیع و انسجام زیاد، توسط ماهواره Sentinel-1 ارائه شده است. محصولات اصلی این روش، دو نقشه به‌روز شده است: ۱- نقشه فعالیت

¹ Anna Barra et al.

² Anna Barra et al.

تغییرشکل (DAM^۱) -۲ نقشه مناطق فعال تغییرشکل (ADA^۲). این نقشه‌ها دوسطح مختلف از اطلاعات را باهدف سطوح مختلف مدیریت ریسک، از سطح بسیار ساده اطلاعات تا نقشه تغییرشکل کلاسیک، مبتنی بر تداخل‌سنجی SAR ارائه می‌دهند [۴۳].

✓ الکساندرو نولینو و همکاران^۳ ۲۰۱۷؛ به ارزیابی امکان‌سنجی نقشه تغییرشکل زمین در بریتانیا با استفاده از تصاویر SAR ماهواره Sentinel-1 پرداختند. نتایج InSAR، از طریق پردازش ISBAS در منطقه دانکاستر، نشان‌دهنده کاهش مداوم انحراف استاندارد سرعت‌های InSAR از ۶ میلی‌متر در سال به کمتر از ۲ میلی‌متر در سال است. چنین نتایجی می‌تواند با داده‌های زمین‌شناسی، اطلاعات کلیدی را برای آگاهی دادن به دولت، مردم و سایر نهادها درباره پایداری زمین فراهم کند [۴۴].

✓ جی دانگ و همکاران^۴ ۲۰۱۸؛ به تخمین میزان جابجایی سطح زمین و سری زمانی با استفاده از داده‌های InSAR در حوضه رودخانه دادو، بخش دانبا، کشور چین، پرداختند. در این مطالعه، یک روش جدید به نام Coherent Scatterers InSAR (CSI)، که ترکیبی از دوروش Persistent Scatterers (PS) و Distributed Scatterers (DS) می‌باشد، استفاده کردند. روش CSI شامل سه مرحله پیش‌پردازش PS، پیش‌پردازش DS و تجزیه و تحلیل ترکیبی از اهداف PS و DS است. در گذشته یک سری از زمین لغزش‌ها به دلیل جزئی بودن، قابل تشخیص نبود ولی نتایج بدست آمده از روش CSI پیشنهادی، هنگام جابجایی زمین لغزش به خوبی رفتار می‌کند. این روش نه تنها می‌تواند دامنه‌های ناپایدار را تشخیص دهد و مرزهای لغزش‌های شناخته شده را به طور دقیق مشخص کند، بلکه قادر به نظارت بر لغزش‌های مهم را نیز فراهم کند و ممکن است بتواند حرکات شیب، پیش از

¹ Deformation Activity Map

² Active Deformation Areas

³ Alessandro Novellino et al.

⁴ Jie Dong et al.

شکست را به منظور اخطار اولیه ضبط کند [۴۵].

✓ متیو روکزیانی و همکاران^۱ ۲۰۱۸؛ به‌شناسایی گسیختگی سطح زمین با بهره‌گیری از داده‌های تداخل‌سنجی SAR از ماهواره Sentinel-1 در ایتالیا مرکزی پرداختند. آن‌ها با ترکیب مدارهای صعودی و نزولی، اجزای افقی و عمودی حرکت را بازیابی کردند. پس از آن با استفاده از مقادیر جابجایی عمودی، نقشه‌های شیب را بهینه‌شده محاسبه کردند. با به‌کارگیری این داده‌ها، می‌توان گسیختگی‌های اصلی را که در گذشته توسط بررسی‌های میدانی شناسایی شده‌اند، تشخیص داد. که ارزش این‌روش را به‌عنوان یک پشتیبان نقشه‌برداری معتبر از منطقه تأیید می‌کند [۴۶].

✓ پائول ماکاروف و فلوریان استاتسکو^۲ ۲۰۱۸؛ از تکنیک DInSAR که ابزاری قدرتمند برای تشخیص نظارت بر تغییر شکل و نقشه‌برداری از جابجایی زمین است، استفاده نمودند. آن‌ها از نرم‌افزار SNAP برای پردازش تصاویر Sentinel-1 بهره گرفتند. نتایج حاصل‌شده از جابجایی عمودی در منطقه یاشی از کشور رومانی، بین ۹- تا ۱۸ میلی‌متر متغیر بوده و در مناطق شرقی، شمالی و جنوبی فرونشست زمین مشاهده شده است [۴۷].

✓ سیلویا لیبراتایولو و همکاران^۳ ۲۰۱۸؛ به تداخل‌سنجی SAR با استفاده از داده‌های Sentinel-1 و نرم‌افزار SNAP، به‌منظور اندازه‌گیری‌های محیطی در جزیره ایشیا، جنوب ایتالیا، پرداختند. هدف از این مطالعه، اندازه‌گیری اختلاف فاز جابجایی‌های زمین، پس از زلزله بوده است. نتایج نشان‌دهنده پایین‌آمدن خاک در اطراف مرکز زلزله تا ۴ سانتی‌متر است. آن‌ها در کارهای آینده به پیوند دادن داده‌های ماهواره‌ای با سایر پارامترهای فیزیکی مانند شتاب، بزرگی و انرژی آزادشده به منظور ایجاد ابزاری برای تخمین خسارت استفاده می‌کنند [۴۸].

¹ Matteo Roccheggiani et al

² PAUL MACAROF and FLORIAN STĂTESCU

³ S.L. Ullo et al.

✓ حمیت بران و بکیر تانرسان^۱ ۲۰۱۸؛ به‌اندازه‌گیری تغییرشکل ناشی از زلزله در جنوب حلبچه (سرپل ذهاب)، در نزدیکی مرز ایران و عراق، با استفاده از Interferometric Wath Swath، که یکی از چهارنوع نمایش داده‌های Sentinel-1 است، پرداختند. بهره‌گیری از فن‌آوری‌های InSAR با نرم‌افزارهای Open Source و داده‌های رایگان، امکان تهیه نقشه جابجایی درست پس از زلزله امکان‌پذیر است. آن‌ها برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SNAP5.0 استفاده کردند. طبق نتایج بدست آمده، حداقل و حداکثر جابجایی سطح، ۴۵ سانتی‌متر فرونشست و ۴۹ سانتی‌متر بالاآمدگی بوده است [۴۹].

✓ امانوئل اینترییری و همکاران^۲ ۲۰۱۸؛ به‌شناسایی عوامل زمین لغزش به‌وقوع پیوسته در منطقه Moaxian، استان سیچوان چین با داده‌های ماهواره Sentinel-1 پرداختند. آن‌ها با این داده‌ها، نقشه‌های تغییرشکل زمین و سری زمانی جابجایی تولید کردند. داده‌های Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) به‌وضوح، شکست شیب را در زمین لغزش با حداکثر سرعت جابجایی ۲۷ میلی‌متر/سال در امتداد خط دید ماهواره نشان می‌دهند. علاوه بر آن سری‌های زمانی جابجایی بیانگر این موضوع هستند که در منطقه پیش‌شکست از قبل وجود داشته است. نتایج نشان می‌دهند که داده‌های راداری ماهواره‌ای بازمان تجدید کوتاه، نه‌تنها ابزاری برای نقشه‌برداری مناطق ناپایدار، بلکه برای نظارت بر زمین لغزش، حداقل برای برخی از پدیده‌های لغزشی (کشویی) استفاده می‌شوند [۵۰].

✓ مامین ایماموقلو و همکاران^۳ ۲۰۱۸؛ به‌بررسی توانایی و عملکرد سیستم نسل جدید داده‌های Sentinel-1 برای شناسایی و نظارت بر تغییرشکل سطح زمین با استفاده از نرم‌افزارهای SNAP و StaMPs، در شهر استانبول، کشور ترکیه، پرداختند. در این مطالعه

¹ Hamit Beran GUNCE & Bekir Taner SAN

² Emanuele Intrieri et al.

³ Mumin Imamoglu et al.

نظارت بر تغییرشکل مداوم شهر استانبول با داده‌های SAR و GPS انجام شده است. نتایج حاکی از این است که مناطق خاصی از شهر سال‌ها در معرض فرونشست (نرخ تغییرشکل در طی یک دوره ۴ ساله حدود ۸ میلی‌متر در سال) بوده است. در این پژوهش نتایج حاصل شده از تکنیک PSI می‌تواند پتانسیل بالایی در زمینه نظارت بر تغییرشکل زمین با استفاده از داده‌های Sentinel-1 داشته باشد [۵۱].

✓ لورنزو سولاری و همکاران^۱ ۲۰۱۸؛ به بررسی ویژگی‌های فاز و دامنه تصاویر ماهواره‌ای SAR و داده‌های زمینی، به صورت یک پارچه، برای استخراج تغییرشکل ناشی از یک زمین لغزش در بخشی از منطقه پونزانو واقع در ایتالیا مرکزی، پرداختند. نتایج نشان دادند که زمین منطقه در طی ۹ سال قبل از زمین لغزش در حال حرکت بوده است ولی حداکثر حرکت، پس از زمین لغزش فوریه ۲۰۱۷ رخ داده است که حدود ۱۰ متر در برخی نقاط جابجایی ایجاد کرده است. همچنین دریافتند که تصاویر SAR برای بررسی لغزش‌ها قبل و بعد شکست، کارایی بسیاری دارند. از خروجی‌های این تصاویر نیز می‌توان برای اجرا در استراتژی‌های مدیریت ریسک استفاده کرد [۵۲].

✓ فتوا رمدانی و همکاران^۲ ۲۰۱۹؛ به بررسی جابجایی خطی سطح گسیختگی ناشی از زلزله پالو، کشور اندونزی، با بهره‌گیری از الگوریتم تداخل‌سنجی راداری SAR با ترکیب داده‌های با رزولوشن بالا PlanetScope، پرداختند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SNAP استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده خط‌دید (Line of Sight) جابجایی عمودی ۱ متر، در حالی که جابجایی افقی ۲ متر بوده است. علاوه بر این، وضوح بسیار بالا تصویر نوری PlanetScope، درک ما را از جابجایی افقی ناشی از زلزله بهبود می‌بخشد [۵۳].

¹ Lorenzo Solari et al.

² Fatwa Ramdani et al.

✓ فاتما کاناسلان قوموت و همکاران^۱ ۲۰۲۰؛ به تخمین تغییر شکل زمین ناشی از زلزله ۷,۳ ریشتری ۲۰۱۷ در حوالی سرپل ذهاب، کشور ایران، با استفاده از روش DInSAR برای داده‌های Sentinel-1 پرداختند. بهترین راه برای کنترل تغییر شکل زمین در چنین رویداد بزرگی، استفاده از تکنیک SAR است. این سیستم در شرایط مختلف آب‌وهوایی می‌تواند در طول شبانه‌روز مؤثر باشد. با توجه به نتایج بدست‌آمده، منطقه مورد نظر ۹۰ سانتی‌متر بالا آمدگی و ۴۱ سانتی‌متر فرونشست، به ترتیب در قسمت شمال شرقی و جنوب غربی گسل نشان می‌دهد [۵۴].

✓ آجلیکی کیریو و همکاران ۲۰۲۰؛ به نقشه برداری از زمین لغزش سال ۲۰۱۷ در معدن منطقه Aminteo، مقدونیه غربی یونان، با داده‌های راداری و نوری پرداختند. آن‌ها از داده‌های Sentinel-1، Sentinel-2 و Landsat 8 به منظور پردازش استفاده کردند. نتایج حاصل از داده‌های سنتینل ۱ و ۲ بیانگر این بود که این داده‌ها برای نقشه برداری لغزش بسیار کارآمد هستند. بیشترین میزان جابجایی در خط دید ماهواره (LOS) حدود ۴,۵ متر و بیشترین جابجایی عمودی تخمین زده شده تقریباً ۱,۷۳ سانتی‌متر بود [۵۵].

✓ بیتا ویژورک^۲ ۲۰۲۰؛ به ارزیابی منطقه Olsztyn در کشور لهستان، با بهره‌گیری از تداخل‌سنجی SAR پرداخت. او در این پژوهش از الگوریتم PSInSAR، مورد استفاده در روش StaMPS، بهره گرفت. نتایج نشان دهنده میانگین تغییر شکل در محدوده ۴- تا ۳,۳ میلی‌متر/ سال است که تغییر شکل‌ها را به صورت نقشه حرکت اندازه‌گیری شده، نشان می‌دهند [۵۶].

✓ رافائل کادوف^۳ و همکاران ۲۰۲۰؛ به بررسی خطر زمین لغزش سریع Kandersteg، آلپ

¹ Fatma CANASLAN ÇOMUT et al.

² Beata WIECZOREK

³ Rafael Caduff

سوئیس، با استفاده ترکیبی از داده‌های اطلاعات ماهواره‌ای InSAR و رادار زمینی پرداختند. شیب‌های شمال غربی این منطقه در حال حرکت مداوم بوده است. پس از ارزیابی جدید با داده‌های InSAR ماهواره Sentinel-1، مشخص شد که آن شیب‌ها از حدود ۷ میلی‌متر در روز تا چندین سانتی‌متر در روز، در طی دو هفته در جولای ۲۰۱۸ در حال حرکت بودند. با شناسایی سریع توسط این داده‌ها، به انتخاب سیستم‌های پیشرفته و افزایش آمادگی در آن مناطق کمک می‌کند [۵۷].

✓ عزیزی بوچرا^۱ و همکاران ۲۰۲۰؛ به تجزیه و تحلیل زمین لغزش در مراکش شمالی با استفاده از تکنیک DInSAR و داده‌های Sentinel-1 پرداختند. در این پژوهش از DInSAR که ابزاری قدرتمند برای تشخیص و نظارت بر تغییر شکل زمین است، در چهار منطقه مورد مطالعه استفاده کردند. اینترفروگرام و سپس نقشه‌های تغییر شکل با دقت برحسب میلی‌متر در سال تولید کردند. در بازه زمانی ۸ ژوئن تا ۲۶ جولای ۲۰۱۵، در منطقه Bab Berred، مقادیر جابجایی بین ۰٫۰۴ تا ۰٫۱ متر، در بازه زمانی ۹ ژوئن تا ۲۱ جولای ۲۰۱۷، در زون Stehat RN16 و Talambote P4105، مقادیر جابجایی بین ۰٫۰۱۹ تا ۰٫۰۴۶- متر و در بازه زمانی ۲۹ جولای تا ۲۴ آگوست ۲۰۱۵، در زون Talambote و Derdara، مقادیر جابجایی بین ۰٫۰۷۹ تا ۰٫۰۷۳- متر متغیر بوده است [۱۳].

✓ کریستینا ریس کارمونا^۲ و همکاران ۲۰۲۰؛ به پایش زمین لغزش‌های فعال در زیرساخت‌های بحرانی، جنوب اسپانیا، با استفاده از تکنیک DInSAR پرداختند. آن‌ها با ادغام این روش و یک مطالعه ژئومورفولوژیکی جامع، به نتایج جامعی دست یافتند. تفاوت بین زمین لغزش‌های چرخشی و معکوس را متوجه شدند و خطرات احتمالی آن‌ها را ارزیابی کردند.

¹ Azizi Bouchra

² Cristina Reyes-Carmona

همچنین مشاهده کردند که تغییرات سطح آب سد، بر رفتار لغزش تاثیر می‌گذارد و تغییر شکل یک گذرگاه بزرگراهی که از کنار مخزن سد عبور می‌کند، تشخیص دادند. بنابراین تکنیک DInSAR در کنار سایر تکنیک‌های نظارتی برای تشخیص هرگونه گسیختگی و تغییر شکل بحرانی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد تا از آسیب‌های جبران ناپذیر جلوگیری شود [۵۸].

✓ روبرتا بونی^۱ و همکاران ۲۰۲۱؛ به ارزیابی امکان سنجی تداخل سنجی تفاضلی پیشرفته (A-DInSAR) با استفاده از تصاویر SAR ماهواره سنتینل ۱، برای نظارت بر زمین لغزش در مقیاس بزرگ، ارائه شده است. آن‌ها از روش ALFA^۲ در بخش آلپ منطقه پیمونت در ایتالیا، استفاده کردند. این روش در منطقه‌ای به وسعت ۵۳۰۰ کیلومتر مربع متاثر از ۵۷۰۳ رانش زمین در نقشه پایگاه داده منطقه پیمونت اعمال شد. نتایج نشان داد که پتانسیل داده‌های سنتینل ۱ برای نظارت بر رانش زمین در مقیاس بزرگ وجود دارد. همچنین این روش ابزارهای قابل اعتمادی را ارائه می‌کند که می‌تواند امکان استفاده از داده‌های سنتینل ۱ برای نظارت بر رانش زمین در مقیاس منطقه‌ای و ملی مفید باشد [۵۹].

۲-۸- جمع بندی

با مرور تاریخچه رانش زمین و تغییر شکل سطح زمین، این موضوع روشن است که محققان در چند سال گذشته از روش‌های زیادی برای محاسبه جابجایی‌ها، تهیه نقشه‌های جابجایی، پارامترهای تاثیرگذار در لغزش زمین و ... استفاده کردند که هر کدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی است. روش‌هایی مانند InSAR، DInSAR و PSI^{۲۵} از مورد توجه‌ترین روش‌هایی است که امروزه

¹ Roberta Boni

² Assessment of the advanced differential interferometric synthetic Aperture radar technique Feasibility for large scale Landslide monitoring

²⁵ Persistent Scatterer Interferometry

استفاده می‌شوند. روش InSAR یا تداخل سنجی رادار دهانه ترکیبی، ابزاری مفید در مطالعه پدیده‌هایی است که سبب تغییرات در سطح زمین می‌شوند. اساس کار این روش استفاده از اطلاعات فاز رادار بازتابی از زمین است به نحوی که تغییرات ایجاد شده در سطح زمین سبب اختلاف فاز در دو تصویر رادار از دو زمان مختلف از منطقه مشابه می‌شوند که با بررسی این اختلاف فاز و مدلسازی، تغییرات سطح زمین قایل کمی سازی هستند [۳۰].

DInSAR یا رادار روزنه مصنوعی تداخل سنج، روشی قدرتمند برای ایجاد مدل‌های رقومی ارتفاعی در سطح زمین و تصویربرداری از جابجایی‌های مرتبط با تغییر ساختارهای پوسته زمین در مقیاس سانتی‌متر است [۶۰].

ماهواره‌های راداری Sentinel-1، ALOS، ENVISAT و Landsat 8 نیز با توجه به زمان برداشت تصاویر، برای انجام روش‌های فوق بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. براساس تحقیقات صورت گرفته پیشین و نتایج حاصل شده، در این پژوهش، از تلفیق داده‌های زمینی و داده‌های ماهواره راداری Sentinel-1 با استفاده از روش DInSAR، که دقت اندازه‌گیری بالایی داشته و رایگان و بروز می‌باشند، برای محاسبه میزان جابجایی در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. و در نهایت به مقایسه نتایج دو روش باهم پرداخته شده است.

فصل ۳:

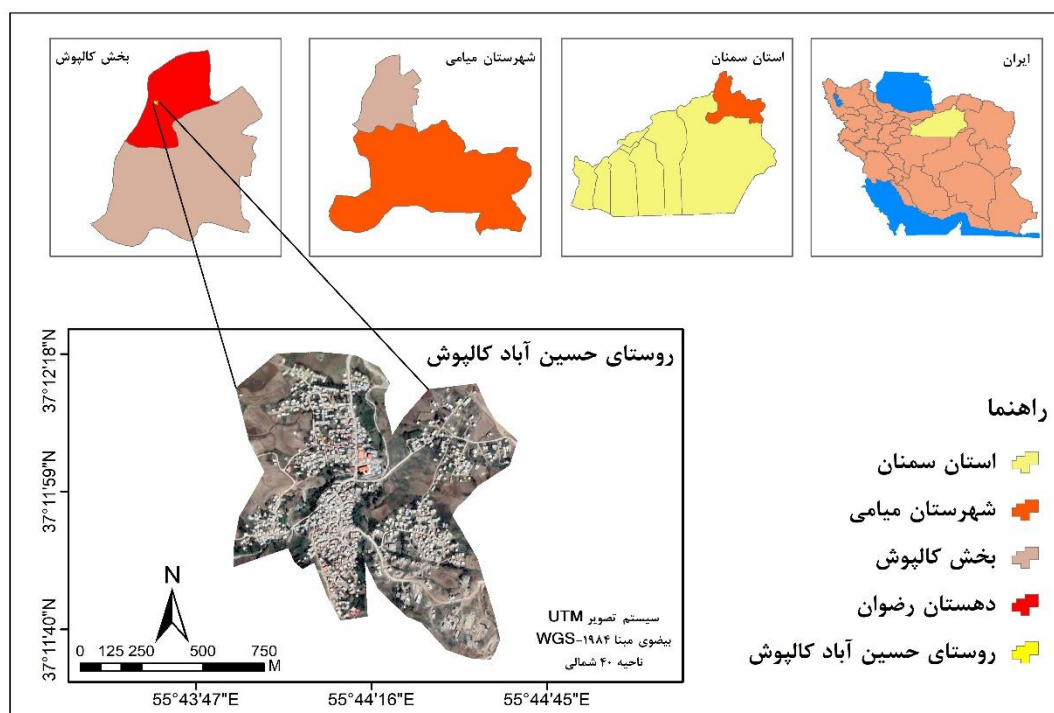
مواد و روش‌ها

۳-۱- مقدمه

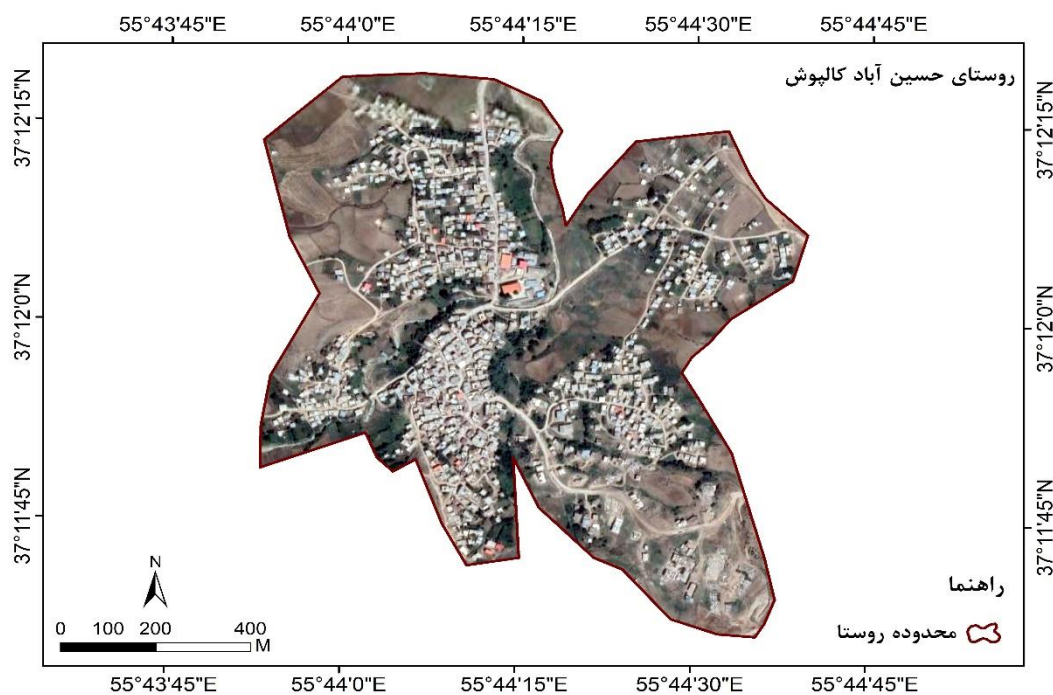
در این فصل ابتدا به بررسی منطقه حسین آباد کالپوش و خصوصیات زمین شناسی نظیر نوع خاک، پوشش گیاهی، شرایط اقلیمی و... آن پرداخته شده است. همچنین ویژگی‌های ماهواره Sentinel-1 به طور خلاصه بیان شده است. سپس به بحث و بررسی مطالعات ژئوتکنیکی پرداخته شده است. در انتهای فصل نیز خلاصه از روند و فلوچارت تحقیق آورده شده است.

۳-۲- منطقه مورد مطالعه

شهرستان میامی در شمال شرقی استان سمنان قرار گرفته است. این شهرستان در سال ۱۳۹۰، به عنوان شهرستانی جدید تأسیس گردید. طول جغرافیایی این شهرستان بین ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه و ۵۶ درجه، عرض جغرافیایی آن بین ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه می‌باشد. ارتفاع ایستگاه هواشناسی مرکز این شهرستان از سطح دریا ۱۱۲۰ متر است. شهرستان میامی با وسعت ۸۳۵۶ کیلومتر مربع مساحت، از سمت غرب و جنوب با شهرستان شاهرود، از شرق با خراسان رضوی، از شمال شرقی با خراسان شمالی و از سمت شمال با استان گلستان هم‌مرز می‌باشد. شهرستان میامی شامل ۲ بخش مرکزی و کالپوش می‌باشد. روستای حسین آباد کالپوش در بخش کالپوش و در دهستان رضوان واقع شده است [۶۱]. این روستا با جمعیتی بالغ بر ۴۰۰۰ نفر یکی از بزرگ‌ترین روستاهای استان سمنان است که در مرز استان سمنان و گلستان در فاصله تقریبی ۱۱۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان شاهرود و ۵۰ کیلومتری شرق گنبد کاووس قرار دارد. از نظر اقلیمی این روستا آب و هوای کوهستانی دارد که همین موضوع سبب شده است که زمستان‌هایی پربرف و تابستانی خنک داشته باشد. شکل (۳-۱) موقعیت استان سمنان، شهرستان میامی، بخش کالپوش و روستای حسین آباد کالپوش را به ترتیب از راست به چپ نشان می‌دهد. همچنین شکل (۳-۲) محدوده روستای حسین آباد کالپوش را به صورت بزرگنمایی نشان می‌دهد.



شکل (۳-۱) موقعیت روستای حسین آباد کالپوش در استان سمنان، شهرستان میامی و کشور



شکل (۳-۲) محدوده روستای حسین آباد کالپوش

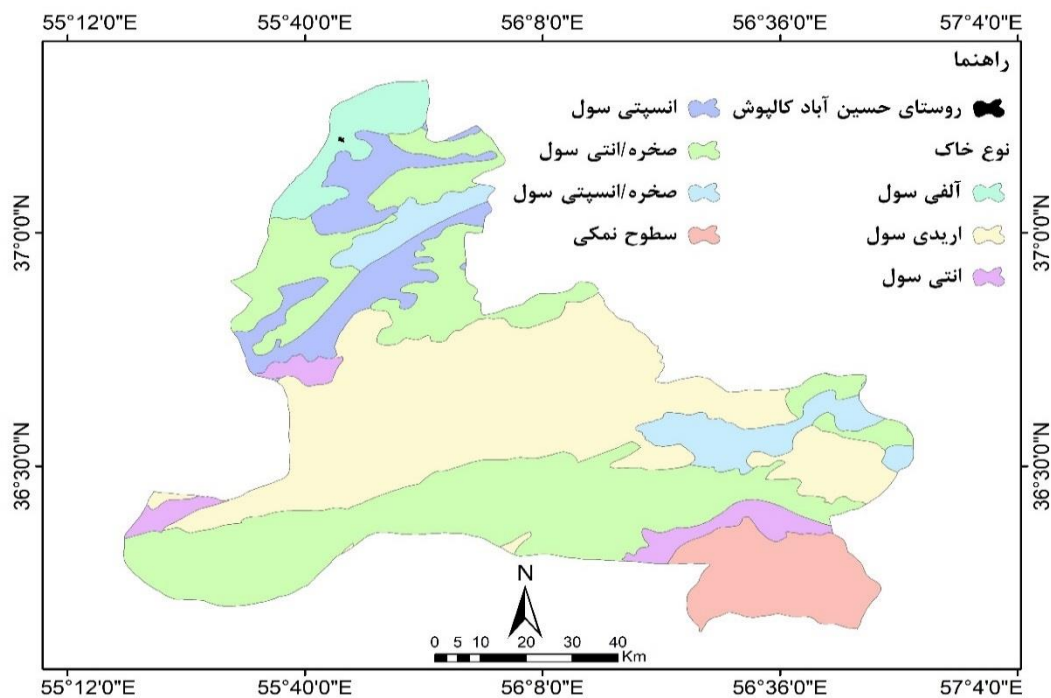
۳-۲-۲- زمین‌شناسی منطقه

از دیدگاه ریخت زمین‌شناسی (ژئومورفولوژی)، استان سمنان و شهرستان میامی از ۲ گستره کوهستانی و دشت شکل گرفته است. ۲۱/۰۳ درصد اراضی کوه‌ها، ۱۹/۲۷ درصد تپه‌ها، ۳۱/۱۵ درصد فلات‌ها، ۳/۷۷ درصد دشت‌های دامنه‌ای، ۲/۵ درصد دشت‌های رسوبی، ۱۱/۷۹ درصد دشت‌های سیلابی، ۱۰/۴۶ درصد واریزه‌های بادبزنی شکل سنگ‌ریزه‌دار و ۰/۰۱ درصد اراضی مخلوط هستند [۶۱]. همچنین در این منطقه با توجه به تنوع نهشته‌ها، نوع فرسایش و گسترش واحدهای سنگی یکسان نیستند. بخش‌های مرتفع از سنگ‌های آهکی کرتاسه، سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی ائوسن و نواحی پست نیز از سنگ‌های سست (مارن و ماسه سنگ) نئوژن تشکیل شده است. از ارتفاعات مهم ناحیه می‌توان به کوه میامی (۲۴۱۷ متر)، سوخته کوه (۲۴۱۵ متر) و کوه آسیاب (۲۰۳۲ متر) اشاره کرد. رودخانه دائمی در ناحیه وجود ندارد و رودخانه زیدر، رودکال طاقی و گفتاره از رودهای فصلی مهم این منطقه هستند. این اطلاعات در آذر ۱۳۹۹ از سایت برداشته شده است (www.gsi.ir).

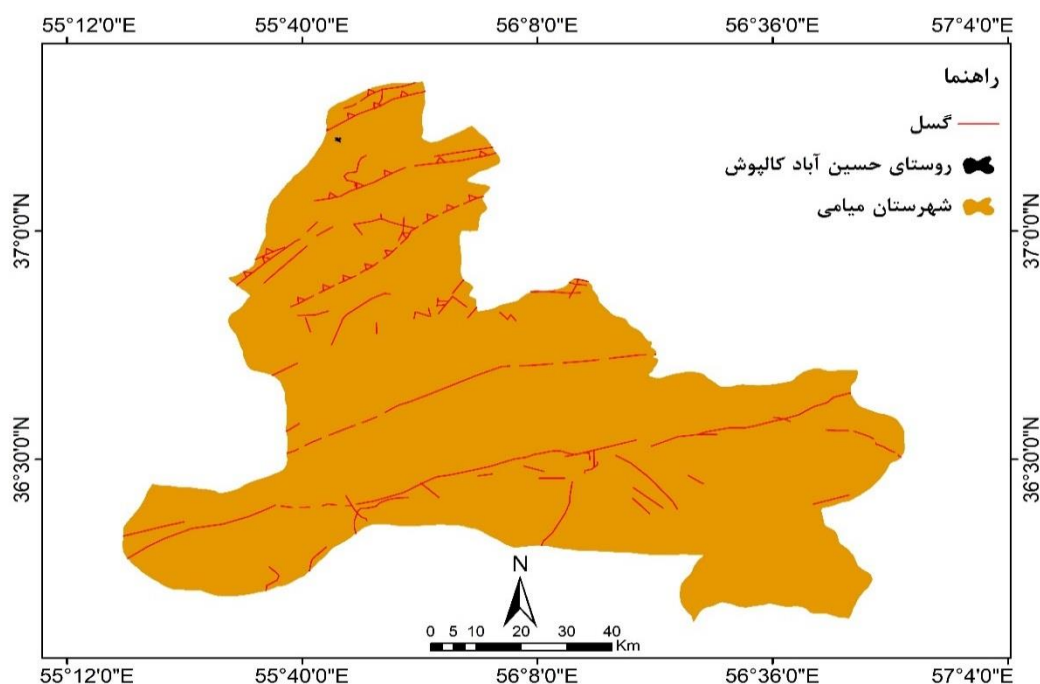
شکل (۳-۳) طبقه بندی خاک شهرستان میامی و روستای حسین آباد کالپوش را نشان می‌دهد. خاک روستا در سیستم طبقه بندی خاک‌های ایالات متحده، از نوع آلفی سول می‌باشد. این نوع خاک معمولاً در شرایط هوایی نیمه مرطوب، غالباً در مناطق دارای پوشش گیاهی زیاد و دارای رس فراوان می‌باشد.

گسل‌های اصلی موجود در شهرستان میامی و منطقه کالپوش شامل گسل چشمه نیک و نردین می‌باشد که به ترتیب با طول ۷۹ و ۳۲ کیلومتر و روند شمال خاوری - جنوب باختری، آثار رخنمون‌های بارزی را بر روی واحدهای سنگی بر جای گذاشتند. با توجه به مطالعات انجام شده، سازوکار این دو گسل به صورت معکوس می‌باشد و آثار جنبش کواترنری گسل چشمه نیک را به خوبی می‌توان بر روی نهشته‌های کواترنری مشاهده کرد. بنابراین این گسل، یک گسل معکوس

کواترنری است [۶۲]. شکل (۳-۴) نقشه گسل‌های شهرستان میامی نشان داده شده است که این گسل‌ها از غرب به شرق شهرستان میامی امتداد دارند و یکی از دلایل لغزش در شهرستان می-باشند.



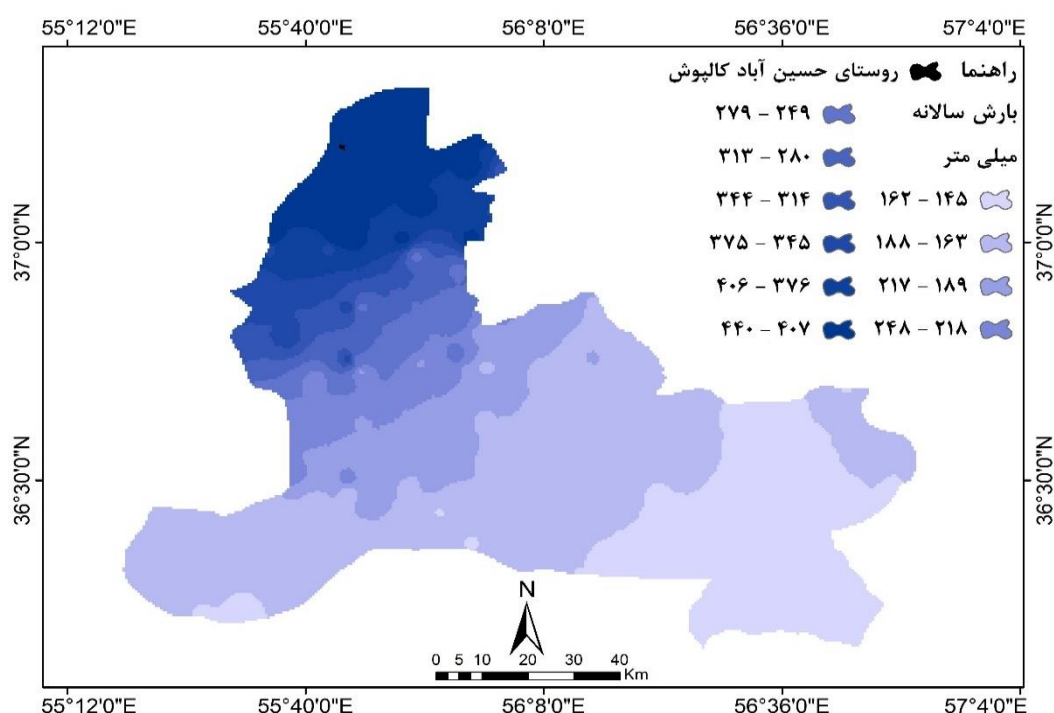
شکل (۳-۳) طبقه‌بندی خاک شهرستان میامی و روستای حسین آباد کالپوش



شکل (۳-۴) نقشه گسل‌های شهرستان میامی و روستای حسین آباد کالپوش

۳-۲-۳- شرایط اقلیمی منطقه

بیشترین محدوده این شهرستان دارای اقلیم بیابانی سرد می‌باشد که در بخش میانی و جنوبی آن قرار گرفته است. همچنین بخشی از جنوب شهر میامی و شمال استان دارای اقلیم مدیترانه‌ای معتدل می‌باشد. بخش‌هایی از مناطق کوهستانی غرب شهرستان دارای اقلیم‌های نیمه مرطوب معتدل و سرد می‌باشند. اقلیم مرطوب نیز، نوار باریکی از شمال شهرستان را شامل می‌شود [۶۱]. بخش کالپوش که در شمال این شهرستان قرار گرفته است، دارای اقلیم‌های نیمه مرطوب معتدل، نیمه مرطوب سرد و مدیترانه‌ای معتدل می‌باشد. شکل (۳-۵) میزان بارندگی شهرستان میامی را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل مشخص است منطقه کالپوش دارای بیشترین میزان بارندگی سالانه در مقایسه با دیگر مناطق شهرستان میامی می‌باشد که بارندگی‌های زیاد در منطقه یکی از عوامل لغزش در منطقه بوده است.



شکل (۳-۵) نقشه میزان بارندگی شهرستان میامی

همچنین متوسط دمای شهرستان میامی در سال زراعی ۹۴-۹۳، ۱۶ درجه سانتیگراد و در سال زراعی ۹۵-۹۴، ۱۶٫۱ درجه سانتیگراد و میانگین بلندمدت ۱۵٫۵ درجه بوده است. که در مقایسه با بلندمدت ۰٫۶ درجه افزایش را نشان می‌دهد.

اطلاعات مربوط به حداکثر سرعت باد در بازه زمانی ۹۴-۹۵ نیز بیان‌گر آن است که حداکثر سرعت وزش باد در میامی ۲۰ متر بر ثانیه و در فصل تابستان بوده است. اطلاعات فوق در آبان ۱۳۹۹ از سایت هواشناسی استان سمنان برداشت شده است (www.semnanweather.ir).

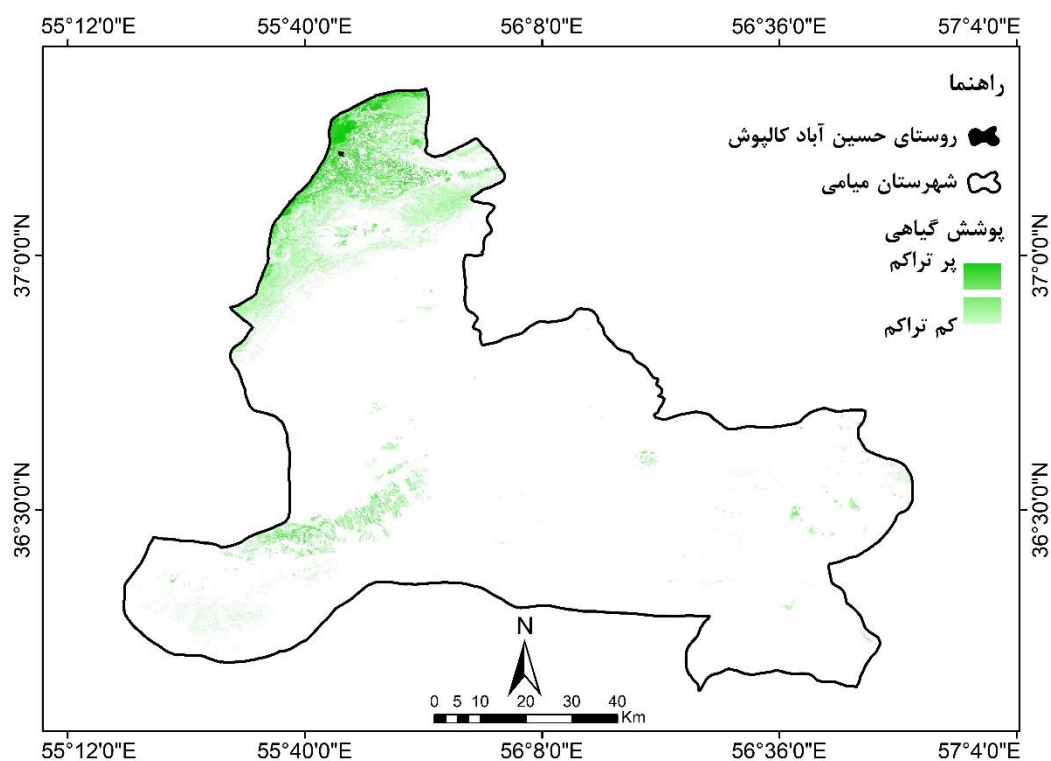
۳-۲-۴- پوشش گیاهی منطقه

از کل جنگل‌های استان سمنان، ۱۶٫۳۲ درصد، از کل مراتع ۱۴٫۷۲ درصد و از کل بیابان‌ها ۱٫۲ درصد مربوط به شهرستان میامی می‌باشد. سطح جنگل‌ها در شهرستان میامی با ۷۵۰۲۷ هکتار، ۱۶٫۳۲ درصد از کل جنگل‌های استان را شامل می‌شود که میزان آن‌ها در سال ۱۳۹۵ نسبت به

۱۳۹۱ تغییری نداشته است. جنگل‌های این شهرستان شامل ۲۱,۸ درصد جنگل‌های ارس، ۴۸,۷۶ درصد جنگل‌های بیابانی و ۲۹,۴۴ درصد جنگل‌های پهن برگ هیرکانی می‌شوند. ۱۹,۵۲ درصد از جنگل‌های این منطقه جنگل‌های طبیعی انبوه، ۴۶,۷۶ درصد به جنگل‌های طبیعی نیمه انبوه و ۳۳,۷۲ درصد به جنگل‌های دست‌کاشت اختصاص یافته است.

کل مراتع شهرستان میامی در سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۵ معادل ۵۵۰۷۳۶ هکتار بوده است که از این میزان ۸۸,۵۴ درصد آن را مراتع ضعیف دارای تراکم کم، ۹,۴۴ درصد را مراتع متوسط و ۲,۰۲ درصد را مراتع متراکم تشکیل می‌دهند.

همچنین بخش اعظمی از شهرستان میامی فاقد پوشش گیاهی بوده که تحت عنوان اراضی بیابانی محسوب می‌شوند و سطح بیابان در این شهرستان ۶۳۰۵۹ هکتار می‌باشد که ۱,۲ درصد از کل بیابان‌های استان را شامل می‌گردد (سند تفصیلی تدبیر و توسعه شهرستان میامی). شکل (۳-۶) پوشش گیاهی شهرستان میامی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل اکثر مناطق شهرستان میامی دارای پوشش گیاهی با تراکم کم می‌باشند و فقط مناطق شمالی این شهرستان که به استان گلستان نزدیک هستند، دارای پوشش گیاهی پرتراکم می‌باشند. روستای حسین آباد کالپوش در گذشته دارای پوشش گیاهی پرتراکم و جنگل‌های انبوه بوده است ولی امروزه اکثر جنگل‌های منطقه به دشت‌های کشاورزی تبدیل شده‌اند، که یکی از دلایل مهم لغزش در این منطقه می‌باشد.



شکل (۳-۶) نقشه پوشش گیاهی شهرستان میامی و روستای حسین آباد کالپوش

۳-۳- بحث‌ها و مطالعات ژئوتکنیکی

در این پژوهش برای شناسایی خاک در پایین دست از مطالعات ژئوتکنیک پروژه مقاوم سازی آموزشگاه هاجر حسین آباد کالپوش در تاریخ ۱۳۹۵/۴/۲۶ به سفارش اداره کل نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس استان سمنان استفاده شده است. آزمایشگاه برای بررسی خاک دو عدد گمانه حفر کرده است و در عمق‌های مختلف به شناسایی پارامترهای خاک نظیر حد روانی، درصد رطوبت، اندیس خمیری و ... پرداخته است. همچنین آزمایش‌های سه محوری، برش مستقیم و تحکیم نیز انجام شده است. نتایج حاصل از آزمایش‌ها بیانگر پایین بودن مقدار عدد نفوذ استاندارد^۱ و قرار گرفتن خاک در محدوده تیپ ۴ می‌باشد. زمانی که خاک عدد نفوذ استاندارد کمتر از ۱۵ داشته

¹ Standard Penetration Test

باشد، بسیار نرم است. سستی خاک نشان می‌دهد که پتانسیل رمبندگی بالایی داشته و یکی از مهمترین دلایل لغزش‌های ایجاد شده در حسین آباد کالپوش می‌باشد. محل قرارگیری گمانه‌ها، میانگین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک زیر پی و جداول مربوط به آزمایش‌های انجام شده در پیوست الف آمده است.

۳-۴- ماهواره مورد استفاده برای بررسی پدیده زمین لغزش

در این تحقیق از ماهواره Sentinel-1 برای اندازه‌گیری میزان جابجایی‌های ایجاد شده در منطقه استفاده شده است که به معرفی آن می‌پردازیم.

۳-۴-۱- ماهواره Sentinel-1

ماهواره Sentinel-1 توسط سازمان فضایی اروپا طراحی شده است. مأموریت Sentinel-1 شامل دو ماهواره Sentinel-1A و Sentinel-1B است که در یک مدار با ارتفاع ۶۹۳ کیلومتر و با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه در حرکت هستند. این سنجنده در سال ۲۰۱۴ شروع به فعالیت کرد. در این مأموریت مشاهدات راداری پیوسته با بهبود تعداد تکرارها، پوشش وسیع‌تر و قابلیت اطمینان بالا، برای کاربردهایی که نیاز به تصاویر سری زمانی دارند را تأمین می‌کند. این ماهواره قادر به تصویربرداری در شب و روز و بدترین شرایط آب و هوایی و همچنین قادر به انجام مشاهدات از سطح زمین در دوره زمانی ۶ روز می‌باشد. سنتینل-۱ دارای دقت تصویربرداری پیکسلی 5×5 متر می‌باشد. این ماهواره در محدوده طول موج ماکروویو، باند C و در چهار حالت متفاوت تصویربرداری می‌کند (جدول ۳-۱). با توجه به جدول (۳-۲) و شکل (۳-۷)، Interferometric Wide, Strip map, Swath, Extra-Wide Swath و Wave Mode چهار حالت تصویربرداری هستند که هر کدام رزولوشن مکانی (قدرت تفکیک) و سطح برداشت گوناگونی دارند. در این پژوهش از حالت Interferometric Wide Swath در Level-1 استفاده شده است. از این حالت زمانی استفاده می‌-

شود که نیاز به انجام تکنیک تداخل سنجی راداری است. از مهم‌ترین کاربردهای این ماهواره می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

✓ قابلیت تصویربرداری بی‌وقفه از تمام مناطق زمین از جمله مناطق ساحلی، اقیانوس‌ها و غیره را دارد.

✓ نقشه‌برداری از سطح زمین، جنگل، ناهمواری‌ها و آب

✓ پشتیبانی امدادسانی در مواقع بحران

✓ پایش خطرات سطح زمین

✓ قابلیت تحویل سریع داده‌ها از ماهواره به ایستگاه زمینی به دلیل مدار قطبی بودن آن

✓ و همچنین انتظار می‌رود این ماهواره در زمینه تحلیل زمین‌لرزه‌ها با استفاده از

تکنیک‌های تداخل سنجی راداری دهانه ترکیبی (InSAR)، با سرعت و دقت بیشتری

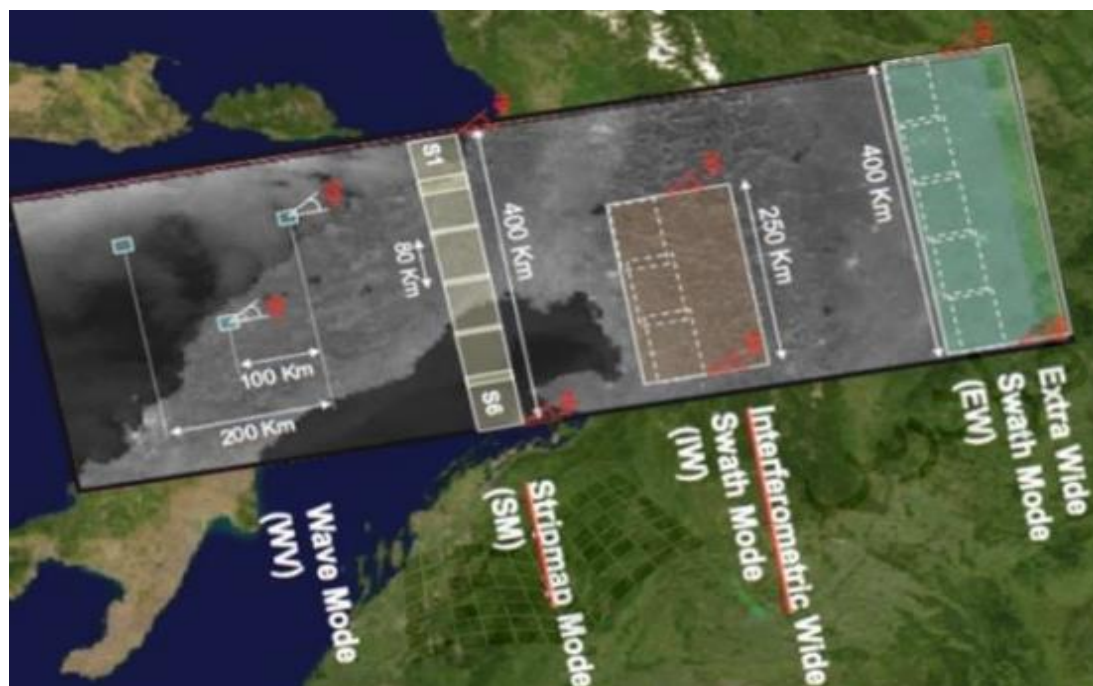
عمل کند.

جدول (۱-۳) اطلاعات مربوط به ماهواره Sentinel-1

sentinel-1	
۲۰۱۴ (در حال عملیات)	سال پرتاب
۷ سال	مدت زمان مأموریت
۶۹۳	ارتفاع (کیلومتر)
$1/0.2 \times 12/3$	ابعاد آنتن (متر)
۹۴۵	وزن (کیلوگرم)
C	باند فعال
Single/dual	پلاریزاسیون
5×5	بهترین دقت (متر)

جدول (۲-۳) چهار حالت تصویربرداری سنجنده Sentinel-1

حالت	سطح برداشت (عرض پوشش)	رزولوشن مکانی
Strip map	۸۰ کیلومتر	۵ × ۵ متر
Interferometric Wide Swath	۲۵۰ کیلومتر	۵ × ۲۰ متر
Extra-Wide Swath	۴۰۰ کیلومتر	۴۰ × ۲۰ متر
Wave-Mode	۴۰۰ کیلومتر	۵ × ۵ متر



شکل (۳-۷) چهار حالت تصویربرداری سنجنده Sentinel-1



شکل (۳-۸) ماهواره Sentinel-1

به منظور دانلود تصاویر ماهواره Sentinel-1 به سایت

<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> مراجعه کرده و پس از انتخاب محدوده

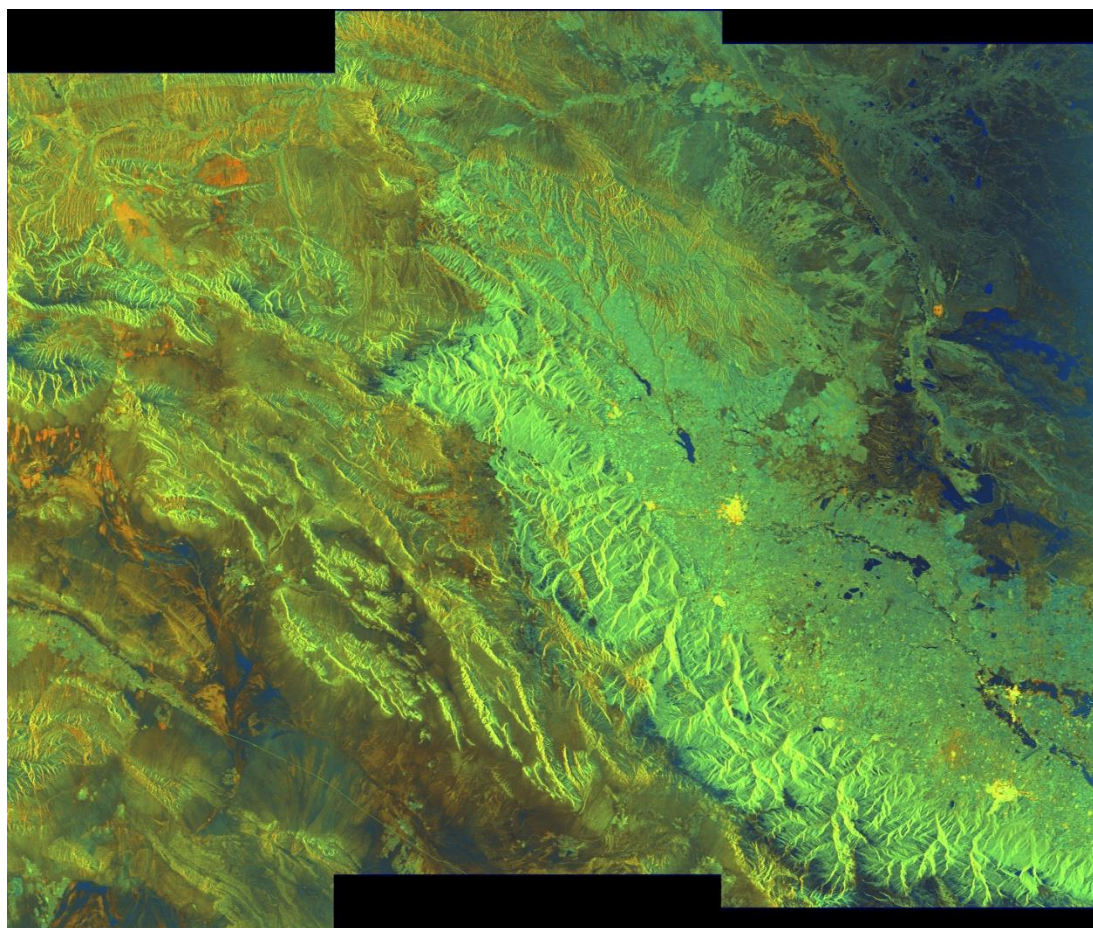
موردنظر، اقدام به دانلود تصاویر می‌شود. در این پژوهش پس از بررسی ۱۳ تصویر در بازه زمانی آوریل ۲۰۱۸ تا نوامبر ۲۰۲۰ از منطقه، در نهایت با تحلیل تصاویر در محیط نرم افزار SNAP، ۲ تصویر که دارای بهترین پیوستگی و بیس لاین^۱ بوده و در شروع زمان وقوع لغزش در منطقه بوده، برای بررسی پدیده لغزش، انتخاب گردید. مشخصات ۱۳ تصویر پایین گذر دانلود شده و دو تصویر استفاده شده در این پژوهش، در جدول (۳-۳) نشان داده شده است. همگی تصاویر دانلود شده به فرمت (SLC) Single Look Complex بوده دارای مسیر عبور پایین گذر می‌باشند. هنگامی که ماهواره از جنوب به سمت شمال تصویربرداری کند، تصویر پایین گذر می‌باشد.

¹ Baseline

جدول (۳-۳) اطلاعات مربوط به تصاویر داندود شده از ماهواره Sentinel-1

زمان	نوع تصویر	حالت	قطبش	مسیر عبور
۲۰۱۸/۴/۴	SLC	IW	VV VH	DESCENDING
۲۰۱۸/۷/۹	SLC	IW	VV VH	DESCENDING
۲۰۱۸/۱۰/۱۳	SLC	IW	VV VH	DESCENDING
۲۰۱۹/۱/۵	SLC	IW	VV VH	DESCENDING
۲۰۱۹/۳/۳۰	SLC	IW	VV VH	DESCENDING
۲۰۱۹/۴/۱۱	SLC	IW	VV VH	DESCENDING
۲۰۱۹/۵/۵	SLC	IW	VV VH	DESCENDING
۲۰۱۹/۷/۱۶	SLC	IW	VV VH	DESCENDING
۲۰۱۹/۹/۲	SLC	IW	VV VH	DESCENDING
۲۰۲۰/۱/۱۲	SLC	IW	VV VH	DESCENDING
۲۰۲۰/۱۱/۵	SLC	IW	VV VH	DESCENDING
۲۰۲۰/۹/۸	SLC	IW	VV VH	DESCENDING
۲۰۲۰/۱۱/۱۹	SLC	IW	VV VH	DESCENDING

شکل (۹-۳) یک نمونه از تصویر خام ماهواره Sentinel-1 به تاریخ ۲۰۱۹/۳/۳۰ نشان داده شده است. علت نمایش تصویر خام این بوده است که شکل کلی یک تصویر SLC پایین گذر، در حالت IW نشان داده شود که بیان شود این تصاویر به این صورت هیچگونه کاربرد خاصی نداشته و بعد از اعمال پردازش‌ها در نرم‌افزار مورد نظر، به تصاویر قابل درک برای تحلیل‌ها تبدیل می‌شوند. همچنین تصاویر SLC با حالت IW دارای حجم‌های بسیار زیادی می‌باشند. بدین منظور باید منطقه مورد مطالعه را از این تصاویر برش داد و روی یک قسمت از این تصاویر پردازش‌ها انجام شود.



شکل (۹-۳) تصویر خام ماهواره Sentinel-1 به تاریخ ۲۰۱۹/۰۳/۳۰

۳-۵- نرم افزار های مورد استفاده

۳-۵-۱- نرم افزار SNAP

نرم افزار SNAP مخفف عبارت SeNtinel Application Platform می‌باشد. این نرم افزار به صورت تخصصی به پردازش تصاویر ماهواره‌ای سری سنتینل می‌پردازد که از سال ۲۰۱۴ میلادی همزمان با آغاز مأموریت ماهواره‌های سری سنتینل عرضه شد. از ویژگی های این نرم افزار می‌توان به متن باز بودن، مدل سازی، بروز بودن، پشتیبانی از داده های اپتیک و راداری و ... اشاره کرد. همچنین تولید نقشه جابجایی های ناشی از زلزله، تولید نقشه کاربری اراضی، تولید نقشه شهری، پایش تغییرات جنگل ها و ...، نمونه هایی از پروژه های قابل اجرا در نرم افزار SNAP می‌باشد (<https://girs.ir/snap-intro/>).

۳-۵-۲- نرم افزار ArcGIS

نرم افزار ArcGIS یک نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی است که توسط شرکت Esri توسعه داده شده است و دارای امکانات و قابلیت های بسیاری بوده و به اخذ و ذخیره سازی و سپس تحلیل و پردازش داده ها می‌پردازد. از ویژگی های این نرم افزار مختصات دار بودنش است که هر عارضه‌ای ترسیم می‌کند، با همان مختصات در محیط پیرامون قابل مشاهده می‌باشد.

۳-۵-۳- نرم افزار PLAXIS

نرم افزار PLAXIS یک نرم افزار تخصصی خاک می‌باشد که برای تحلیل تغییرشکل ها و پایداری سازه های خاکی کاربرد دارد. این نرم افزار براساس روش اجزا محدود طراحی شده است و می‌توان خاکبرداری و خاکریزی مرحله‌ای با شرایط بارگذاری و شرایط مرزی مختلف، با استفاده از المان مثلثی ۶ گرهی و ۱۵ گرهی مدل سازی نمود. تحلیل سازه هایی مانند خاکریزها، تونل‌ها، سدهای خاکی، گودهای پایدارشده با روش های مختلف نظیر نیلینگ، سازه نگهبان خرابایی و ... با استفاده

از این نرم افزار امکان پذیر است. در این پژوهش به منظور بررسی منطقه مورد مطالعه، در خرداد ماه ۱۴۰۰ روستای حسین آباد کالیوش مورد پایش زمینی قرار گرفت و روی یکی از شیروانی‌های تحت تاثیر زمین لغزش، چند نقطه GPS به وسیله تلفن همراه گرفته شده است. سپس تصاویر اخذ شده را در نرم افزار PLAXIS قرار داده و شکل کلی شیروانی به ابعاد ۳۵۰ متر طول و ۱۵۰ متر ارتفاع رسم شده است. پس از اعمال مشخصات خاک، مش بندی کردن شیروانی و بقیه مراحل، مشخص شد که شیروانی دارای جابجایی کلی حدود ۳۶ سانتیمتر و ضریب اطمینان نزدیک به یک بوده است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که شیروانی ناپایدار بوده و امکان لغزش های بیشتر در صورت اشباع شدن دوباره خاک وجود دارد.

۳-۶- مراحل انجام تحقیق

در شکل (۳-۱۱) مراحل انجام تحقیق نشان داده شده است. ابتدا میزان جابجایی‌های زمین را به وسیله تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری در بازه زمانی ۲۰۱۹/۳/۳۰ تا ۲۰۱۹/۴/۱۱ بدست آورده و جهت اعتبارسنجی نتایج حاصل شده، با وضعیت لرزه خیزی و داده‌های تکتونیکی در منطقه مورد آنالیز و مقایسه قرار گرفته است. همچنین با بررسی نقشه‌های شیب و جهت شیب با جابجایی‌های رخ داده به شناسایی و تطبیق نتایج پرداخته شد. در نهایت جهت صحت سنجی نتایج بدست آمده، یکی از شیروانی‌های لغزش یافته را با استفاده از نرم افزار PLAXIS مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.



فصل ۴:

نتایج و بحث

۴-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا مراحل پردازش داده‌های راداری بیان شده و میزان جابجایی منطقه با استفاده از تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری (DInSAR) مشخص می‌شود. سپس وضعیت لرزه‌خیزی و داده‌های تکتونیکی منطقه بررسی گردیده است و در بازه زمانی مورد نظر جهت صحت سنجی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین با تهیه نقشه‌های شیب و جهت شیب، نقشه راه‌ها، تحلیل مکانی جابجایی در محیط GIS انجام شده است. در نهایت منطقه مورد مطالعه جهت صحت سنجی نتایج، مورد بررسی مشاهدات زمینی و بررسی‌های ژئوتکنیکی قرار گرفت.

۴-۲- پردازش DInSAR با استفاده از داده‌های Sentinel-1

۴-۲-۱- انتخاب زوج تصویر SAR جهت انجام تداخل سنجی

انتخاب صحیح زوج تصاویر راداری جهت تداخل سنجی از اولین و مهمترین گام‌های موجود در عملیات تداخل سنجی راداری می‌باشد. در این تصاویر، هم‌پوشانی مکانی و طیفی در راستای مدار برداشت، خط مبنای عمود مکانی و خط مبنای زمانی، از عوامل تأثیر گذار در انتخاب زوج تصاویر می‌باشند.

خط مبنای عمودی مکانی اگرچه مشارکتی در انجام مراحل تداخل سنجی ندارد ولی محاسبه خط مبنای عمودی در تصاویر SAR نسبت به یکدیگر از اولین پارامترهایی است که باید در تداخل سنجی صورت گیرد. در واقع اگر خط مبنای عمودی مکانی یک زوج تصویر از یک مقدار بحرانی بیشتر شود، هیچ گونه اطلاعات فازی ذخیره نمی‌گردد، وابستگی سیگنال دو تصویر از یکدیگر کمتر شده و در نتیجه تداخل سنجی راداری یا با خطاهای زیادی مواجه می‌شود و یا تداخل سنجی غیرممکن می‌گردد.

خط مبنای زمانی نیز در انجام تداخل سنجی از اهمیت بالایی برخوردار است. خط مبنای زمانی

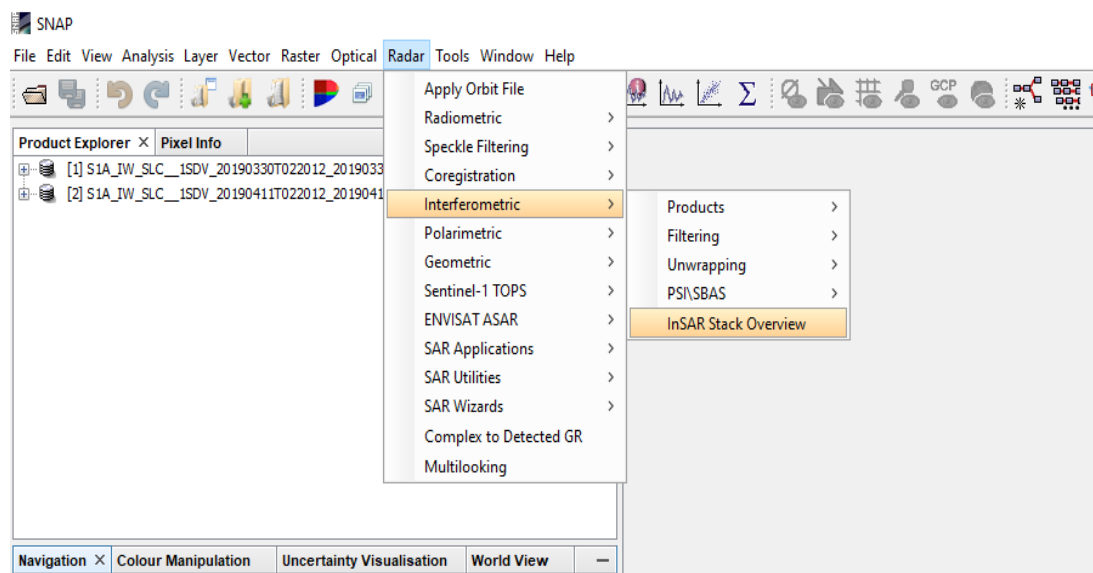
بیانگر فاصله زمانی بین دو تصویر می‌باشد و باید تصاویر به گونه‌ای انتخاب شوند که به طور کامل در فاصله زمانی مشخص شده قرار گیرند. خط مبنا زمانی از این لحاظ دارای اهمیت می‌باشد که اگر فاصله زمانی بین دو تصویر خیلی زیاد شود، وابستگی سیگنال بین دو تصویر کاهش یافته و این موضوع سبب افزایش نویز در تداخل سنجی می‌شود. این مسئله بیشتر در مناطقی که دارای پوشش گیاهی هستند رخ می‌دهد. لذا بهتر است زوج تصویر فاصله‌های زمانی نزدیک به یکدیگر انتخاب شوند. نکته مهمی که در مورد خط مبنای زمانی باید متذکر شد این است که هرچه فاصله زمانی دو زوج تصویر بیشتر شود، پیوستگی^۱ زوج تصاویر کاهش پیدا می‌کند که تأثیر زیادی روی نتایج حاصل شده دارد. به طور معمول پیوستگی مناسب را بین ۰,۶ تا ۱ در نظر می‌گیرند. جدول (۱-۴) اطلاعات مربوط به زوج تصویر Sentinel-1 را نشان می‌دهد. این دو تصویر پیوستگی و بیس لاین مناسبی داشتند، هم اینکه در شروع زمان لغزش قرار داشتند و همچنین تصاویر مناسب دیگری جهت پردازش در زمان لغزش از ماهواره Sentinel-1 موجود نبود. بنابراین از این جفت تصویر جهت پردازش تداخل سنجی تفاضلی راداری بهره گرفته شده است. با توجه به جدول زیر دو زوج تصویر خط مبنای مکانی حدود ۶۸ متر را دارا می‌باشند که عدد مناسبی است. همچنین پیوستگی دو تصویر بین ۰,۶ تا ۱ است، که این مورد نیز برای تکنیک تداخل سنجی راداری مناسب می‌باشد و نشانگر این است که دو تصویر پیوستگی بسیار بالایی نسبت به یکدیگر دارند.

¹ Coherence

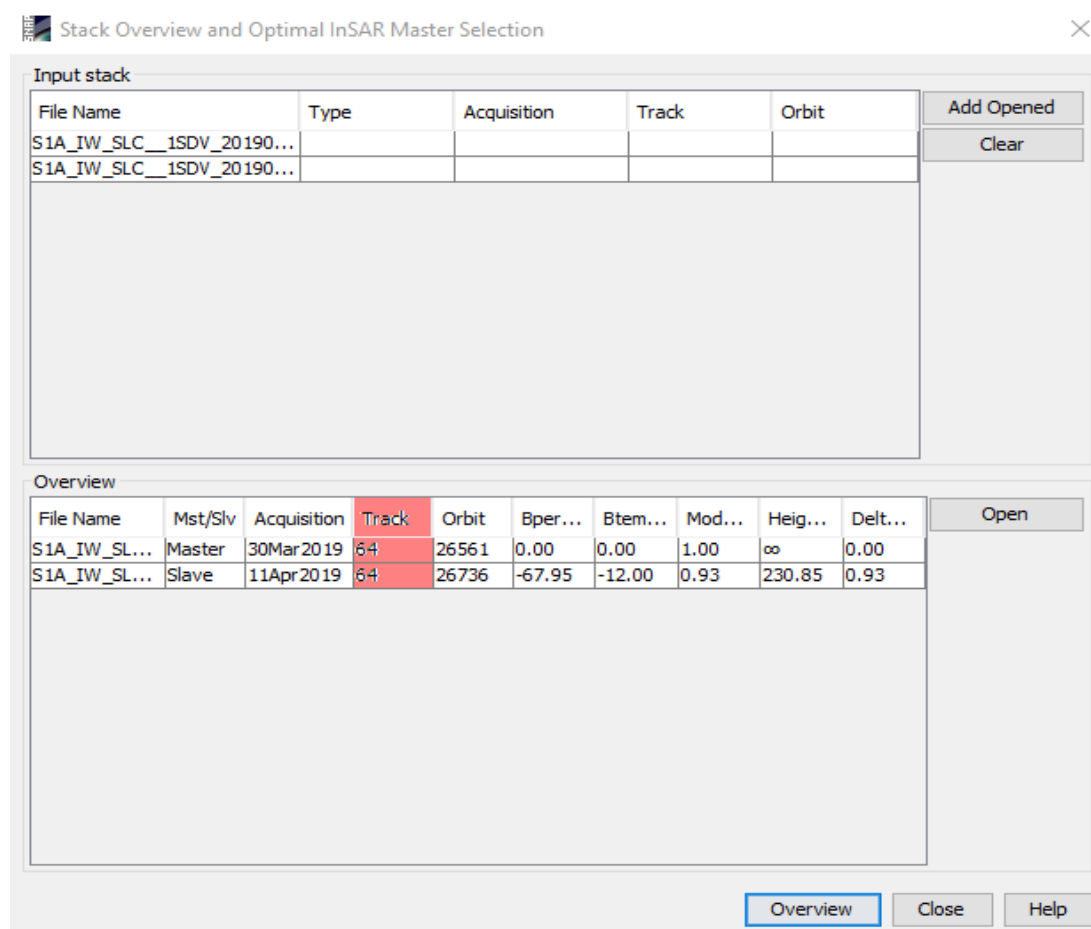
جدول (۱-۴) اطلاعات زوج تصویر Sentinel-1

زوج تصویر	خط مبنای مکانی (متر)	خط مبنای زمانی (روز)	پیوستگی
۲۰۱۹/۳/۳۰	۶۷,۹۵	۱۲	۰,۹۳
۲۰۱۹/۴/۱۱			

شکل (۱-۴) و (۲-۴) مراحل محاسبه خط مبنای عمودی، خط مبنای زمانی و همدوسی برای زوج تصویر (۲۰۱۹/۰۳/۳۰ – ۲۰۱۹/۰۴/۱۱) Sentinel-1 با استفاده از نرم‌افزار SNAP نشان می‌دهد.



شکل (۱-۴) شکل شماتیک محیط نرم‌افزار Snap برای چسباندن تصاویر



شکل (۴-۲) نمایش اطلاعات دو تصویر Sentinel-1 در نرم‌افزار

همان‌گونه که در شکل (۴-۲) مشاهده می‌شود، دو تصویر دارای مسیر یکسان، دارای پیوستگی ۰٫۹۳ و خط مبنای مکانی ۶۷٫۹۵- می‌باشند بنابراین با توجه به این موضوع که پیوستگی بین ۰٫۶ تا ۱ بوده و خط مبنای مکانی بر اساس تجربی بیشتر از ۲۰۰ نمی‌باشد، این دو تصویر برای تکنیک تداخل سنجی مناسب هستند. همچنین باید دقت کرد که برای کاربردهای تعیین جابجایی با استفاده از تکنیک اینترفرومتری، حتماً باید شماره مسیر^۱ هر دو تصویر یکسان باشد.

^۱ Track

۴-۲-۲- ایجاد اینترفروگرام

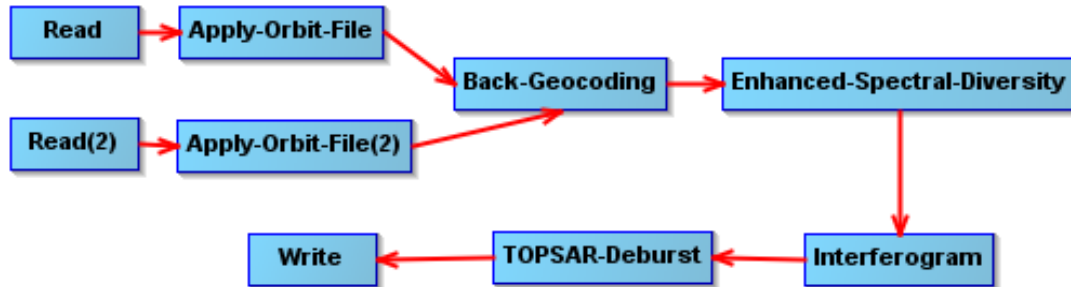
به‌منظور ایجاد اینترفروگرام با استفاده از تصاویر Sentinel-1 با فرمت SLC، بهتر است تصاویر جهت پردازش برش داده شوند تا ابعاد منطقه کوچک‌تر شود و باعث کاهش در زمان پردازش شوند.

تولید اینترفروگرام جهت نمایش اختلاف فاز بین دو تصویری است که در ابتدا به نرم‌افزار فراخوانی شده است که به صورت سیکل‌های رنگی دیده می‌شود. همانگونه که در شکل (۴-۴) مشخص است سیکل‌های رنگی، از رنگی شروع شده و به رنگ دیگری پایان می‌یابد، که به هرکدام از این سیکل‌ها فرینج^۱ گفته می‌شود. میزان ارتفاع در هر نقطه از منطقه به‌وسیله بررسی‌های اختلاف فاز بین تصاویر تعیین می‌شود. اینترفروگرام از ترکیب یک تصویر اصلی در یک تصویر وابسته ساخته می‌شود. در این تصاویر به‌منظور این که یک پیکسل در هر دو تصویر، یک عارضه روی زمین را نشان دهد، هم مرجع‌سازی می‌شوند. فرآیند هم مرجع‌سازی بسیار وابسته به مدل رقومی زمین (DEM) می‌باشد. هرچه میزان دقت مدل رقومی ارتفاعی و اطلاعات مداری تصاویر بالاتر باشد، فرآیند هم مرجع‌سازی بهتر و با دقت بیشتری انجام می‌شود. اینترفروگرام ایجاد شده شامل دو خروجی فاز و همدوسی می‌باشد. تصویر فاز ایجاد شده، اختلاف فاز بین دو تصویر را نشان می‌دهد. در شکل (۴-۵) تصویر همدوسی نشان داده شده است. این تصویر به‌صورت رنگ‌های سیاه و سفید مشخص شده است. در پیکسل‌هایی که سفید هستند، پیوستگی بالاتر و در پیکسل‌هایی که سیاه نشان داده شده‌اند، پیوستگی کمتری را می‌توان مشاهده کرد.

در شکل (۴-۳) مراحل تولید اینترفروگرام توسط نرم‌افزار SNAP نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است پس از وارد کردن دو تصویر به نرم‌افزار، اطلاعات مداری توسط نرم‌افزار دانلود

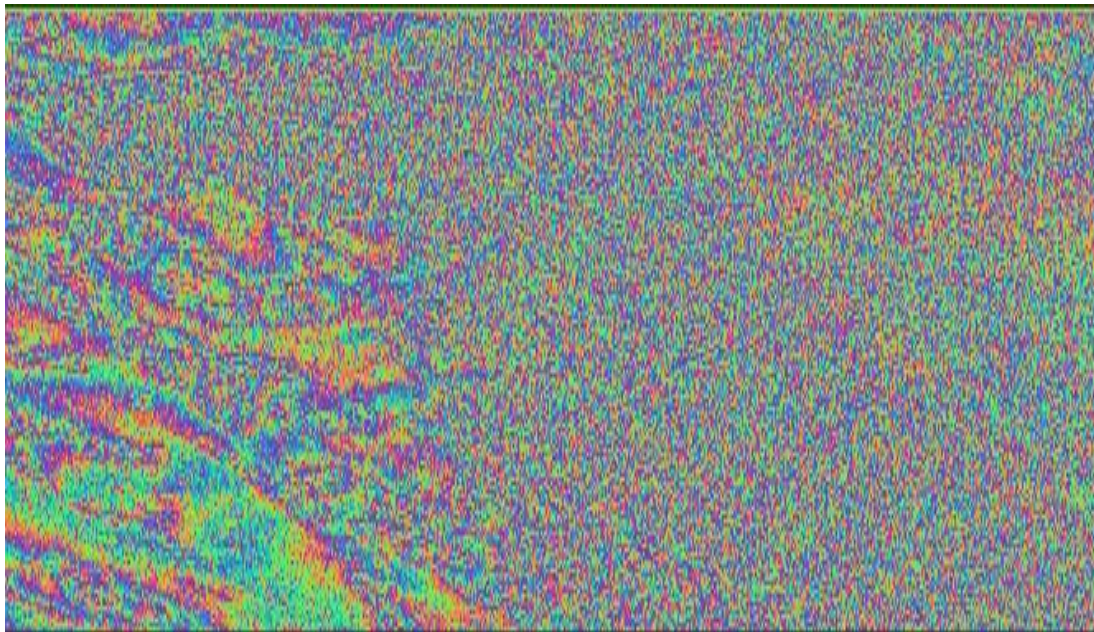
¹ Fringe

می‌شود. سپس دو تصویر هم مرجع‌سازی شده و اینترفروگرام حاصل می‌شود. در مرحله آخر هم برست^۱ از بین رفته و تصاویر به صورت یک تیکه می‌شوند و خروجی داده می‌شود.



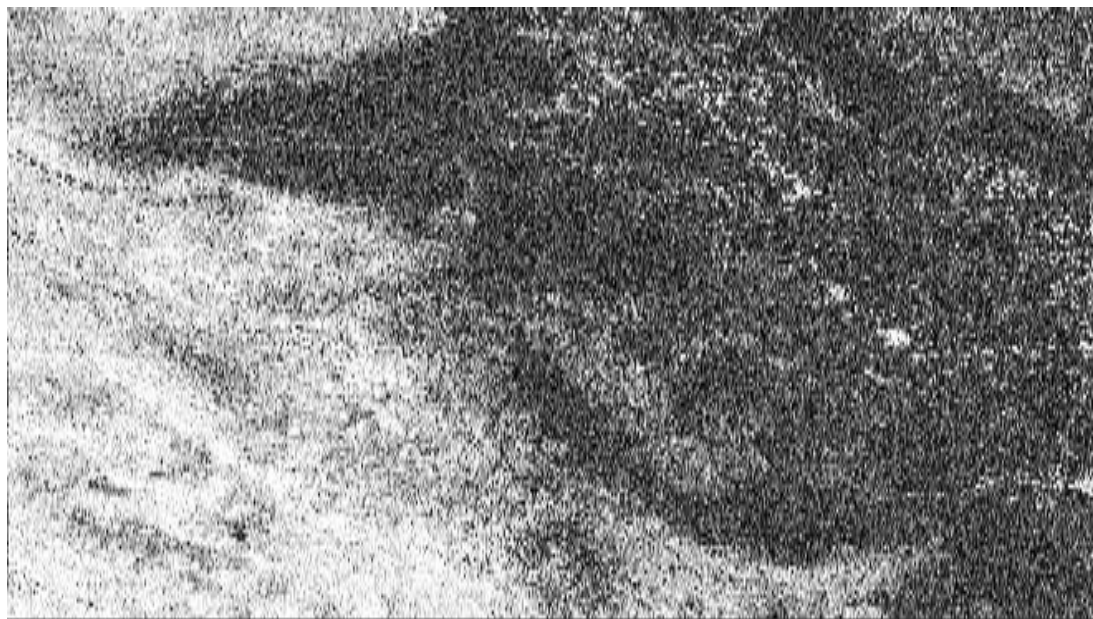
شکل (۳-۴) فلوچارت تهیه اینترفروگرام از جفت تصویر Sentinel-1

شکل (۴-۴) و (۵-۴) به ترتیب تصاویر فاز و همدوسی حاصل از پردازش زوج تصویر را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۴) تصویر فاز بعد از انجام تکنیک اینترفرومتری

¹ Burst



شکل (۴-۵) تصویر همدوسی بعد از انجام تکنیک اینترفرومتری

۴-۲-۳- حذف اثر فاز توپوگرافی از اینترفروگرام

حذف اثر توپوگرافی به روش‌های مختلفی انجام می‌پذیرد. ولی در حالت کلی علت از بین بردن فاز توپوگرافی به این دلیل است که در محاسبه اینترفروگرام تفاضلی، تنها باید اثرات ناشی از جابجایی وجود داشته باشد. فرایند حذف فاز مربوط به توپوگرافی بسیار وابسته به مدل رقومی زمین (DEM) است. هرچه مدل رقومی زمین دقت بالاتری داشته باشد، عملیات حذف اثر توپوگرافی بهتر صورت می‌پذیرد. این عملیات شامل تبدیل مختصات هندسی DEM به مختصات هندسی تصویر پایه در زمان اخذ تصویر می‌باشد. به همین دلیل هرچه مدل رقومی زمین از دقت بالاتری برخوردار باشد، به همان میزان دقت و صحت عملیات حذف اثر توپوگرافی بیشتر خواهد بود.

۴-۲-۴- اعمال فیلترگذاری بر روی اینترفروگرام

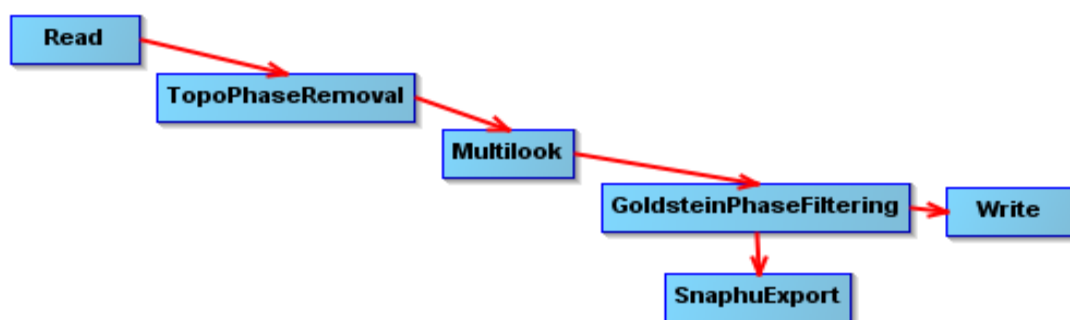
اینترفروگرام تفاضلی حاصل از حذف اثرات توپوگرافی، دارای نویزهایی است که در نتیجه اختلاف زمانی دو تصویر SAR و همچنین خط مبنای مکانی پدید آمده است. به منظور حذف نویزها و بالا بردن کیفیت تصویر می‌توان از فیلترهای متعددی استفاده کرد.

از آنجایی که تصاویر اصلی SAR دارای نویزهای اسپکل^۱ هستند، از فیلتر مولتی‌لوک^۲ برای کاهش این نویزها و بهبود بخشیدن به کیفیت تصویر استفاده می‌شود. همچنین در این منطقه به دلیل وجود زمین‌های زراعی و باغات که جزو عوامل اصلی ایجاد نویز در تصاویر هستند، از فیلتر گلدشتاین^۳ که کارایی بالایی دارد، استفاده می‌کنیم. این فیلتر انتخابی عمل نموده و عملیات فیلتر را به صورت محلی انجام می‌دهد. این گونه که در مناطق با پیوستگی پایین، با عرض باند زیاد و تعداد پیکسل بیشتر و در مناطق با پیوستگی بالا، با عرض باند کم و تعداد پیکسل کمتر عمل می‌کند که در نتیجه باعث می‌شود سیکل‌های رنگی واضح‌تر و بهتر نمایش داده شوند. شکل (۴-۶) فلوچارت اینترفروگرام تفاضلی که شامل حذف اثرات توپوگرافی و اعمال فیلتر مولتی‌لوک و فیلتر گلدشتاین است را نشان می‌دهد. همچنین در این مرحله یک خروجی نیز برای افزونه Snaphu گرفته می‌شود. این افزونه، مقادیر فاز ناشی از تکنیک تداخل سنجی تفاضلی را که به صورت گسسته می‌باشند را پیوسته و قابل فهم می‌کند.

¹ Speckle

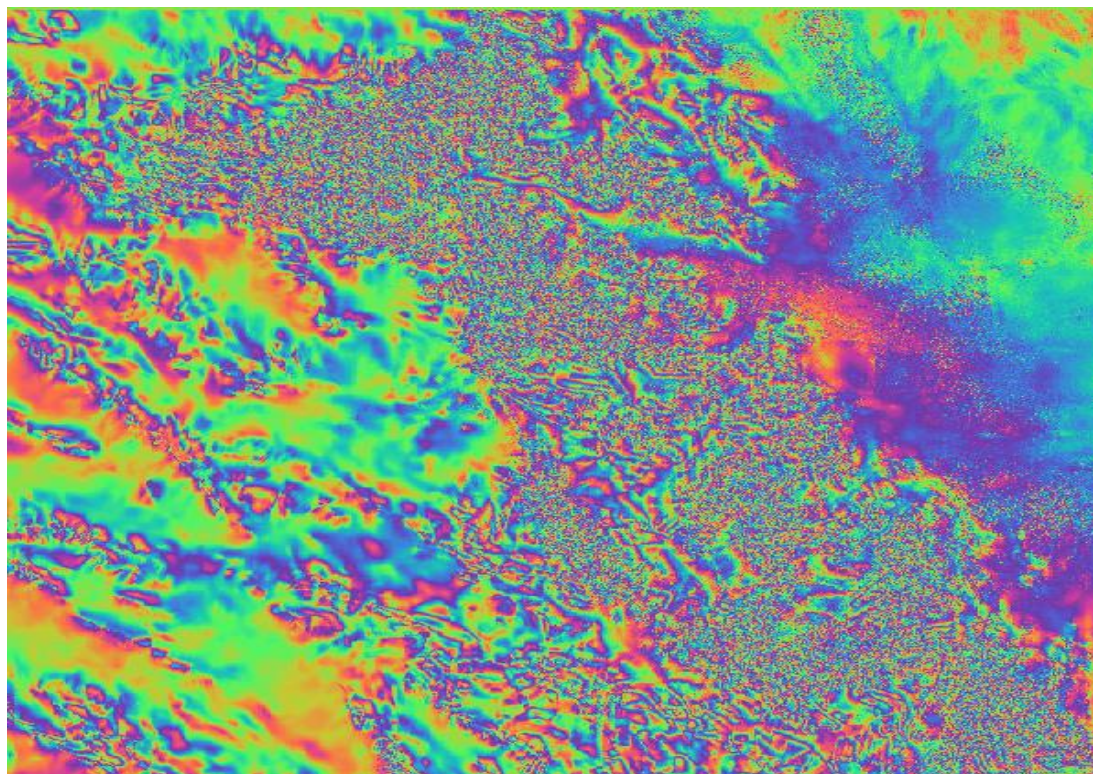
² Multilook

³ Goldstein Phase Filtering



شکل (۴-۶) فلوچارت اینترفروگرام تفاضلی

شکل (۴-۷) خروجی این مرحله می‌باشد که فاز توپوگرافی، کاهش اسپکل‌ها و فیلتر گلدشتاین به آن اعمال شده است. بعد از اعمال فیلتر، سیکل‌های رنگی به شکل بهتری نمایش داده می‌شوند. همانگونه که در شکل (۴-۷) مشاهده می‌شود در سیکل‌های رنگی که نزدیک به یکدیگر هستند، جابجایی بیشتری رخ داده است و در نقاطی که سیکل‌های رنگی از یکدیگر فاصله زیادی دارند، تغییرات جابجایی کمتر می‌باشد.



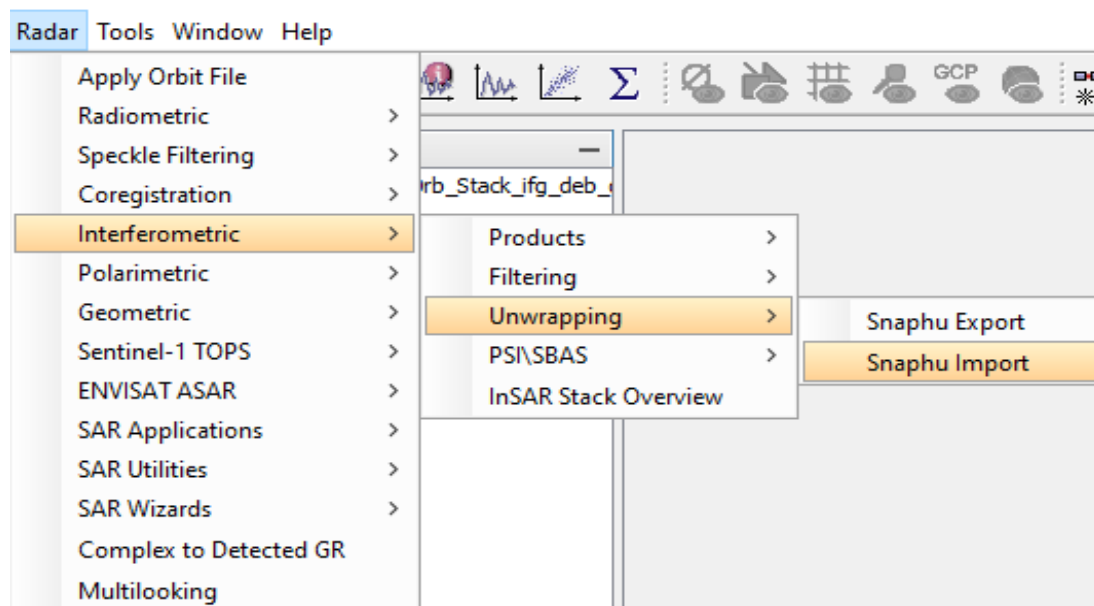
شکل (۴-۷) خروجی فاز تداخل سنجی پس از اعمال فیلترها

۴-۲-۵- تصحیح مقادیر فاز

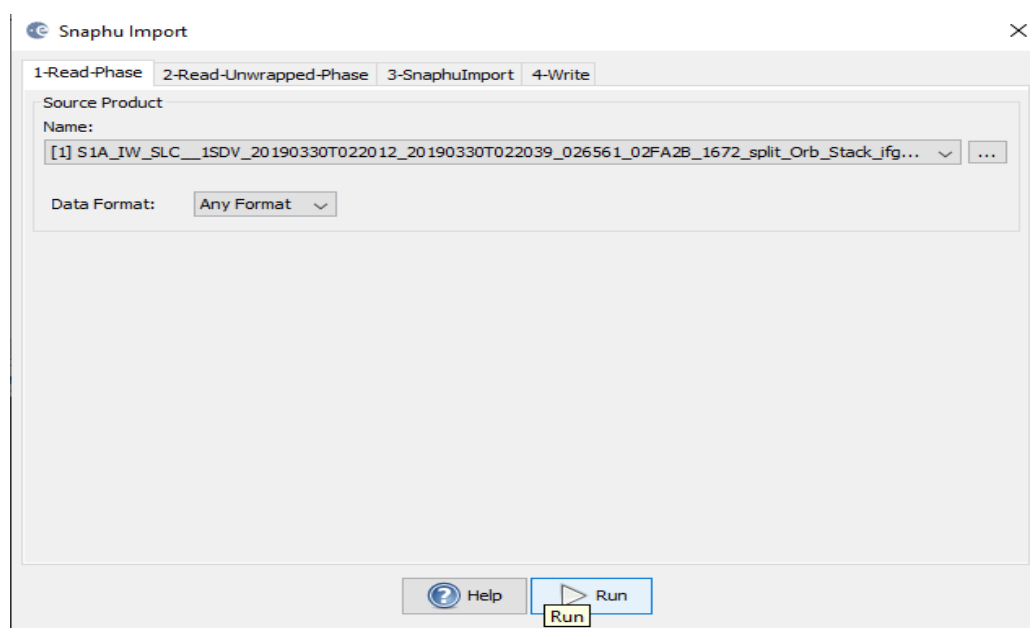
یکی از مهم‌ترین مراحل در فرایند تکنیک تداخل سنجی راداری، مرحله تصحیح فازی است. فاز ایجاد شده در مرحله قبل به صورت گسسته می‌باشد و مقادیر آن از $-\pi$ تا π (در محدوده 2π) متغیر است.

این درحالی است که ممکن است میزان تغییرات موجود در منطقه از میزان 2π بیشتر شود. بنابراین در اینترفروگرام حاصل، مقادیر بیشتر از 2π دوباره از نو آغاز می‌شود و یک چرخه را پدید می‌آورند. از این رو الگوریتم‌های اصلاح فازی، تلاش در جهت رفع این ابهام را دارند.

شکل (۹-۴) و (۱۰-۴) به ترتیب مراحل تصحیح فاز توسط نرم‌افزار SNAP را نشان می‌دهد. مرحله Unwrapp پس از ایجاد اینترفروگرام و اعمال فیلترها انجام می‌شود و هدف از انجام آن، پیوسته سازی تصویر گسسته می‌باشد که در مرحله اینترفروگرام حاصل شده است.



شکل (۸-۴) مراحل تصحیح فاز توسط نرم‌افزار SNAP

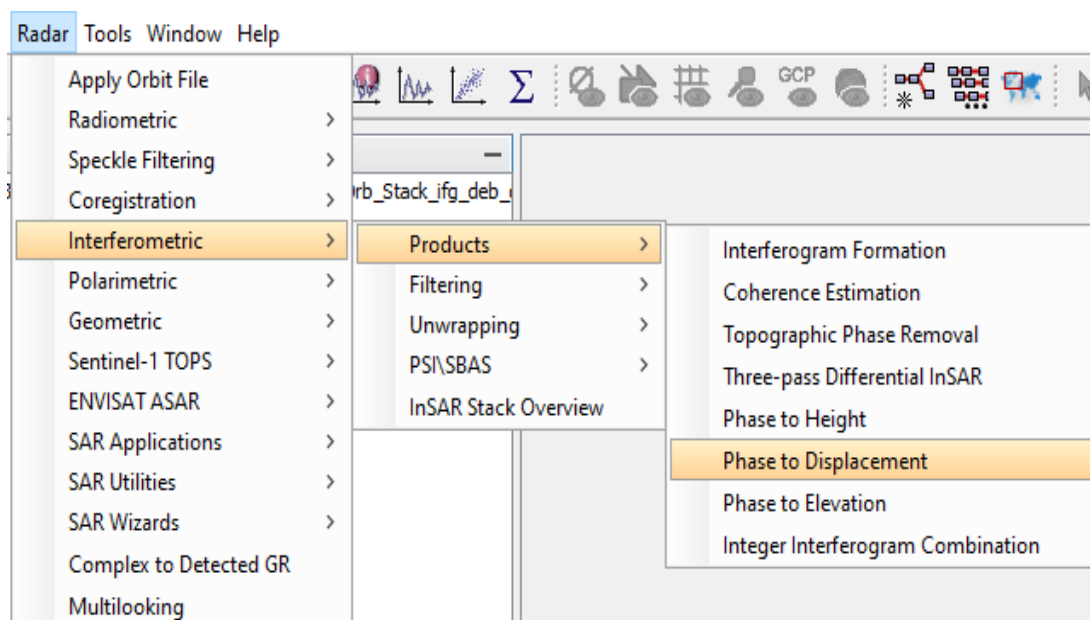


شکل (۹-۴) مراحل تصحیح فاز توسط نرم‌افزار SNAP

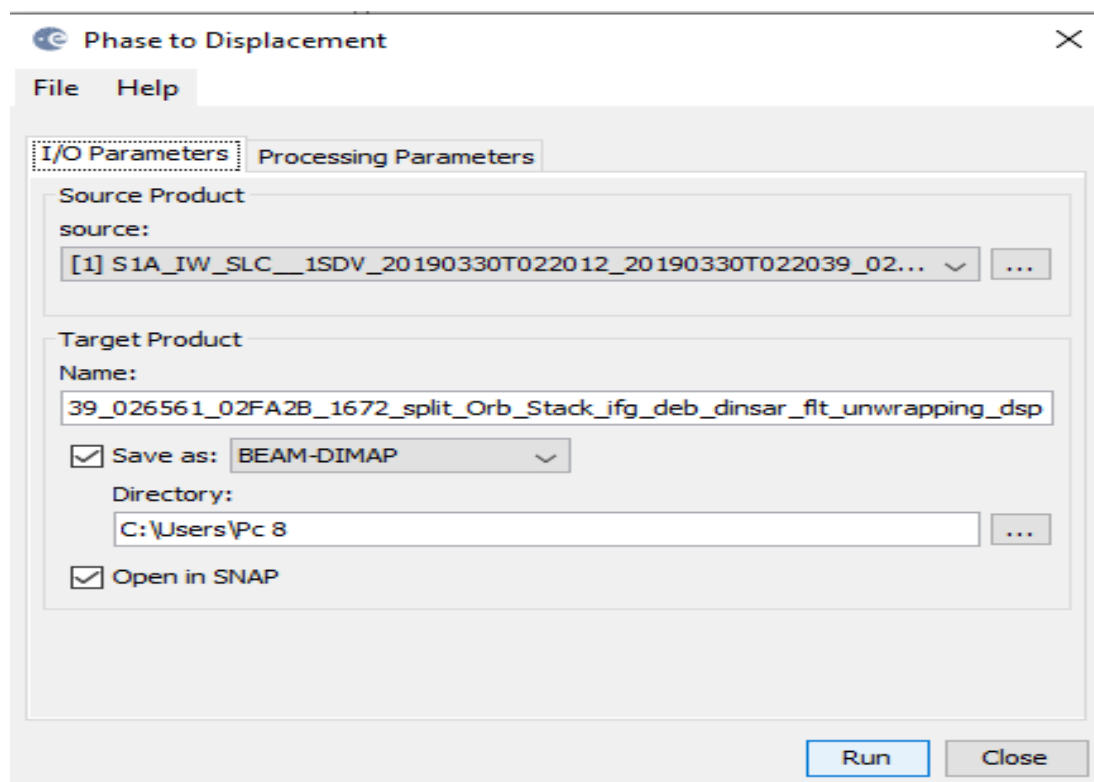
۴-۲-۶- تبدیل فاز به جابجایی

بعد از تصحیح مقادیر فاز، می‌توان فاز مطلق ایجاد شده را به نقشه جابجایی تبدیل کرد و زمین مرجع نمود. این فرایند مشابه با روش‌های معمول در تبدیلات سیستم تصویر به سیستم مرجع جهانی است، با این تفاوت که علاوه بر تبدیلات ژئودتیک، معادله دامنه داپلر نیز به صورت هم‌زمان بر دو آنتن دریافت کننده و تشکیل دهنده تصویر SAR اعمال می‌گردد.

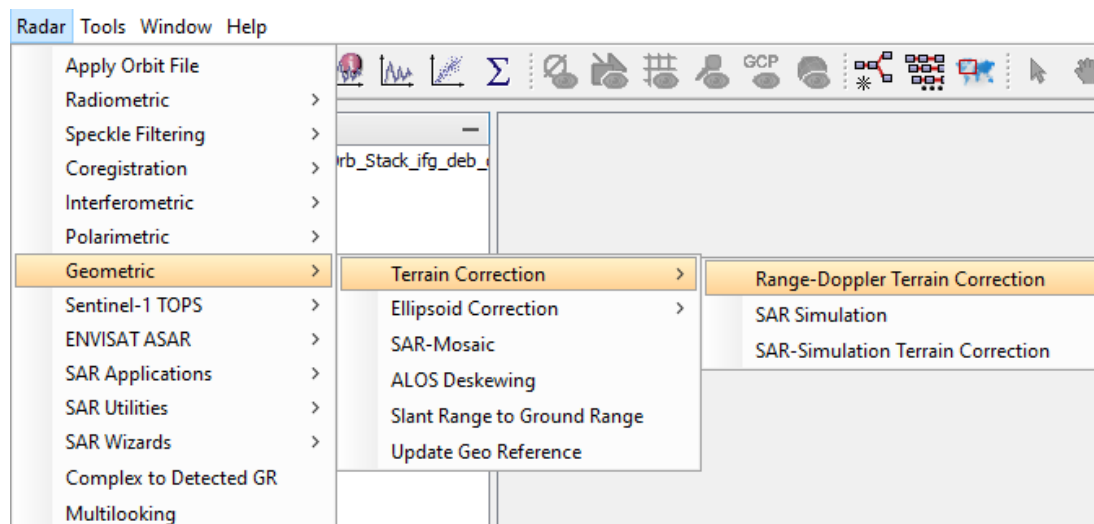
شکل (۴-۱۰) و (۴-۱۱) مراحل تبدیل فاز به جابجایی و شکل (۴-۱۲) و (۴-۱۳) زمین مرجع کردن توسط نرم‌افزار SNAP را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۴-۱۰) برای تبدیل کردن فاز به جابجایی در نرم‌افزار گزینه Phase to Displacement را انتخاب می‌کنیم و پس از انتخاب یک مسیر خروجی، ران گرفته می‌شود. همچنین برای زمین مرجع کردن تصویر (شکل ۴-۱۲)، از افزونه Radar، گزینه Geometric را انتخاب کرده و Range-Doppler Terrain Correction انتخاب می‌شود.



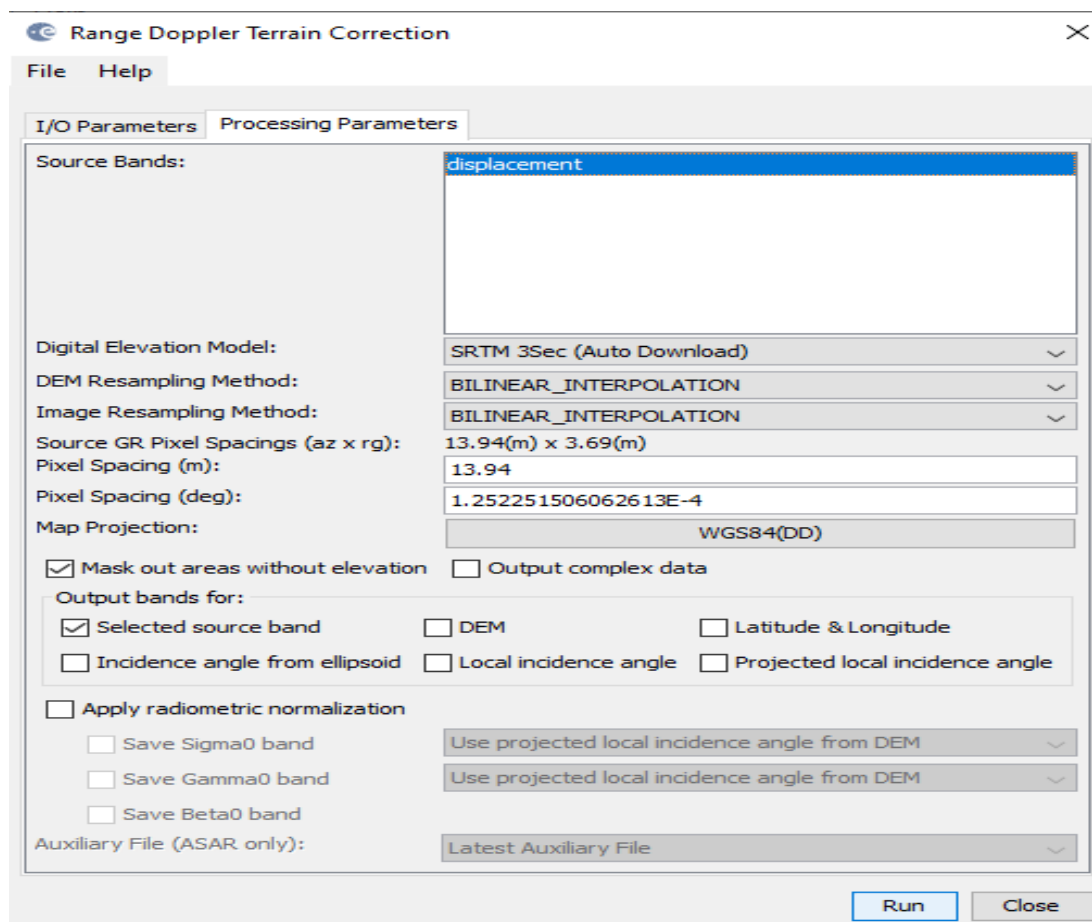
شکل (۴-۱۰) مراحل تبدیل فاز به جابجایی در نرم‌افزار SNAP



شکل (۴-۱۱) مراحل تبدیل فاز به جابجایی در نرم‌افزار SNAP

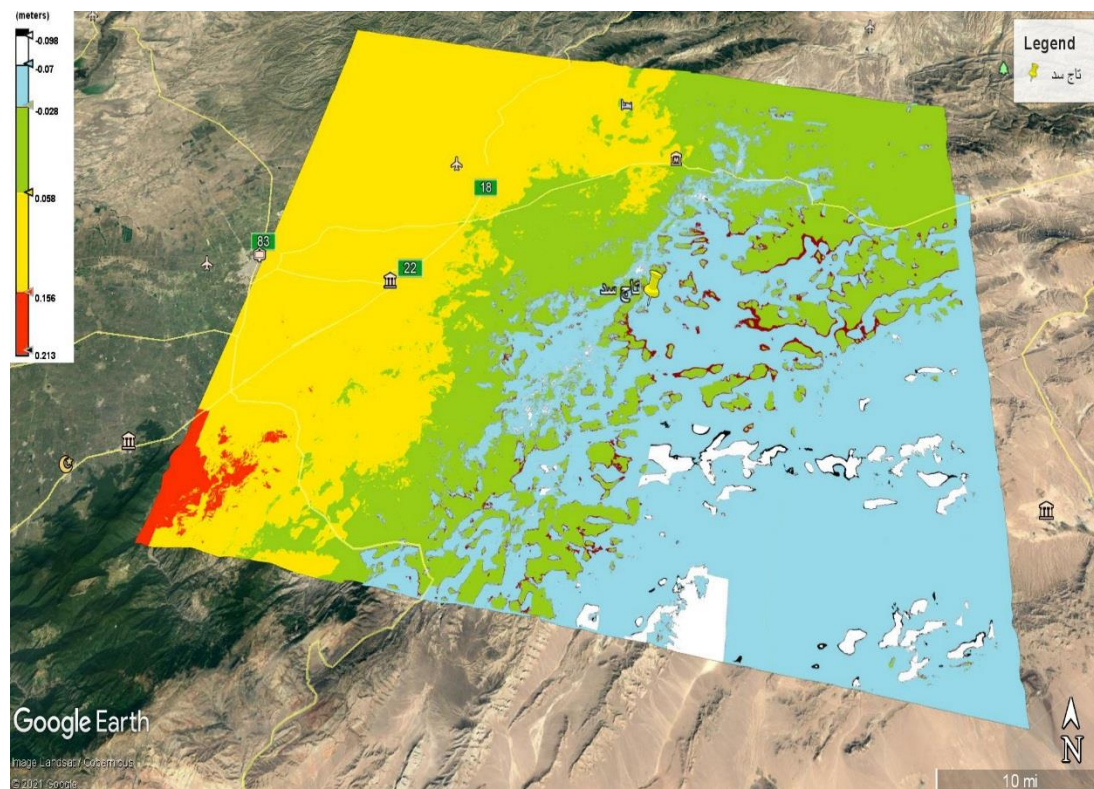


شکل (۴-۱۲) زمین مرجع کردن در نرم‌افزار SNAP



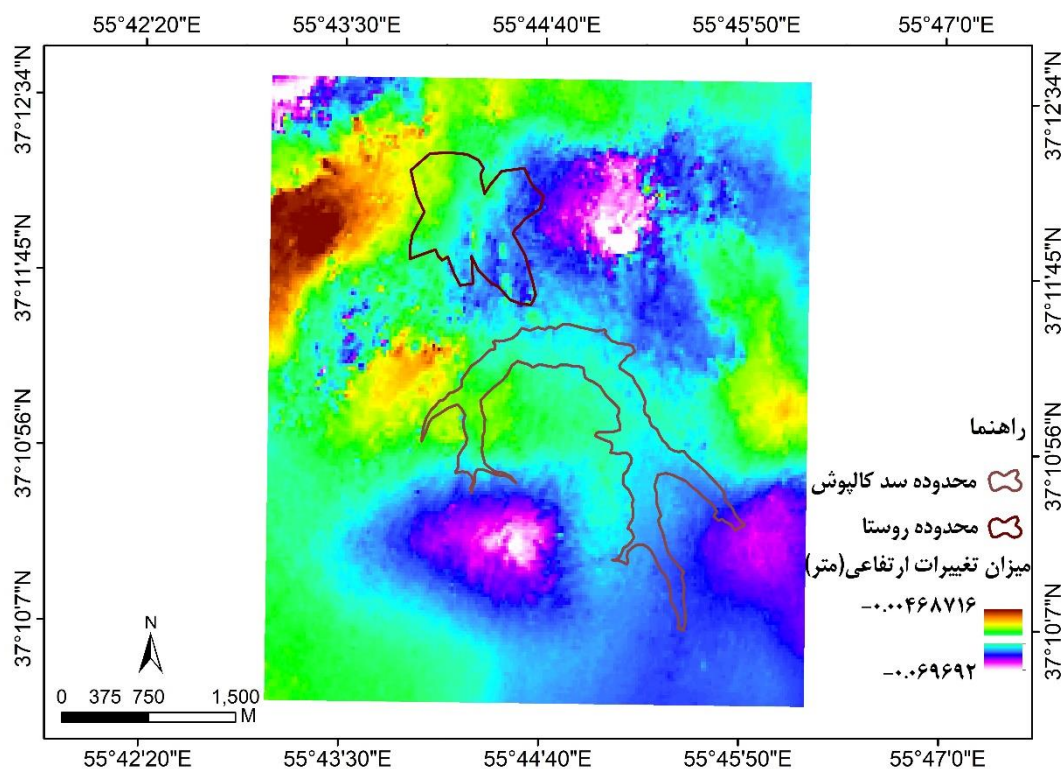
شکل (۴-۱۳) زمین مرجع کردن در نرم‌افزار SNAP

شکل (۴-۱۴) تصویر زمین مرجع شده در کل قاب با استفاده از نرم‌افزار SNAP، در محیط گوگل ارث را نشان می‌دهد. همان گونه که مشخص است بیشترین میزان جابجایی حدود ۲۴ سانتی‌متر و کمترین میزان جابجایی ۱۱- سانتی‌متر در جهت خط دید ماهواره می‌باشد. مناطق قرمز جابجایی بین ۱۶ تا ۲۱ سانتی‌متر، مناطق به رنگ زرد جابجایی بین ۰ تا ۱۶ سانتی‌متر، مناطق سبز جابجایی بین ۳- تا ۰ سانتی‌متر، مناطق طوسی جابجایی حدود ۷- تا ۳- سانتی‌متر، مناطق سفید جابجایی ۱۰- تا ۷- سانتی‌متر و مناطق مشکی جابجایی کمتر از ۱۰- سانتی‌متر را نشان می‌دهد. منطقه حسین آباد کالپوش یک قسمت کوچک از این تصویر می‌باشد که در شکل (۴-۱۵)، نمای برش داده شده و میزان تغییرات ارتفاعی در محدوده سد و روستا را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۱۴) تصویر زمین مرجع شده جابجایی منطقه

همان‌گونه که در شکل (۴-۱۵) مشاهده می‌شود، منطقه در بازه زمانی ۱۲ روز در شیب‌های شمالی و شمال غربی حدود ۷ سانتی‌متر، در شیب‌های غربی حدود ۳ تا ۴ سانتی‌متر و در شیب‌های شرقی و شمال شرقی حدود ۱ تا ۳ سانتی‌متر جابجایی در امتداد خط دید ماهواره داشته است.

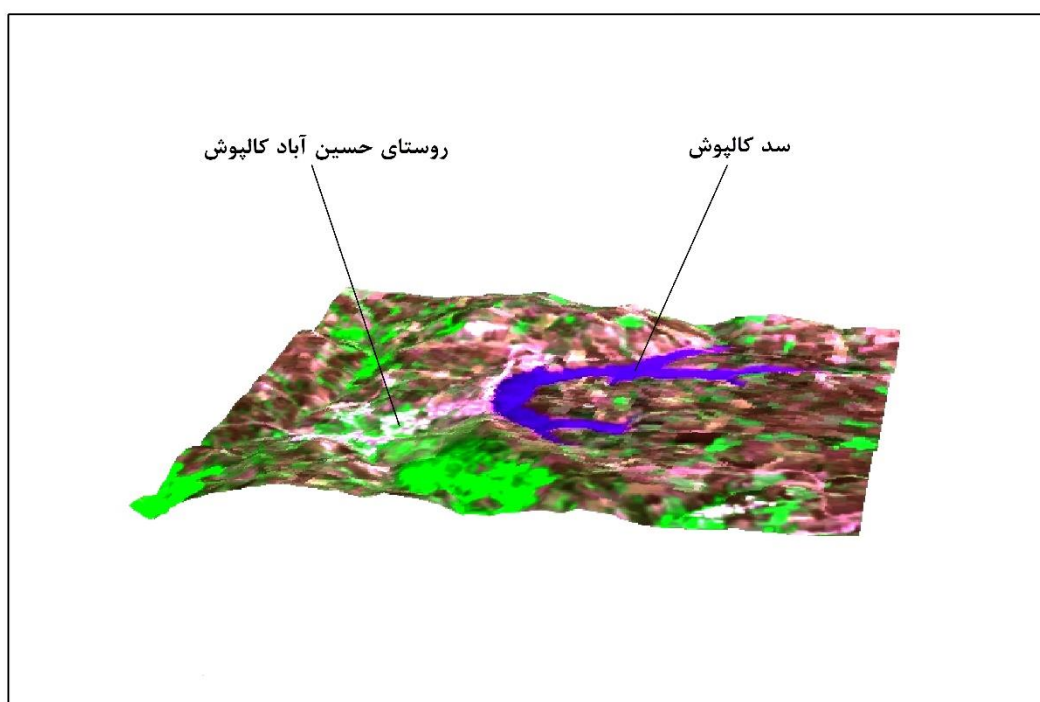


شکل (۴-۱۵) میزان تغییرات ارتفاعی زوج تصویر از ماهواره Sentinel-1

شکل (۴-۱۶) و (۴-۱۷) به ترتیب تصویر گوگل ارث و تصویر سه بعدی منطقه کالپوش می‌باشد. همانگونه که در دو تصویر مشاهده می‌شود سد در بالادست روستا و روستا نیز در داخل دره قرار گرفته است. هرگونه جریان زیرسطحی از سد می‌تواند باعث ایجاد خسارت به روستا و ایجاد لغزش در منطقه گردد.



شکل (۴-۱۶) تصویر گوگل ارث منطقه کالپوش



شکل (۴-۱۷) تصویر سه بعدی منطقه کالپوش برگرفته از گوگل ارث

۴-۳- بررسی همبستگی تکتونیکی با زمین لغزش

به منظور تحلیل میزان تأثیر گذاری زمین لرزه‌های به وقوع پیوسته در منطقه مورد مطالعه در بازه لغزش‌های اتفاق افتاده، زمین لرزه‌هایی که از تاریخ ۲۰۱۸/۳/۲۱ تا ۲۰۱۹/۷/۱۶ رخ داده، از طریق سایت مرکز لرزه نگاری کشوری به آدرس <http://irsc.ut.ac.ir> در تاریخ شهریور ۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول (۴-۲) آمار بزرگی زمین لرزه‌های رخ داده بین ۲۰۱۸/۰۳/۲۱ تا ۲۰۱۹/۰۷/۱۶ که توسط مرکز لرزه نگاری

کشوری ثبت شده‌اند

No.	Event ID	Origin Time	Lat.	Long.	Depth(km)	Mag.	Mag. Type	RMS(sec)	Azimuthal Gap (deg)	Download
1	135114	2018/03/22 09:00:20.6	36.850	55.283	10.0	2.6	MN	0.4	116	—
2	135220	2018/03/24 08:16:05.9	36.858	55.205	10.0	2.5	MN	0.4	125	—
3	135276	2018/03/26 02:03:49.3	36.758	55.347	10.0	2.7	MN	0.3	189	—
4	136035	2018/04/10 19:38:51.1	36.850	55.246	7.0	3.6	MN	0.3	95	—
5	136592	2018/04/26 12:38:03.6	36.897	55.291	16.2	2.9	MN	0.4	121	—
6	137653	2018/05/24 22:09:44.9	37.187	55.903	7.5	3.4	MN	0.3	161	—
7	137721	2018/05/26 17:42:30.3	36.887	55.304	7.7	3.2	MN	0.4	106	—
8	138411	2018/06/15 19:36:36.1	36.903	55.311	10.0	2.5	MN	0.3	147	—
9	140572	2018/08/09 10:18:46.8	36.885	55.279	5.0	2.8	MN	0.4	118	—
10	140790	2018/08/16 06:41:49.5	36.822	55.221	6.5	4.5	MN	0.2	101	Wave file
11	142071	2018/09/05 00:00:01.2	36.983	55.376	10.0	2.9	MN	0.4	77	—
12	143747	2018/10/11 07:33:49.1	37.184	55.845	25.4	2.6	MN	0.4	122	—
13	144498	2018/10/30 21:04:01.7	37.395	55.967	10.0	2.8	MN	0.4	129	—
14	145734	2018/11/28 03:45:03.1	36.976	55.638	6.9	3.3	MN	0.3	65	—
15	145946	2018/12/02 00:37:41.7	37.386	55.215	9.6	2.5	MN	0.5	192	—
16	147013	2018/12/31 02:48:59.8	36.763	55.323	10.0	2.8	MN	0.9	188	—
17	147099	2019/01/01 23:15:54.3	36.872	55.220	10.0	2.6	MN	0.4	124	—
18	148447	2019/02/10 23:44:27.1	36.862	55.329	9.0	3.2	MN	0.3	97	—
19	148495	2019/02/12 21:29:26.9	37.082	55.630	10.9	2.8	MN	0.1	83	—
20	148494	2019/02/12 21:33:23.4	37.081	55.624	8.0	2.8	MN	0.3	83	—

No.	Event ID	Origin Time	Lat.	Long.	Depth(km)	Mag.	Mag. Type	RMS(sec)	Azimuthal Gap (deg)	Download
21	149731	2019/03/25 04:06:26.4	37.240	55.740	6.8	3.4	MN	0.3	125	—
22	150704	2019/04/26 17:10:30.6	36.838	55.261	8.0	3.8	MN	0.3	108	—
23	151645	2019/05/24 23:45:08.9	37.096	55.730	8.0	2.8	MN	0.5	90	—
24	151779	2019/05/30 01:37:25.4	37.092	55.489	10.0	2.7	MN	0.4	126	—
25	152108	2019/06/08 18:40:22.3	36.910	55.282	14.8	2.7	MN	0.4	120	—
26	152340	2019/06/15 18:56:55.8	37.250	55.638	12.0	2.5	MN	0.5	135	—
27	152891	2019/07/05 02:12:42.7	37.152	55.962	9.6	2.6	MN	0.5	124	—

با توجه به جدول (۴-۲)، فقط یک مورد زمین لغزش با بزرگی ۴٫۵ ریشتر در تاریخ ۱۳۹۷/۰۵/۲۵

در محدوده رشته کوه‌های البرز و استان گلستان رخ داده است که به دلیل فاصله حدود ۶۰

کیلومتری کانون این زلزله تا منطقه کالپوش، تاثیری در لغزش‌های منطقه ندارد.

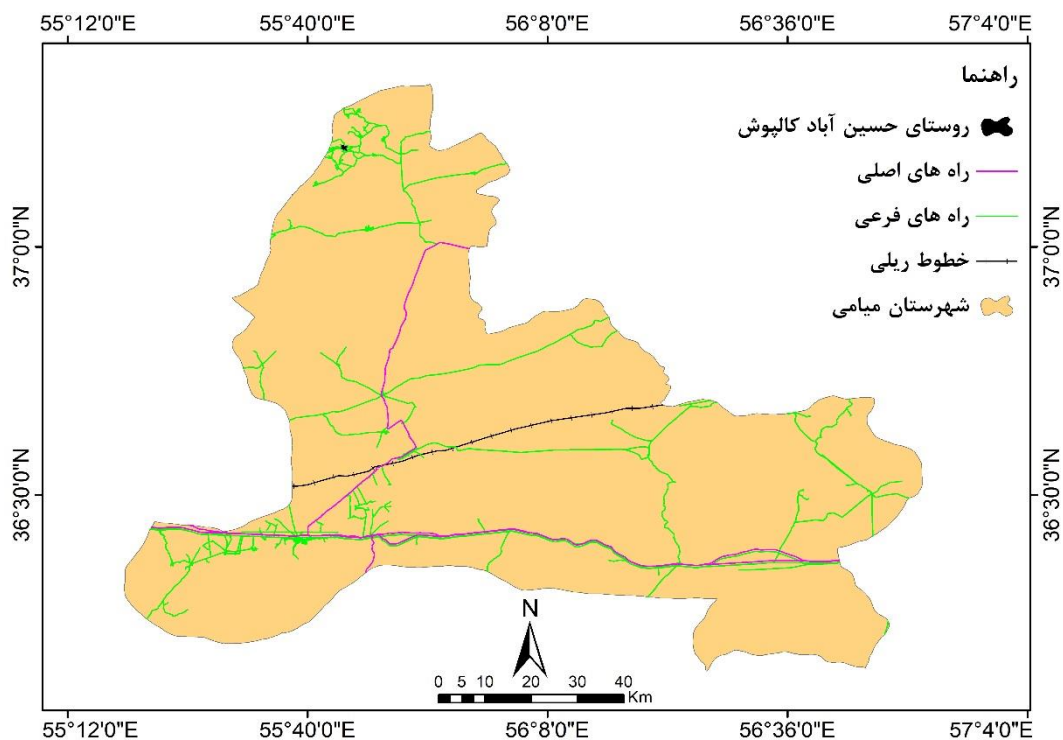
لغزش‌های دیگر در این بازه زمانی کمتر از ۴ ریشتر را ثبت کرده‌اند که تاثیری در جابجایی سطح

در مقیاس مورد بحث (سانتی‌متر) ندارند. بنابراین یافته‌های تحقیق در خصوص لغزش‌های رخ

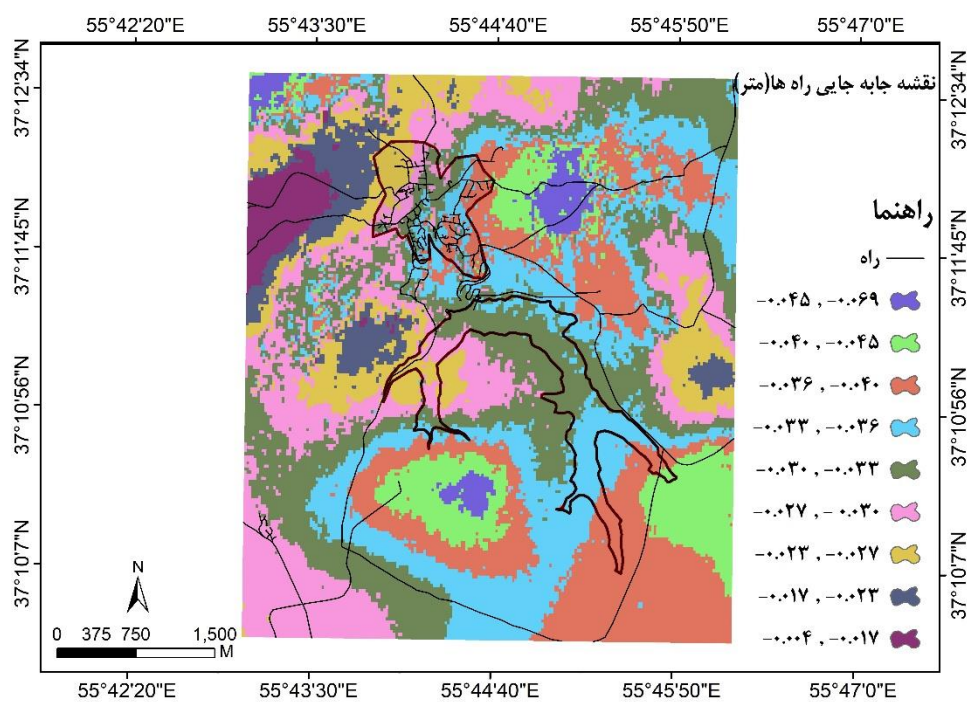
داده منطقه کالپوش بی تأثیر از ساختار تکتونیکی منطقه بوده است.

۴-۴- تحلیل‌های GIS

پس از پردازش داده‌ها در محیط نرم افزار SNAP، به تحلیل داده‌ها در GIS پرداخته می‌شود. در شکل (۱۸-۴) و (۱۹-۴) نقشه راه‌ها در شهرستان میامی و روستای حسین آباد کالپوش نشان داده شده است. با توجه به شکل (۱۸-۴)، از منطقه حسین آباد کالپوش راه‌های اصلی و خطوط راه آهن عبور نکرده است و تنها راه‌های فرعی وجود دارد. همان‌گونه که در شکل (۱۹-۴) و جدول (۳-۴) مشاهده می‌شود بیشترین میزان لغزش در حاشیه راه‌ها حدود ۷ سانتی‌متر بوده است که حدود ۳ درصد از کل لغزش رخ داده در منطقه را به خود اختصاص داده است. همچنین بیشترین جابجایی در جهت خط دید ماهواره حدود ۷۸٫۸ درصد در بازه ۳ تا ۴ سانتی‌متر بوده است که نشان می‌دهد اکثر راه‌های ارتباطی روستا حدود ۳ سانتی‌متر در بازه زمانی ۱۲ روز جابجایی داشتند. جدول (۳-۴) میزان جابجایی در جهت خط دید ماهواره در حاشیه راه‌ها برحسب درصد مساحت لغزش به مساحت کل منطقه را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۱۸) نقشه راه‌ها در شهرستان میامی

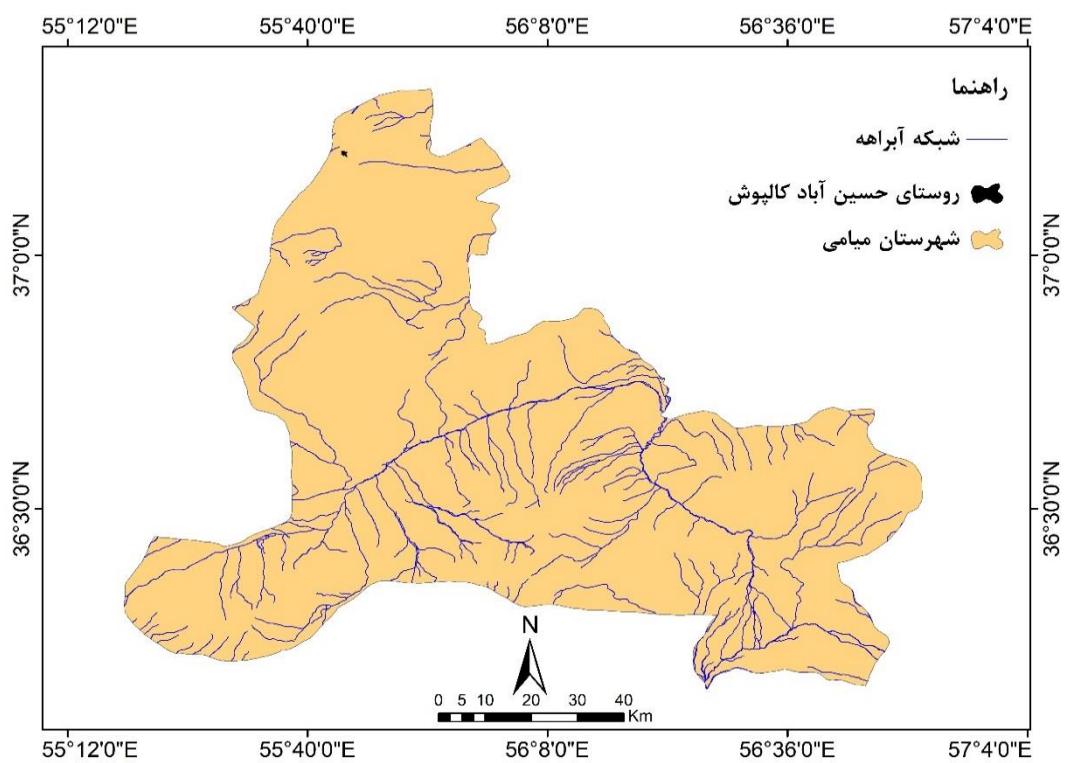


شکل (۴-۱۹) نقشه راه‌ها در روستای حسین آباد کالپوش

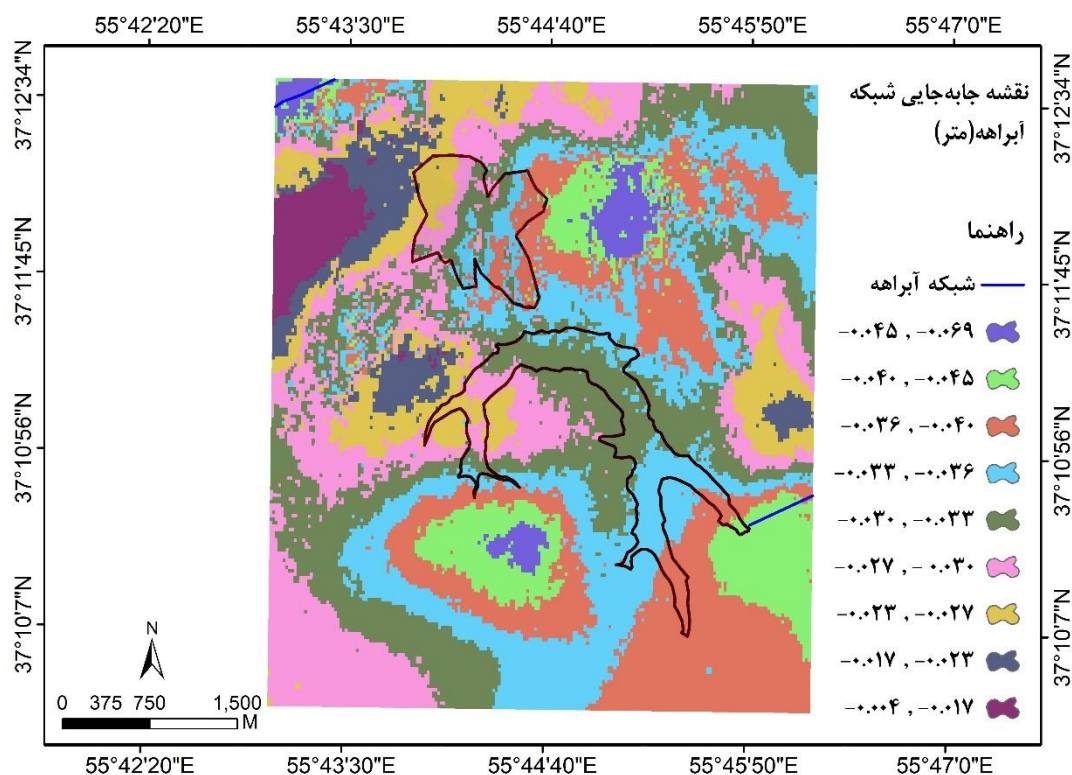
جدول (۳-۴) میزان جابجایی در حاشیه راه‌ها برحسب درصد مساحت لغزش به مساحت کل منطقه

ردیف	میزان جابجایی در جهت خط دید ماهواره (m)	درصد مساحت لغزش به مساحت کل منطقه
۱	۰,۰۴۵-۰,۰۶۹	۲,۷۸
۲	۰,۰۴-۰,۰۴۵	۴,۹۲
۳	۰,۰۳۶-۰,۰۴	۱۹,۰۹
۴	۰,۰۳۳-۰,۰۳۶	۲۳,۲۵
۵	۰,۰۳-۰,۰۳۳	۲۰,۰۴
۶	۰,۰۲۷-۰,۰۳	۱۶,۴۲
۷	۰,۰۲۳-۰,۰۲۷	۷,۲۷
۸	۰,۰۱۷-۰,۰۲۳	۱,۷۷
۹	۰,۰۰۴-۰,۰۱۷	۴,۴۶

شکل (۲۰-۴) و نقشه آبراهه شهرستان میامی و روستای حسین آباد کالپوش را نشان می‌دهد. شهرستان میامی دارای شبکه آبراهه زیادی می‌باشد که اکثر آن‌ها فصلی می‌باشند. همان‌گونه که در شکل (۲۱-۴) مشخص است در محدوده روستای حسین آباد کالپوش تنها دو آبراهه وجود دارد. ۳۷,۵ درصد از لغزش به مساحت کل منطقه در حاشیه آبراهه‌ها با میزان جابجایی ۰,۰۴۵ تا ۰,۰۶۹ متر در جهت خط دید ماهواره، ۵۳,۸۵ درصد با میزان جابجایی ۰,۰۴ تا ۰,۰۴۵ متر و ۸,۶۵ درصد از لغزش به مساحت کل منطقه با میزان جابجایی ۰,۰۳۶ تا ۰,۰۴ متر در جهت خط دید ماهواره قرار دارند.

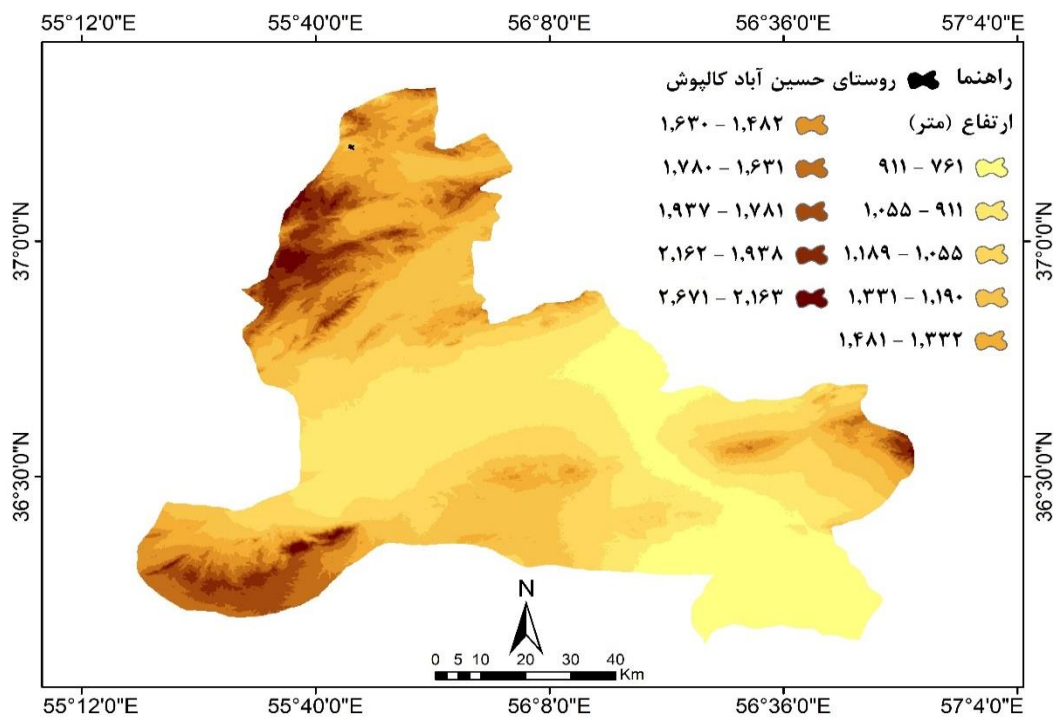


شکل (۴-۲۰) نقشه آبراهه شهرستان میامی

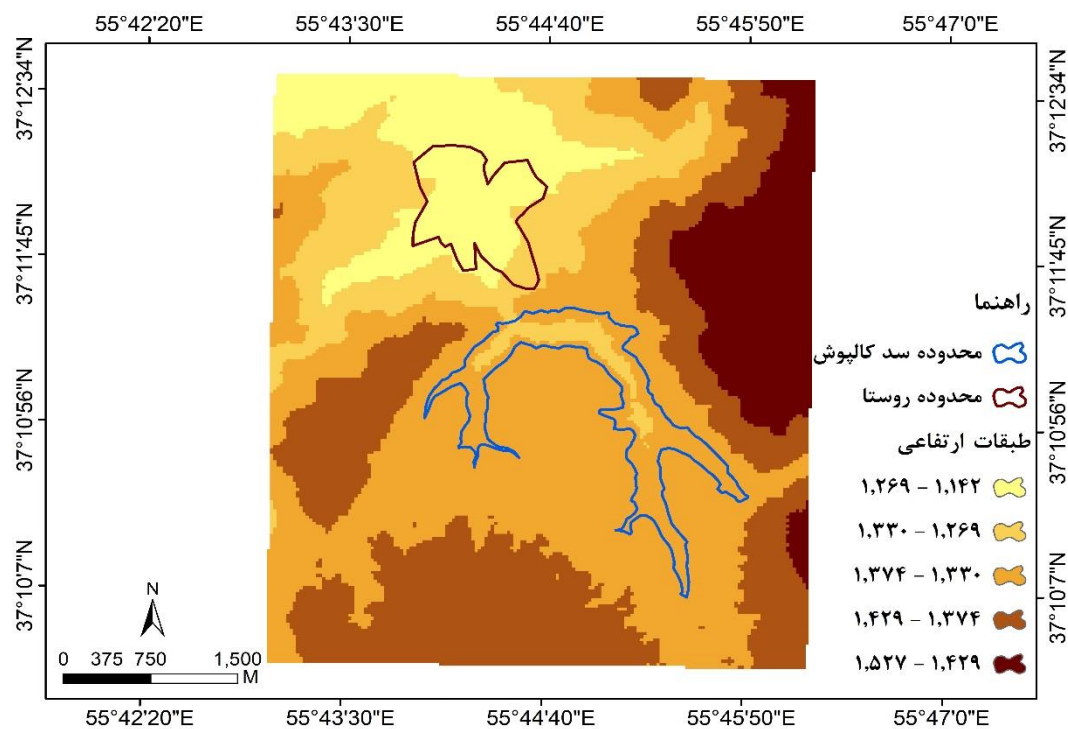


شکل (۴-۲۱) نقشه آبراهه روستای حسین آباد کالپوش

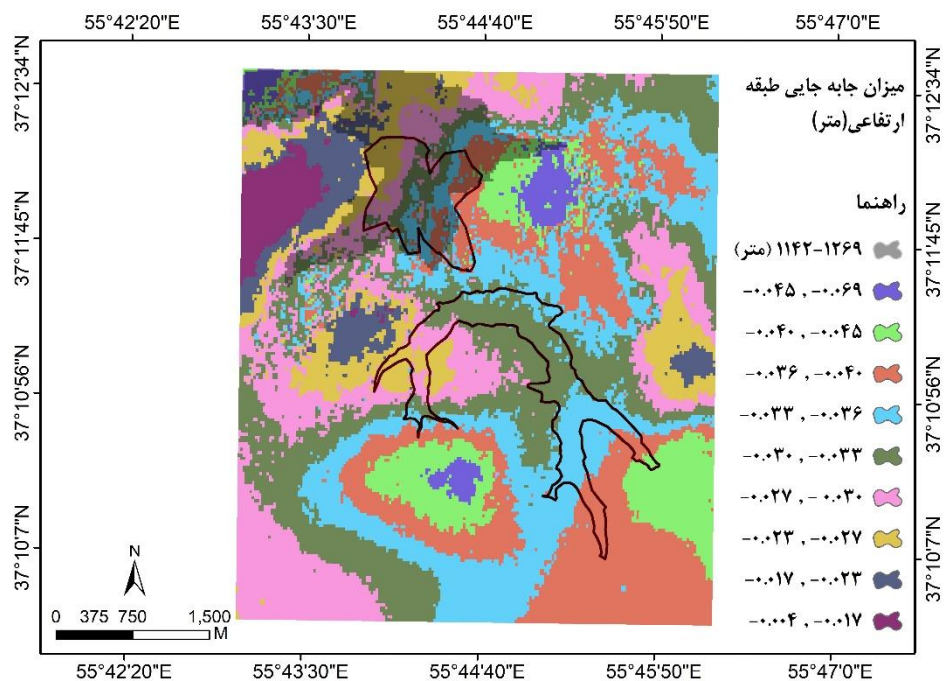
شکل (۴-۲۲) و (۴-۲۳) به ترتیب ارتفاع نقاط مختلف شهرستان میامی از سطح آب‌های آزاد و طبقات ارتفاعی منطقه حسین آباد کالپوش را نشان می‌دهد. شهرستان میامی (شکل ۴-۲۲) در پست‌ترین نقاط ۷۶۱ متر و در مرتفع‌ترین نقاط حدود ۲۶۷۱ متر از سطح دریاهای آزاد ارتفاع دارد. همانگونه که در شکل (۴-۲۳) مشخص است کلیه نقاط روستای حسین آباد کالپوش بین ۱۱۴۲ تا ۱۵۲۷ متر از سطح دریا ارتفاع دارد و منطقه تپه ماهور و کوهستانی می‌باشد. همچنین با توجه به شکل (۴-۲۴) و (۴-۲۵)، قسمت‌های سایه‌دار تراز ارتفاعی قسمت‌های مختلف روستا را در محدوده ارتفاعی ۱۱۴۲ تا ۱۳۳۰ متر نشان می‌دهد که روی نقشه جابجایی منطقه قرار گرفته است. با توجه به جدول (۴-۴)، حدود ۲۵ درصد از مساحت لغزش‌ها به مساحت کل منطقه، در محدوده روستا بوده است. همچنین میزان مساحت لغزش‌ها در دیگر نقاط ارتفاعی منطقه، برحسب درصد بیان شده است.



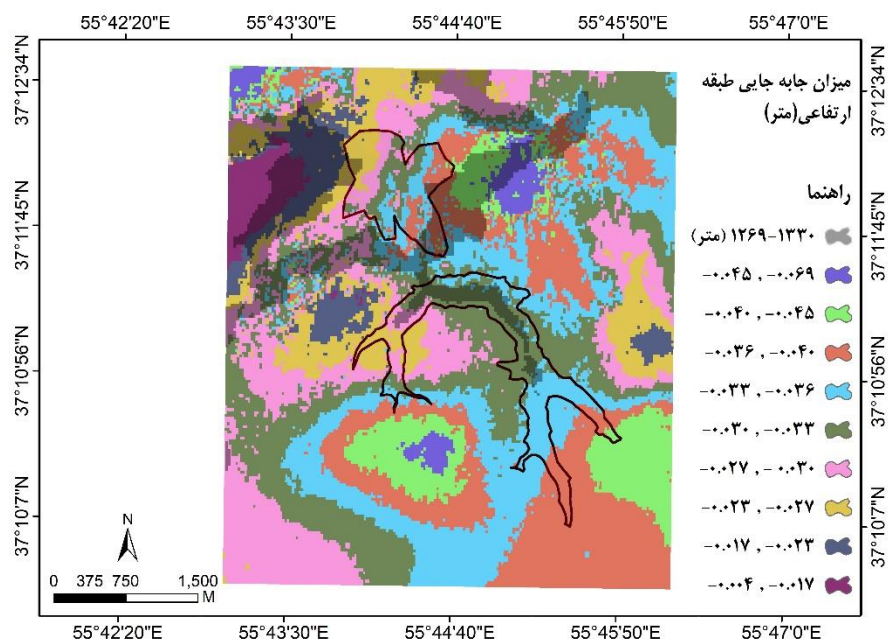
شکل (۴-۲۲) طبقات ارتفاعی نقاط مختلف شهرستان میامی



شکل (۴-۲۳) طبقات ارتفاعی نقاط مختلف روستای کالپوش



شکل (۲۴-۴) طبقات ارتفاعی نقاط مختلف شهرستان میامی

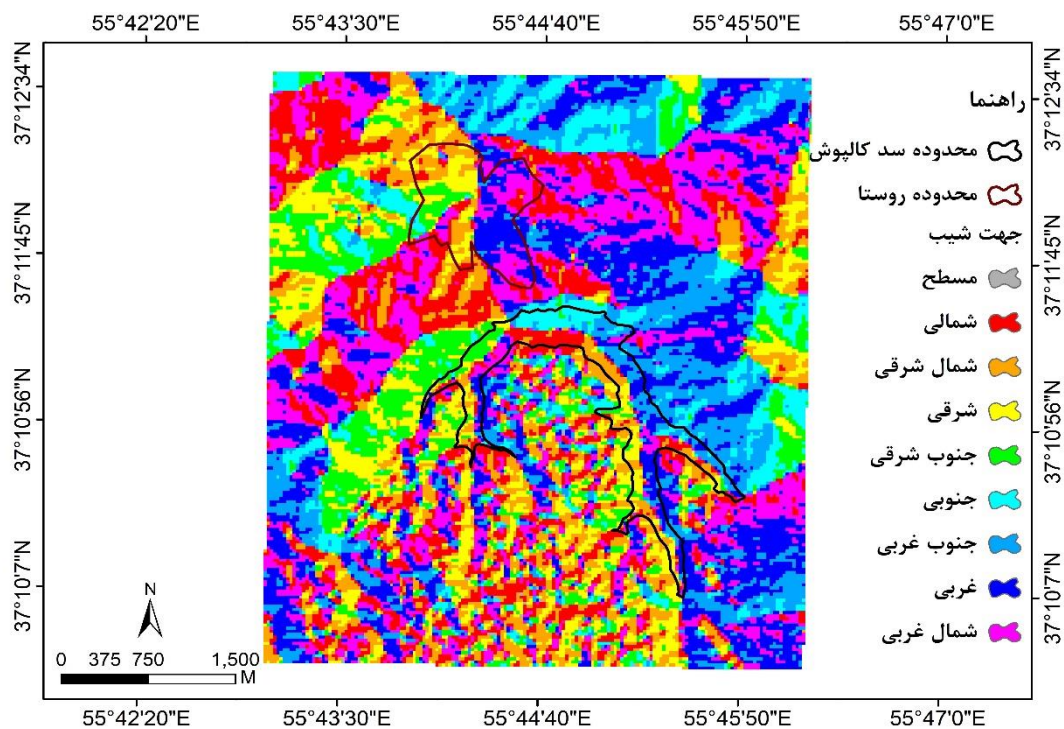


شکل (۲۵-۴) طبقات ارتفاعی نقاط مختلف شهرستان میامی

جدول (۴-۴) می‌زان جابجایی در نقاط ارتفاعی مختلف بر حسب درصد مساحت لغزش به مساحت کل منطقه

ردیف	میزان جابجایی در جهت خط دید ماهواره (m)	درصد مساحت لغزش به مساحت کل منطقه
۱	۱۲۶۹-۱۱۴۲	۱۱,۲۲
۲	۱۳۳۰-۱۲۶۹	۱۳,۹۲
۳	۱۳۷۴-۱۳۳۰	۳۹,۵۲
۴	۱۴۲۹-۱۳۷۴	۲۵,۵۵
۵	۱۵۲۷-۱۴۲۹	۹,۷۹

شکل (۴-۲۶) جهات شیب را در روستای حسین آباد کالپوش و نواحی اطراف آن نشان می‌دهد. با توجه به نتایج بدست آمده بیشترین میزان جابجایی‌ها در جهت خط دید ماهواره در منطقه لغزیده شده، شیب‌های شمالی، شمال غربی و غربی می‌باشند که (جدول ۴-۴) مجموع مساحت رانش زمین در این مناطق حدود ۴۸ درصد از مساحت کل لغزش‌ها در منطقه است و بیانگر حساس بودن خاک روستای حسین آباد کالپوش در این شیب‌ها می‌باشد. جدول (۴-۴) درصد لغزش زمین را با توجه به جهت شیب‌ها به تفکیک بیان می‌کند.



شکل (۴-۲۶) جهت شیب روستای حسین آباد کالپوش و نواحی اطراف

جدول (۴-۵) لغزش زمین با توجه به جهت شیب‌ها برحسب درصد مساحت لغزش به مساحت کل منطقه

درصد مساحت لغزش به مساحت کل منطقه	جهت شیب	ردیف
۰,۲۸	مسطح	۱
۱۴,۲	شمالی	۲
۱۱,۰۶	شمال شرقی	۳
۱۱,۰۷	شرقی	۴
۹,۰۸	جنوب شرقی	۵
۷,۹۷	جنوبی	۶
۱۲,۶۴	جنوب غربی	۷
۱۷,۵۷	غربی	۸
۱۶,۱۳	شمال غربی	۹

۴-۵- شناسایی‌های زیر سطحی

همان‌گونه که در فصل ۳ بیان شد، پس از حفر گمانه‌ها و انجام آزمایش‌های ژئوتکنیکی مشخص شد که خاک دارای عدد SPT پایین (کمتر از ۱۵) است و در گروه خاک‌های تیپ ۴ قرار گرفت. با افزایش میزان بارش، همچنین وجود جریان‌ات زیرسطحی که از تکیه‌گاه‌های شرقی سد اتفاق افتاد و با استناد به نتایج مطالعات ژئوتکنیکی انجام شده، نشان داده است که این خاک پتانسیل رمبندگی بالایی داشته است. بنابراین با حضور آب، ظرفیت خودش را از دست داده، مقاومت برشی خاک نسبت به حالت اولش کم شده و باعث نشست‌ها و جابجایی‌های زیادی شده است.

همچنین با از بین رفتن پوشش گیاهی منطقه، ریشه گیاهان که نقش تسلیح خاک را دارند و به عنوان BioImprovement شناخته می‌شوند، از بین می‌روند و در نتیجه خاک استقامت کافی در اثر تسلیح ریشه گیاهان در برابر جریان‌ات زیرسطحی نخواهد داشت. همان‌گونه که در تصاویر ۲۸ و ۲۹ مشاهده می‌شود خاک با توجه به ماهیت رمبندگی که دارد و همچنین به دلیل اشباع شدن، در برابر جریان‌ات زیرسطحی تغییرشکل‌های زیادی داشته است.

شکل (۴-۳۰) یکی از شیروانی‌هایی که لغزش در آن رخ داده است، به صورت شماتیک در نرم افزار PLAXIS مورد بررسی قرار گرفته است. به دلیل عدم دسترسی به مشخصات خاک بالادست، فرض بر آن شده است که شیروانی تا عمق ۲۰ متری از سطح زمین دارای خاک رس موجود در پایین دست است که شرایط را بحرانی تر نشان دهد. همچنین با فرض اینکه بقیه شیروانی تا عمق موردنظر، از سنگ تشکیل شده است. مشخصات سنگ بستر در جدول (۴-۶) به صورت تخمینی آورده شده است.

جدول (۴-۶) مشخصات سنگ بستر

مشخصات سنگ بستر	
۲۴	۷
(KN/m ³)	
۱۵۰	C
(KN/m ²)	
۱۵۰۰۰۰	E
(KN/m ²)	
۰,۲	ν
۳۷ درجه	Φ

شیروانی در قسمت میانی بیشترین تاثیر را از گوه گسیختگی گرفته است و مجموع جابجایی رخ داده حدود ۳۶ سانتیمتر بدست آمده است.

به منظور صحت سنجی نتیجه حاصل از نرم افزار PLAXIS، تصویری از شیروانی تغییر شکل یافته در تاریخ اردیبهشت ۱۴۰۰ برداشت شده است. همانگونه که در شکل (۴-۳۱) مشخص است، شیروانی همانند خروجی نرم افزار، از قسمت میانی دارای لغزش های بیشتری بوده و گوه گسیختگی بحرانی احتمالی در این قسمت شکل گرفته است.

شکل (۴-۳۲) و (۴-۳۳) به ترتیب میزان جابجایی نقاط نمونه برداری شده و نمودار نقاط ترسیم شده روی شیروانی را نشان می دهد. همان گونه که در شکل و نمودار مشخص است میزان جابجایی رخ داده در بازه ۱۲ روزه بین ۳ تا ۴ سانتیمتر در این نقاط متغیر بوده است. این مقدار جابجایی با

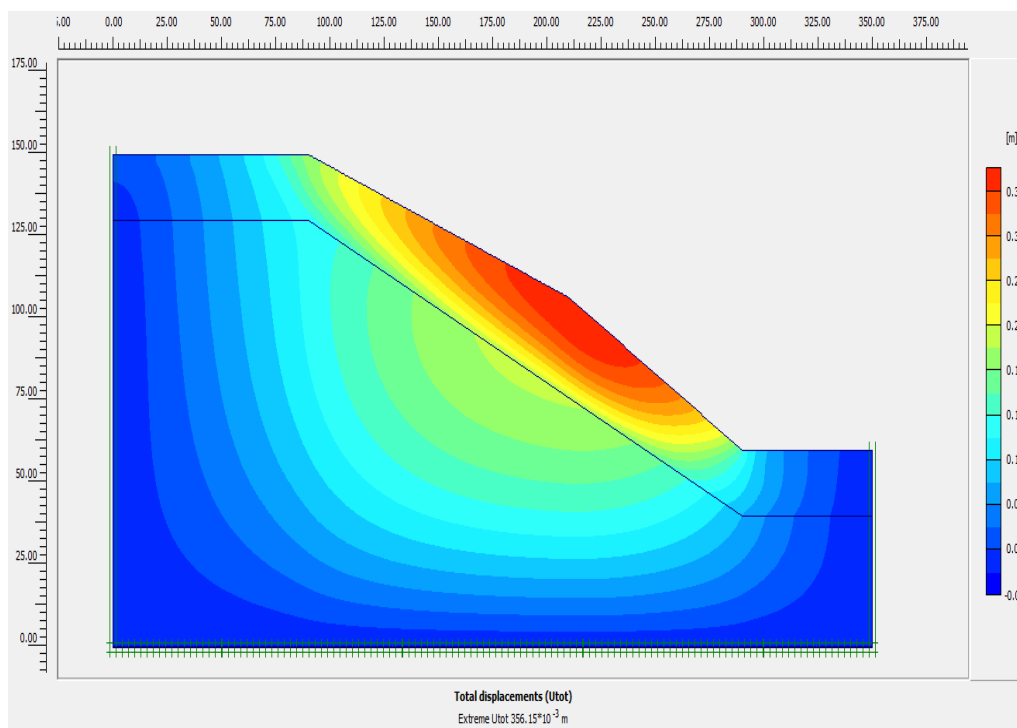
توجه به اینکه در یک بازه زمانی ۱۲ روز ایجاد شده است قابل قبول می‌باشد زیرا در صورت تحلیل منطقه در یک بازه زمانی چند ماهه قبل و بعد لغزش، میزان جابجایی‌ها افزایش پیدا کرده و به مقدار واقعی خود می‌رسد.



شکل (۴-۲۷) حضور جریانات زیرسطحی در خاک منطقه



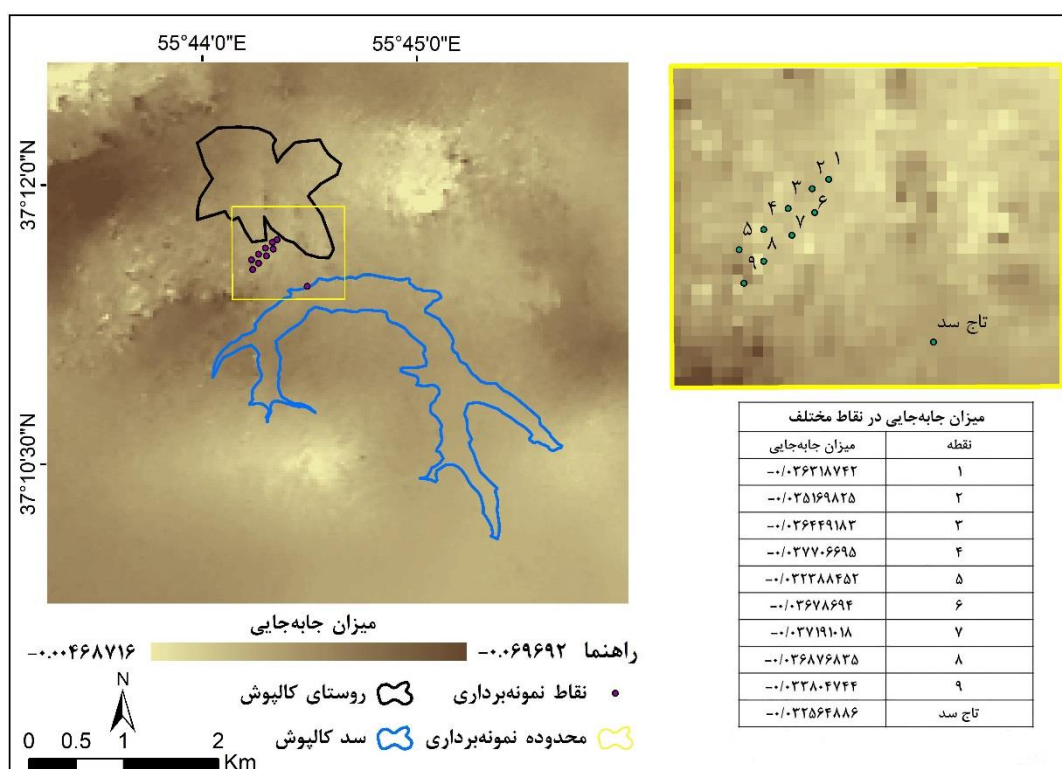
شکل (۴-۲۸) حضور جریانات زیرسطحی در خاک منطقه



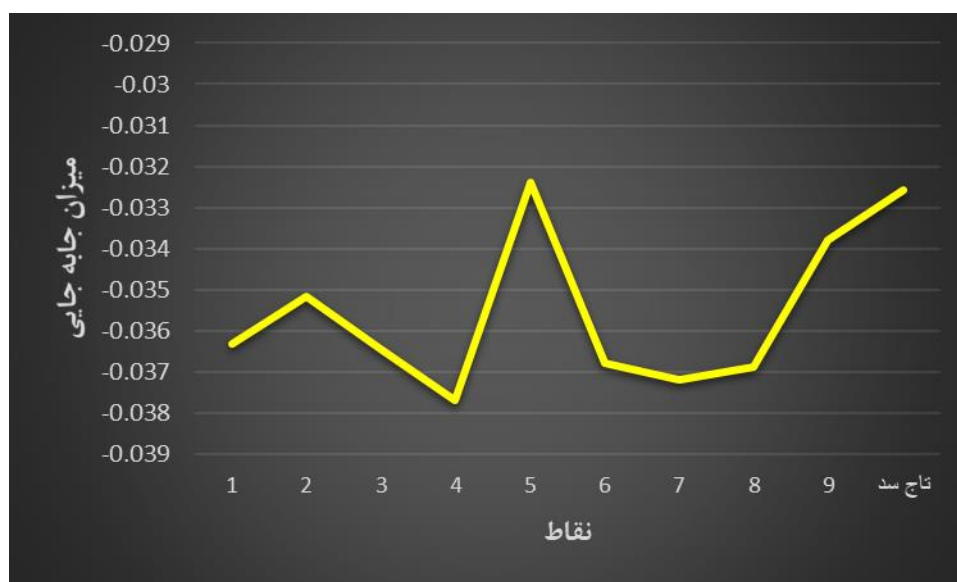
شکل (۴-۲۹) خروجی نرم افزار PLAXIS از شیروانی مدلسازی شده



شکل (۴-۳۰) شیروانی مدلسازی شده در نرم افزار PLAXIS



شکل (۴-۳۱) میزان جابه‌جایی نقاط نمونه برداری شده



شکل (۴-۳۲) نقاط گرفته شده از گوگل ارث



شکل (۴-۳۳) نقاط ترسیم شده روی شیروانی

۴-۶- پیش بینی خطرات احتمالی

همان گونه که در تصاویر مشخص است، جابجایی‌ها از مقادیر محاسبه شده بیشتر است. علت این تفاوت این بوده است که در این پژوهش یک بازه ۱۲ روزه مشاهده شده بین دو تصویر قبل از لغزش یکباره بررسی شده است و جابجایی زیادی در این بازه مشاهده شده است. این تغییرشکل‌ها ادامه پیدا کرده و باعث زمین لغزش شده است. بنابراین از این روش می‌توان برای پیش‌بینی خطرات احتمالی استفاده کرد. همچنین در محدوده راه‌های ارتباطی روستا نیز تغییرشکل‌هایی در زمان زمین لغزش در نقشه‌های جابجایی مشاهده شده بود که در مقایسه با مناطق دیگر لغزش یافته ناچیز بود. ولی در حال حاضر بعد از گذشت ۲ سال از زمین لغزش، این تغییرشکل‌ها بیشتر شده و آن مناطق نیز دچار مشکل شده‌اند. در نتیجه می‌توان از داده‌های ماهواره‌ای برای پیش‌بینی خطرات احتمالی به‌خصوص در مناطق با دسترسی‌های سخت استفاده کرد. شکل (۴-۳۴) و (۴-۳۵) لغزش روستای حسین آباد را نشان می‌دهد که اکثر این لغزش‌ها در

شیب‌های شمالی، غربی و شمال غربی بوده است. این شیب‌ها به دلیل بارش باران، عدم وجود پوشش گیاهی مناسب، حساس بودن خاک و جریان‌ات زیرسطحی ناشی از سد، دچار لغزش شده‌اند.



شکل (۴-۳۴) زمین لغزش روستای حسین آباد کالپوش



شکل (۴-۳۵) زمین لغزش روستای حسین آباد کالپوش

۴-۷- نتیجه گیری و بحث

منطقه حسین آباد کالپوش به دلیل زمین لغزش اتفاق افتاده در زمستان ۱۳۹۷ و بهار ۱۳۹۸ دچار خسارات زیادی گردید. برای پایش میزان جابجایی ها، دو تصویر از ماهواره Sentinel-1 در نرم افزار SNAP به روش DInSAR برای پایش جابجایی مورد پردازش قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین جابجایی در منطقه در شیب های شمال غربی و غربی حدود ۴ تا ۷ سانتیمتر در جهت خط دید ماهواره بوده است. همچنین راه های ارتباطی نیز دارای جابجایی های حدود ۳ سانتیمتر در بازه ۱۲ روزه شده بودند که در حال حاضر این راه ها تحت تاثیر جریانات زیرسطحی قرار گرفتند. نتایج حاصل از نرم افزار PLAXIS نیز بیانگر این است که یکی از شیروانی های غربی دارای جابجایی کلی ۳۶ سانتیمتر است. علت تفاوت دو نتیجه حاصل شده از دو نرم افزار این بوده است که دو تصویر راداری تنها در بازه زمانی ۱۲ روزه قبل از لغزش نهایی مورد پردازش قرار گرفته بودند. اگر تصویر سری زمانی در بازه یک ساله تحلیل و پردازش گردد، به نتایج PLAXIS می توان دسترسی پیدا کرد. در منطقه کالپوش به دلیل وجود جریانات زیرسطحی، ظرفیت خاک رس کاهش یافته و مقاومت برشی آن به شدت کم شده و باعث ایجاد نشست و جابجایی های زیادی شده است. این منطقه در مقایسه با دیگر مناطق مانند نقل سمیرم که در بازه زمانی ۱۰۵ و ۱۲۰ روزه به ترتیب ۵ و ۶ سانتیمتر جابجایی در جهت خط دید ماهواره داشته است [۳۳]، که در مطالعات پیشین آورده شده است، بسیار مستعد لغزش می باشد. زیرا در یک بازه زمانی ۱۲ روزه حدود ۳ تا ۷ سانتیمتر جابجایی در جهت خط دید ماهواره داشته است. می توان نتیجه گرفت تصاویر ماهواره ای به دلیل دقت بالای اندازه گیری در کنار روش های میدانی می تواند به پیش بینی هرچه بهتر خطرات احتمالی کمک کند و هزینه های ناشی از حمل ادوات زمین شناسی، نیروی انسانی و ... را نیز به میزان قابل توجهی کاهش دهد.

فصل ۵:

جمع‌بندی نتایج و پیشنهادها

۵-۱- مقدمه

زمین لغزش به علت ماهیت خطرناکی که دارد، سریعاً به ساختار مناطق مستعد لغزش تأثیر می‌گذارد و خسارت‌های عمده به زیرساخت‌ها، ساختمان‌ها، راه‌ها و ... وارد می‌کند. در این پژوهش از داده‌های سنجش از دور راداری به دلیل دقت بالای اندازه‌گیری، جهت ارزیابی پایداری شیروانی‌ها استفاده شده است. یافته‌ها بیانگر این موضوع می‌باشند که این داده‌ها برای پیش‌بینی خطرات احتمالی در کمک به عملیات میدانی، جهت پایدارسازی مناطق تحت لغزش بسیار مفید بوده و به هزینه و زمان کمتری نیاز دارند.

۵-۲- جمع‌بندی نتایج

محوریت اصلی پژوهش، ارزیابی میزان جابجایی رخ داده در منطقه حسین آباد کالپوش در اثر زمین لغزش در اواخر سال ۹۷ و بهار سال ۹۸ با بهره‌گیری از تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری می‌باشد. بنابراین از میان ۱۳ زوج تصویر، ۲ تصویر که پیوستگی مناسبی با یکدیگر داشتند، از ماهواره Sentinel-1 انتخاب و با تکنیک DInSAR مورد پردازش قرار گرفتند. نتایج حاصل از تداخل سنجی راداری بیانگر جابجایی حدود ۷ سانتی متر در شیب‌های شمالی و شمال غربی، در شیب‌های غربی حدود ۳ تا ۴ سانتی متر و در شیب‌های شمالی و شمال شرقی حدود ۱ تا ۳ سانتی متر جابجایی در امتداد خط دید ماهواره داشته است. مناطق با بیشترین جابجایی عمدتاً در شیب‌های شمالی و شمال غربی و غربی واقع شده بودند که حدود ۴۸ درصد از مساحت کل لغزش‌های منطقه است. روستا از لحاظ طبقات ارتفاعی، در بازه ۱۱۴۲ تا ۱۳۳۰ متر از سطح آب‌های آزاد قرار دارد که حدود ۲۵ درصد از مساحت کل لغزش در منطقه را به خود اختصاص داده است. در این نواحی به علت تغییر کاربری اراضی جنگلی به کشاورزی، خاک تسلیح گیاهی ناشی از ریشه درختان را از دست داده است و خاک منطقه با توجه به اینکه از نوع آلفی سول می‌باشد، دارای

عناصر بازی و رس فراوان است، تحت تأثیر بارش‌ها و جریانات زیر سطحی از زیر دیواره‌های شمالی سد قرار گرفته و به صورت اشباع درآمد است. همچنین میزان جابجایی رخ داده در اکثر راه‌های ارتباطی روستا حدود ۳ سانتیمتر در بازه ۱۲ روز بوده است که نشان دهنده تأثیر جریانات زیرسطحی به راه‌ها بوده است. با افزایش خاصیت رمبندگی، خاک رس مقاومت خود را از دست داده و روان شده است. همچنین جهت بررسی صحت نتایج حاصل از تداخل سنجی راداری، تاریخچه زمین لرزه‌های منطقه در بازه زمانی مشخصی مورد بررسی قرار گرفت. تنها یک زمین لرزه با بزرگی بیش از ۴ ریشتر مشاهده شد که به دلیل فاصله زیاد کانون زمین لرزه از منطقه، تأثیری در لغزش‌ها نداشت. بنابراین فرض نقش آفرینی تکتونیک در دوره زمانی مورد مطالعه، نادیده انگاشته شد.

نتایج حاصل شده از نرم افزار PLAXIS میزان جابجایی اتفاق افتاده را در یکی از شیروانی‌های تحت تأثیر لغزش را حدود ۳۶ سانتیمتر نشان داد. همچنین میزان ضریب اطمینان حدود یک بوده است. بنابراین با توجه به نتایج حاصل شده می‌توان نتیجه گرفت که منطقه دارای خاک سستی می‌باشد و امکان لغزش‌های بیشتر و ناپایداری شیروانی‌های منطقه حسین آباد کالپوش، در صورت اشباع شدن دوباره خاک می‌باشد.

۳-۵- پیشنهادها

- ✓ می‌توان از داده‌های ماهواره Sentinel-1 در یک محدوده زمانی بیشتری استفاده کرد تا میزان نرخ جابجایی‌ها در زمان طولانی‌تری را محاسبه کرد.
- ✓ به دلیل دردسترس نبودن تصاویر ماهواره Sentinel-1 برای بازه‌های زمانی قدیمی‌تر، می‌توان از ماهواره دیگری مانند ALOS یا RADARSAT برای انجام تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری استفاده کرد.
- ✓ پیشنهاد میشود با محاسبه جابجایی‌ها در چندین بازه زمانی پشت سرهم، سری زمانی

نرخ جابجایی را محاسبه کرد.

- ✓ میزان ریسک و نرخ لغزش‌های آینده منطقه جهت کاهش خطرات احتمالی وارد بر بخش - های مختلف از جمله مسکونی و کشاورزی که در بستر لغزش قرار دارند ارزیابی و جهت تعدیل و پیشگیری به مسئولین مربوطه گزارش شود.
- ✓ در محدوده لغزش یافته نظارت بیشتر بر پایش و بررسی ایمنی ساخت و ساز صورت گیرد و انجام کارهای عمرانی نظیر جاده و ... با نظر کارشناسی صورت پذیرد.
- ✓ می‌توان با تغییر الگوی کاشت و کاشت درختان دارای ریشه‌های عمیق در شیب‌های مستعد لغزش، اثرات ناشی از زمین لغزش‌های احتمالی آینده را کاهش داد.

۴-۵- محدودیت‌ها

- ✓ در اختیار نداشتن تصاویر ماهواره‌ای رایگان برای چند ماه متوالی جهت محاسبه نرخ جابجایی سالیانه
- ✓ در دسترس نبودن تصاویر بالاگذر از منطقه در بازه زمانی لغزش اتفاق افتاده
- ✓ عدم دسترسی به داده‌های زمین شناسی به‌روز برای انجام مطالعات ژئوتکنیکی
- ✓ عدم همکاری سازمان های ذی ربط در ارتباط با در اختیار قرار دادن نقشه‌های زمین شناسی و اقلیمی منطقه

مراجع

- [۱] م. خداهشاهی، ا. رحیمی، و. باقری سرای، ارزیابی حساسیت محدوده های زمین لغزشی ناشی از زلزله با مدل ناحیه ای کامل در منطقه رودبار- منجیل، کنگره بین المللی تخصصی علوم و زمین، ۱۳۹۴.
- [۲] ح. زهرا، ن. احمد عباس، ع. اکبر، ح. سمیه السادات، ارزیابی و پهنه بندی امتداد ریزش ها در کوه های طاق علی واقع در شمال شرق شهر کرمان، مدیریت بحران سال ششم (۱۳۹۶) ۱۹-۲۹.
- [۳] R.L. Schuster, R.W.J.B.o.t.A.o.E.G. Fleming, Economic losses and fatalities due to landslides, 23(1) (1986) 11-28.
- [۴] F. Dai, C. Lee, Y.Y.J.E.g. Ngai, Landslide risk assessment and management: an overview, 64(1) (2002) 65-87.
- [۵] L. Tianchi, W. Shumin, Landslide hazards and their mitigation in China, Science Press 1992.
- [۶] ک. محمد شریفی، تحلیل تغییرات سطحی پوسته زمین حاصل از پدیده زلزله بکمک تکنیک های سنجش از دوری، چهارمین کنگره بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام، ۱۳۸۹.
- [۷] ط. منیژه، ح. سید عطاله، بررسی عوامل موثر بر حرکات توده ای (زمین لغزش)، اولین کنگره بین المللی در مسیر توسعه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳۹۴.
- [۸] D.M.J.B.o.t.I.A.o.E.G.-B.d.l.A.I.d.G.d.l.I. Cruden, A simple definition of a landslide, 43(1) (1991) 27-29.
- [۹] D. Cruden, S. Novograd, G. Pilot, E. Krauter, R. Bhandari, V. Cotecchia, H. Nakamura, C. Okagbue, Z. Zhuoyuan, J.J.B.o.t.I.A.o.E.G. Hutchinson, Suggested nomenclature for landslides. ۱۶-۱۳ (۱۹۹۰) (۱)۴۱ ,
- [۱۰] ا. ابوالقاسم، ت. رامش، م. ملیحه، پهنه بندی خطر زمین رانش و تاثیر آن بر ناپایداری سکونت گاه های شهری مورد شناسی: زیباشهر گرگان، جغرافیا و آمایش شهری - منطقه ای سال پنجم (۱۴) (۱۳۹۴) ۱۵۵-۱۷۶.
- [۱۱] M. Niño, M.A. Jaimes, E.J.N.h. Reinoso, Seismic-event-based methodology to obtain earthquake-induced translational landslide regional hazard maps, 73(3) (2014) 1697-1713.
- [۱۲] Y. Yatini, I. Suyanto, Identification of slip surface based on geoelectrical dipole-dipole in the landslides hazardous area of Gedangsari District, Gunungkidul Regency, Province of Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing, 2018, p. 012013.
- [۱۳] A. Bouchra, H. Mustapha, R.J.J.o.G. Mohammed, E. Protection, D-InSAR Analysis of Sentinel-1 Data for Landslide Detection in Northern Morocco, Case Study: Chefchaouen, 8(7) (2020) 84-103.
- [۱۴] ق. محمدحسین، مبانی زمین شناسی مهندسی (ویژه دانشجویان زمین شناسی)، دانشگاه بوعلی سینا ۱۳۸۸.
- [۱۵] ا. مهدی، ا. طه‌ورا، تحلیل پایداری شکست واژگونی بلوکی در شبروانی های سنگی مشرف به دریاچه سدها، مهندسی معدن سال نهم (۲۲) (۱۳۹۳) ۵۲-۶۴.
- [۱۶] L. Highland, P.T. Bobrowsky, The landslide handbook: a guide to understanding landslides, US Geological Survey Reston 2008.
- [۱۷] ب. ناصر طالب، ش. محدثه، بررسی فرونشست، فروچاله و ترک های رخ داده در استان فارس، شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۱۳۹۶.

- [۱۸] ع. امین، اصول هیدرولوژی کاربردی، دانشگاه امام رضا (ع) ۱۳۹۰.
- [۱۹] S. Parhizkar, K. Ajdari, G.A. Kazemi, S.J.G. Emamgholizadeh, Predicting water level drawdown and assessment of land subsidence in Damghan aquifer by combining GMS and GEP models, 5(1) (2015) 63-80.
- [۲۰] ع. محمد، پیش بینی نشست در معادن زیر زمینی با استفاده از روش تابع تاثیر، دومین همایش ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن و صنایع معدنی، ۱۳۷۷.
- [۲۱] B.J.E.o.N.H.E.o.E.S.S. Marker, Dordrecht: Springer, https://doi.org/10.978-1--4_, Land subsidence, 208 (2013).
- [۲۲] D. Todd, L. Mays, Groundwater Hydrology, Third Edition. John Wiley and Sons, Inc, (2005).
- [۲۳] M. Motagh, T.R. Walter, M.A. Sharifi, E. Fielding, A. Schenk, J. Anderssohn, J.J.G.R.L. Zschau, Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir overexploitation, 35(16) (2008).
- [۲۴] ز. کیوان حسنگلی، بررسی نقش فعالیت های تکتونیکی در فرونشست زمین و مخاطرات ناشی از آن (با تاکید بر ایران)، دومین کنفرانس بین المللی علوم جغرافیا، ۱۳۹۵.
- [۲۵] م. محمد، پ. غلامرضا لشکری، غ. محمد، ق. محمد حسین، بررسی انحلال پذیری سنگ های گچی سازند گچساران و اثرات زیست محیطی آن در شرق استان خوزستان، علوم محیطی سال سیزدهم (۱۳۹۴) ۱۱-۲۴.
- [۲۶] S.J.N.D. Nelson, Subsidence: Dissolution & Human Related Causes, (2016) 2-10.
- [۲۷] D.N. Lapedes, McGraw-Hill dictionary of scientific and technical terms, 1974.
- [۲۸] م. یاسر، م. ساحل، مبانی سنجش از دور راداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ۱۳۹۵.
- [۲۹] J.A. Richards, Remote sensing with imaging radar, Springer 2009.
- [۳۰] ا. سیدعلی، ب. علیرضا، InSAR و نقش آن در مطالعه بلایای طبیعی، همایش ملی کاربرد مدل های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و GIS) در آمایش سرزمین، ۱۳۹۳.
- [۳۱] A. Ferretti, C. Prati, F.J.I.T.o.g. Rocca, r. sensing, Permanent scatterers in SAR interferometry, 39(1) (2001) 8-20.
- [۳۲] P. Castellazzi, W. Schmid, Ground displacements in the Lower Namoi region, 2020. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20466.53442>.
- [۳۳] ب. محبوبه خوش، ش. کورش، ف. اکبر قاضی، ه. مرتضی، کاربرد تداخل سنجی تفاضلی راداری در پایش زمین لغزش نقل سمیرم، سومین همایش ملی پژوهش های محیط زیست و کشاورزی ایران، ۱۳۹۴.
- [۳۴] خ. قشلاق، روستایی، مختاری، داود، و. کامران، خ.ن.ع.ج.و.ب. ریزی، پایش زمین لغزش ها با استفاده از روش تداخل سنجی راداری InSAR (مطالعه موردی: منطقه اهر تا ورزقان)، ۲۵(۷۵) (۲۰۲۱) ۱۱۳-۱۲۶.
- [۳۵] م. علی، شناسایی شواهدی بر وجود گنبد نمکی مدفون و جدید در ناحیه زاگرس با استفاده از روش تداخل سنجی تصاویر راداری سنتینل-۱ و ایسار، سنجش از دور و GIS در منابع طبیعی سال نهم (۱۳۹۷) ۹۰-۱۰۱.
- [۳۶] شهرام روستایی، م. داود، ف. زهرا اشرفی، شناسایی و پایش ناپایداری دامنه ای به روش پردازش اینترفرومتری تفاضلی در حوضه آبریز طالقان، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی سال هفتم (۱۳۹۷) ۱۸-۳۰.

- [۳۷] Z. Mirzaii, M. Hasanlou, S. Samieie-Esfahany, M. Rojhani, P. Ajournalou, Land Subsidence Monitoring in Azar Oil Field Based on Time Series Analysis, Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings, 2019, p. 2.
- [۳۸] ا. امیر, ت. منیژه قهرودی, ص. سید حسن, آ. محسن احتشامی معین, ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها در ناحیه راه آهن لرستان با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری (DInSAR), پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی سال ۸ (۱۳۹۸) ۱۸۳-۲۰۲.
- [۳۹] مهرابی, علی, پورخسروانی, محسن, بازگیر, س. ج. م. م. طبیعی, پایش نرخ جابجایی رانش زمین با استفاده از تکنیک پراکنش‌کننده‌های دائمی تصاویر راداری سنتینل ۱ (مطالعه موردی: رانش مشایخ, شهرستان ممسنی فارس), ۱۰ (۲۸) (۲۰۲۱) ۱-۱.
- [۴۰] گ. حمید, ی. مجتبی, گ. ابوالقاسم, م. مهران, تحلیل اثرات محسوس و نامحسوس زمین لرزه منطقه ازگله کرمانشاه بر لندفرم‌ها, جغرافیا و پایداری محیط سال ۱۰ (۱۳۹۹) ۸۹-۱۰۳.
- [۴۱] S. Babaei, Z. Mousavi, Z. Masoumi, A.H. Malekshah, M. Roostaei, M.J.I.J.o.R.S. Aflaki, Land subsidence from interferometric SAR and groundwater patterns in the Qazvin plain, Iran, 41(12) (2020) 4780-4798.
- [۴۲] A. Barra, O. Monserrat, P. Mazzanti, C. Esposito, M. Crosetto, G.J.G. Scarascia Mugnozza, Natural Hazards, Risk, First insights on the potential of Sentinel-1 for landslides detection, 7(6) (2016) 1874-1883.
- [۴۳] A. Barra, L. Solari, M. Béjar-Pizarro, O. Monserrat, S. Bianchini, G. Herrera, M. Crosetto, R. Sarro, E. González-Alonso, R.M.J.R.s. Mateos, A methodology to detect and update active deformation areas based on sentinel-1 SAR images, 9(10) (2017) 1002.
- [۴۴] A. Novellino, F. Cigna, M. Brahmi, A. Sowter, L. Bateson, S.J.G. Marsh, Assessing the feasibility of a national InSAR ground deformation map of Great Britain with Sentinel-1, 7(2) (2017) 19.
- [۴۵] J. Dong, M. Liao, Q. Xu, L. Zhang, M. Tang, J.J.E.G. Gong, Detection and displacement characterization of landslides using multi-temporal satellite SAR interferometry: A case study of Danba County in the Dadu River Basin, 240 (2018) 95-109.
- [۴۶] M. Roccheggiani, A. Tamburini, E. Tirincanti, M. Menichetti, Automated detection of surface ruptures associated with the 2016 Central Italy earthquake sequence by Sentinel-1 SAR interferometry data, Proceedings of the 9th International INQUA meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology, 2018, pp. 229-232.
- [۴۷] P. MACAROF, C.G. BARTIC, F.J.B.I.P.D.I. STĂTESCU, MAPPING VERTICAL DISPLACEMENT USING SENTINEL DATA: A CASE STUDY OF IASI CITY, 57.
- [۴۸] S. Ullo, C. Angelino, L. Cicala, N. Fiscante, P. Addabbo, M. Del Rosso, A. Sebastianelli, SAR interferometry with open Sentinel-1 data for environmental measurements: the case of Ischia earthquake, 2018 IEEE International Conference on Environmental Engineering (EE), IEEE, 2018, pp. 1-8.

- [۴۹] H.B. GUNCE, B.T. SAN, Measuring Earthquake-Induced Deformation in the South of Halabjah (Sarpol-e-Zahab) Using Sentinel-1 Data on November 12, 2017, Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings, 2018, p. 346.
- [۵۰] E. Intrieri, F. Raspini, A. Fumagalli, P. Lu, S. Del Conte, P. Farina, J. Allievi, A. Ferretti, N.J.L. Casagli, The Maoxian landslide as seen from space: detecting precursors of failure with Sentinel-1 data, 15(1) (2018) 123-133.
- [۵۱] M. Imamoglu, F. Kahraman, S. Abdikan, Preliminary results of temporal deformation analysis in Istanbul using multi-temporal InSAR with Sentinel-1 SAR data, IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE, 2018, pp. 1352-1355.
- [۵۲] L. Solari, F. Raspini, M. Del Soldato, S. Bianchini, A. Ciampalini, F. Ferrigno, S. Tucci, N.J.L. Casagli, Satellite radar data for back-analyzing a landslide event: the Ponzano (Central Italy) case study, 15(4) (2018) 773-782.
- [۵۳] F. Ramdani, F.F. Amanda, N. Tsuchiya, Displacement Linear Surface Rupture of the 2018 Palu Earthquake Detected by Sentinel-1 Sar Interferometry and Very High-Resolution Imageries of PlanetScope Data, IGARSS 2019 ۲۰۱۹-IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE, 2019, pp. 9292-9294.
- [۵۴] F.C. ÇOMUT, Ş. GÜRBOĞA, T.J.B.o.t.M.R. SMAIL, Exploration, Estimation of co-seismic land deformation due to Mw 7.3 2017 earthquake in Iran (12 November 2017 (using Sentinel-1 DInSAR, 162(162) (2020) 11-30.
- [۵۵] A. Kyriou, K.J.E.J.o.R.S. Nikolakopoulos, Landslide mapping using optical and radar data: a case study from Aminteo, Western Macedonia Greece, 53(sup2) (2020) 17-27.
- [۵۶] B.J.A.G.G. Wiecezorek, Evaluation of deformations in the urban area of Olsztyn using Sentinel-1 SAR interferometry, 17 (2020) 5-18.
- [۵۷] R. Caduff, T. Strozzi, N. Hählen, J. Häberle, Accelerating Landslide Hazard at Kandersteg, Swiss Alps; Combining 28 Years of Satellite InSAR and Single Campaign Terrestrial Radar Data, in: V. Vilímek, F. Wang, A. Strom, K. Sassa, P.T. Bobrowsky, K. Takara (Eds.), Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk: Volume 5 Catastrophic Landslides and Frontiers of Landslide Science, Springer International Publishing, Cham, 2021, pp. 267-273. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60319-9_29.
- [۵۸] C. Reyes-Carmona, A. Barra, J.P. Galve, O. Monserrat, J.V. Pérez-Peña, R.M. Mateos, D. Notti, P. Ruano, A. Millares, J.J.R.S. López-Vinielles, Sentinel-1 DInSAR for monitoring active landslides in critical infrastructures: The case of the rules reservoir (Southern Spain), 12(5) (2020) 809.
- [۵۹] R. Bonì, M. Bordoni, V. Vivaldi, C. Troisi, M. Tararbra, L. Lanteri, F. Zucca, C.J.L. Meisina, Assessment of the Sentinel-1 based ground motion data feasibility for large scale landslide monitoring, 17 (2020) 2287-2299.

- [۶۰] د. مهدی، ت. غلامرضا احمدی، کاربرد تکنیک راداری تداخل سنجی (DInSAR) در آشکارسازی تغییرات جابجایی سطحی در حوزه مخاطرات زمین ساختی، دومین کنفرانس بین المللی مخاطرات محیطی، ۱۳۹۲.
- [۶۱] سند تفصیلی تدبیر و توسعه شهرستان میامی، زمستان ۱۳۹۷، کارفرما: سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان

سمنان

- [۶۲] علیرضا، حمیدی، رمضان رضانی اومالی، عزیز الله طاهری. مطالعه ساختاری و لرزه خیزی گسل چشمه نیک در منطقه نردین (شمال شرقی میامی)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۹۸.

پیوست‌ها

پیوست الف



میانگین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک زیر پی

Parameter	amount	Unit
Wet Density	1.90	gr/cm ³
Dry Density	1.56	gr/cm ³
Compression Index	0.170	-
Swell Index	0.019	-
Adhesion Coefficient	0.130	kg/cm ²
Soil Friction Angle	16.20	deg
Elastic Coefficient	90	kg/cm ²
Poisson Ratio	0.33	-

مقادیر استفاده شده جهت محاسبه ظرفیت باربری در حالت کوتاه مدت		مقادیر استفاده شده جهت محاسبه ظرفیت باربری در حالت بلند مدت	
C _u (kg/cm ²)	Φ _u (degree)	C (kg/cm ²)	Φ degree
0.377	2.96	0.130	16.20

Name of Project	مطالعات ژئوتکنیک پروژه مقاوم سازی آموزشگاه هاجر حسین آباد کالیپوش	Borhole No : BH1	Date of Boring : 1395.04.26	Geographical Coordinates
Employer	اداره کل نوسازی - توسعه و تجهیز مدارس استان سمنان	Ground Water Level : —	Name of System Boring : DS300	X : 0388322
Site of Project	استان سمنان - شهرستان شاهرود - شهرستان میامی - روستای حسین آباد کالیپوش	Type of Drilling : mechanical	Type of Drill : Steel	Y : 4117222

Depth of Sample (meter)	Soil Classification (unified)	Symbol Sign	Soil Description (uscs)	Type of Sample		Atterberg Limited	Moisture Content %	Dry Density γ_d g/cm ³	Void Ratio	Percent Passing		Triaxial Test (UU,CU,CD)					Direct Shear Test			Unconfined Compression q_u kg/cm ²	Consolidation Test		SPT or CPT
				DS	UDS					LL %	PI %	No.4	No.200	ϕ deg	C kg/cm ²	ϕ' deg	C' kg/cm ²	Test Kind	ϕ deg		C kg/cm ²	Test Kind	
0.00 - 0.50	-		خاک رسی	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.50 - 2.00	CL		رس با خاصیت خمیری پایین	✓	-	31.42	11.46	16.93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.00 - 4.00	CL		رس با خاصیت خمیری پایین	✓	-	38.14	16.09	15.62	-	-	100.0	98.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15
4.00 - 6.00	CL		رس با خاصیت خمیری پایین	✓	-	32.32	14.15	19.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
6.00 - 6.50	CL		رس با خاصیت خمیری پایین	✓	✓	34.79	14.28	21.28	1.59	1.93	100.0	98.03	3.38	0.411	UU (Saturated)		-	-	-	-	0.161	0.020	-
6.50 - 8.00	CL		رس با خاصیت خمیری پایین	✓	-	26.76	7.82	17.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8.00 - 10.0	CL		رس با خاصیت خمیری پایین	✓	-	31.79	11.70	20.51	-	-	100.0	96.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11
10.0 - 12.0	CL		رس با خاصیت خمیری پایین	✓	-	32.23	12.15	21.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
12.0 - 12.5	CL		رس با خاصیت خمیری پایین	✓	✓	29.24	11.59	20.10	1.60	1.92	100.0	97.92	-	-	-	-	-	17.12	0.133	Slow	1.399	-	-
12.5 - 14.0	CL		رس با خاصیت خمیری پایین	✓	-	29.96	10.48	19.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14.0 - 15.0	CL		رس با خاصیت خمیری پایین	✓	-	33.29	13.53	18.61	-	-	100.0	97.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13

Symbol Log	DS	Disturbed	GW		SW		PT		Laboratorial Liabie :	Comment :	
	UDS	Undisturbed	GP		SP		CL			۱- تا عمق حفاری شده سطح آب زیرزمینی مشاهده نگردید.	
	GWL		GC		SC		ML			توزیع نسج :	Form Number
	GC-GM		GM		SM		CH			۱- کارفرما ۲- مشاور طرح ۳- پیمانکار پروژه ها	F220/00

Name of Project	مطالعات ژئوتکنیک پروژه مقاوم سازی آموزشگاه هاجر حسین آباد کابلوش	Borhole No : BH2	Date of Boring : 1395.04.27	Geographical Coordinates
Employer	اداره گل نوسازی - توسعه و تجهیز مدارس استان سمنان	Ground Water Level : - 3.50 m	Name of System Boring : DS300	X : 0388311
Site of Project	استان سمنان - شهرستان شاهرود - شهرستان میامی - روستای حسین آباد کابلوش	Type of Drilling : mechanical	Type of Drill : Steel	Y : 4117254

Depth of Sample (meter)	Soil Classification (unified)	Symbol Sign	Soil Description (usos)	Type of Sample		Aterberg Limited		Moisture Content %	Dry Density g/cm³	Wet Density g/cm³	Percent Passing		Triaxial Test (UU,CU,CD)				Direct Shear Test			Unconfined Compression q _u kg/cm²	Consolidation Test		SPT or CPT	
				DS	UDS	LL %	PI %				w %	Y _d g/cm³	Y _m g/cm³	No.4	No.200	φ deg	C kg/cm²	φ' deg	C' kg/cm²		Test Kind	φ deg		C kg/cm²
0.00 - 0.50	-		خاک رستنی	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0.50 - 1.50	CL		رس با خامیاد خمیری پایین	✓	-	32.76	14.09	20.61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1.50 - 3.50	CL		رس با خامیاد خمیری پایین	✓	-	32.14	11.60	21.77	-	-	100.0	96.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	
3.50 - 5.00	CL		رس با خامیاد خمیری پایین	✓	-	31.43	11.95	24.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5.00 - 5.50	CL		رس با خامیاد خمیری پایین	✓	✓	31.48	11.26	25.19	1.54	1.93	100.0	96.97	-	-	-	-	-	15.27	0.127	Slow	-	0.179	0.018	-
5.50 - 7.00	CL		رس با خامیاد خمیری پایین	✓	-	36.12	16.67	21.79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	
7.00 - 9.00	CL		رس با خامیاد خمیری پایین	✓	-	27.34	9.90	20.66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	
9.00 - 9.50	CL		رس با خامیاد خمیری پایین	✓	✓	30.74	13.54	22.02	1.50	1.83	100.0	97.18	2.54	0.342	UU (Saturated)	-	-	-	-	0.988	-	-	-	
9.50 - 11.0	CL		رس با خامیاد خمیری پایین	✓	-	29.20	12.08	20.79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	
11.0 - 13.0	CL		رس با خامیاد خمیری پایین	✓	-	32.37	13.91	21.04	-	-	100.0	97.47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13.0 - 15.0	CL		رس با خامیاد خمیری پایین	✓	-	34.11	15.96	20.99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	

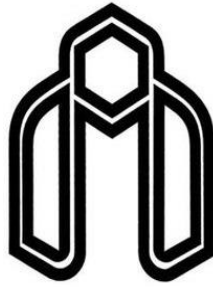
Symbol Log	DS	Disturbed	GW		SW		PT		Laboratorial Liabile :	Comment :		
	UDS	Undisturbed	GP		SP		CL			۱- سطح آب زیرزمینی در تراز ۳۱۵۰- متری از سطح محل حفاری مشاهده گردید.		
	GWL		GC		SC		ML			توزیع تسخ :		
	GC-GM		GM		SM		CH			۱- کارفرما ۲- مشاور طرح ۳- پانگانی پروژه ها		
										Form Number F220/00		

Abstract:

Landslides, due to their dangerous nature, quickly affect the structure of landslide-prone areas and cause major damage to infrastructure, buildings, roads, etc. In this study, landslides and slope stability in the area of Hosseinabad Kalposh village of Miami city in Semnan province have been investigated.

In this study, Sentinel-1 satellite images have been used, using radar interferometry technique, to evaluate and identify areas prone to fall. In the next step, the results were analyzed in GIS environment. Finally, subsurface identifications have been performed to verify the results. The results of interference measurement of Sentinel-1 radar data with DInSAR technique in a period of 12 days show displacements of about 7 cm in the northern and northwestern slopes, about 3 to 4 cm in the western slopes and 1 to 3 cm in the eastern and northeast slopes. In the area of communication roads of the village, shifts of about 3 cm have been observed. Subsurface identifications also indicated low-paste clay soils with a low SPT number. Due to the presence of groundwater, heavy rainfall and lack of soil reinforcement by the roots of trees, the soil has become saturated and with the increase of trapping properties, it has lost its shear strength and has been lubricated.

Keywords: Landslide, Earthen roof, Hossein Abad Kalposh, Sentinel-1, Subsurface identification, DInSAR



Shahrood University of Technology

Civil Engineering Department

Evaluation of stability (risk of collapse) of earthen and rocky slopes using remote sensing

A Thesis for the Degree of Master of Science in Civil Engineering

By:

Majid Mehrabadi

Supervisor:

Dr. Mohsen Keramati

Dr. Saeid Gharechelo

September 2021