

فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل

سال پنجم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳، (پیاپی ۱۷): صص ۱۱-۲۰

استفاده از تصاویر ماهواره ای ASTER جهت پیش بینی هجوم آبهای زیرزمینی در تونل‌های انتقال آب (مطالعه موردی؛ تونل نوسود)

صفا خزائی^۱، مجتبی حیدری^۲، مسعود شرفی^۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۰۵

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۶

چکیده

در مناطق مرزی کشور، استفاده از سنجش از دور ماهواره‌ای به جای پیمایش زمینی می‌تواند راهکاری با مخاطرات و هزینه کمتر جهت مطالعات زمین‌شناسی مهندسی در مسیر تونل‌ها محسوب شود. زمین‌های اشغال‌شده توسط مین‌ها و مهمات عمل‌نکرده، تردد گروه‌های معاند و قاچاقچیان و همچنین توپوگرافی خشن منطقه و پرتگاه‌ها محدودیت‌های پیمایش میدانی در مناطق مرزی هستند که رفع آنها از دیدگاه پدافند غیرعامل مهم می‌باشد. در این مطالعه، مسئله برخورد با مناطق مستعد هجوم آب زیرزمینی از طریق شکستگی‌های باز در تونل انتقال آب نوسود واقع در منطقه مرزی شمال غرب کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات زمین‌شناسی زمینی در مناطق مطالعه‌شده در مسیر تونل، نشان می‌دهد که لیتولوژی منطقه از جنس سنگ آهک و شیل است و موجب ایجاد توالی لایه‌های سخت و نرم در ساختگاه تونل شده است. به منظور تعمیم اطلاعات حاصل از پیمایش زمینی به کل نواحی مسیر تونل، از نقشه پوشش گیاهی حاصله از پردازش تصویر ماهواره‌ای استر و نیز تحلیل مدل ارتفاعی رقومی منطقه استفاده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده و مطابق با مشاهدات زمین‌شناسی مهندسی، لایه‌های ضخیم آهکی در محدوده پرتگاه‌ها، چشمه‌های فراوان و شکستگی‌های باز، فاکتورهای شناسایی در شناسایی واحدهای زمین‌شناسی پرخطر در مسیر تونل نوسود می‌باشند.

کلیدواژه‌ها: پدافند غیرعامل، تونل، تصاویر ماهواره‌ای استر، زمین‌شناسی مهندسی، شکستگی‌های باز

۱- استادیار دانشگاه جامع امام حسین (ع) s.khazai@ihu.ac.ir - نویسنده مسئول

۲- استادیار دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۳- کارشناس ارشد، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۱- مقدمه

جمهوری اسلامی ایران با ۵۴۴۰ کیلومتر مرز سیاسی در بین کشورهای جهان، دومین کشوری است که دارای بیشترین تعداد کشورهای همجوار است. بخش عمده‌ای از مناطق مرزی کشور به دلیل عواملی از قبیل: تهدیدات نظامی آمریکا و برخی کشورهای منطقه، تردهای غیر قانونی اتباع مهاجر، تردد گروه‌های معاند و تروریستی، تردد قاچاقچیان، و وجود میادین مین و مهمات عمل‌نکرده، نا امن تلقی می‌شوند. این محدودیت‌ها در کنار مسائل زمین‌شناختی منطقه (توپوگرافی خشن و عدم دسترسی راه‌ها) در زمینه جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات محلی باعث پرهزینه شدن و افزایش ریسک‌پذیری در خصوص مطالعه و اجرای پروژه‌های عمرانی در مناطق مرزی گردیده است. بر اساس آنچه بیان شد، انجام سریع، دقیق و ایمن مطالعات زمین‌شناسی مهندسی پروژه‌های عمرانی در مناطق مرزی کشور، از دیدگاه پدافند غیرعامل موضوعی مهم محسوب می‌گردد.

تونل‌های انتقال آب، یکی از رایج‌ترین طرح‌های تونل‌سازی در رشته کوه‌های زاگرس و البرز محسوب می‌گردند. مشکلات زمین‌شناسی مهندسی از قبیل هجوم آب، ریزش تونل و برخورد با حفرات کارستی را می‌توان از مهم‌ترین مسائل این پروژه‌ها در نظر گرفت. منطقه مورد مطالعه (مره‌خیل) در شمال غرب استان کرمانشاه واقع است و جزء نواحی مرزی به حساب می‌آید. به لحاظ موقعیت مرزی استان کرمانشاه و برخورداری از حدود ۳۰۰ کیلومتر مرز مشترک با کشور عراق، ارزش نظامی و ژئوپلتیکی این منطقه حائز اهمیت است. از سویی به دلیل طرز قرارگیری ارتفاعات این استان به صورت پله‌ای و موازی با مرز، موقعیت خوب پدافندی و از طرف دیگر، شکل هندسی مرز و محدب بودن آن، موقعیت خوب آفندی را برای کشورمان ایجاد نموده که در هیچ منطقه‌ای از غرب کشور چنین امکانات طبیعی برای یک واحد عملیاتی فراهم نمی‌باشد.

بر اساس آنچه بیان شد، شناسایی و تحلیل مناطق مستعد هجوم آب در مسیر تونل‌ها در مناطق مرزی کشور با استفاده از روش‌های میدانی (زمینی) متحمل ریسک و هزینه بالا است. گزارش‌های متعددی در ارتباط با هجوم آب زیرزمینی به داخل تونل در رشته کوه زاگرس و البرز تا کنون به ثبت رسیده است. از جمله می‌توان به تونل زاگرس [۱] تونل قمرود [۲] تونل البرز [۳] اشاره نمود. از روش‌های تحلیلی محاسبه حجم جریان آب

زیرزمینی می‌توان به روش گودمن [۴] و پروچت و دمتیس [۵] اشاره نمود که این روش‌ها از قوانین حاکم بر جریان هیدرولیکی اطراف چاه تبعیت می‌کند. از آنجایی که تمامی این روش‌ها مبنای تئوریک دارند نتایج به‌دست آمده آنها نزدیک به هم می‌باشد. با توجه به اینکه در اکثر روش‌های تحلیلی از پارامتری به نام ضریب هدایت هیدرولیکی k استفاده می‌گردد و این ضریب به هندسه سیستم منافذ (اندازه و انحنا) بستگی دارد، کاربرد این روش‌ها را با توجه به شرایط پیچیده زمین به ویژه در تونل‌های عمیق محدود می‌نماید. بنابراین با وجود برخورد با جریان‌های لوکالیزه آب زیرزمینی در شرایط ناهمگون و پیچیده زمین‌شناسی که توسط مشخصه‌هایی مانند تناوب لایه‌ها، چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی ایجاد می‌شود نمی‌توان تنها به نتایج محاسباتی اکتفا نمود. چنانچه در طی عملیات تونل‌سازی در لایه آبداری رخنه ایجاد شود، مسلماً جریان پیش‌رونده آب به سوی تونل روی خواهد داد لذا پیش‌بینی این نوع جریان‌های آب به دلیل ساختار پیچیده زمین‌شناسی به ویژه در مناطق عمیق بسیار دشوار است. بر این اساس، فناوری سنجش از دور ماهواره‌ای می‌تواند روشی مناسب در کنار روش‌های میدانی به حساب آید. در سال‌های اخیر، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به منظور شناسایی منابع آب زیرزمینی به طور گسترده رواج یافته است. از کاربردهای معمول در این زمینه و استخراج اطلاعات از تصویر ماهواره‌ای می‌توان به تهیه نقشه بیواستراتی گرافی^۱ [۶]، تشخیص و شناسایی گسل‌ها [۷-۹]، نقشه برداری سیمای خطی در سرزمین‌های رسوبی [۱۰، ۱۱]، و تهیه نقشه کانی‌های رسی [۱۲] اشاره نمود. در برخی موارد، سیمای خطی ممکن است گسل‌هایی با جابجایی قائم را نشان دهند که آبخوان را در برابر یک مانع ناتراوا^۲ قرار دهد و در چنین حالتی، سیمای خطی می‌تواند سدی در برابر جریان آب زیرزمینی باشد [۱۳]. تیلور و همکارانش [۱۲] نمونه‌ای از یک سیمای خطی را ارائه دادند که به‌عنوان مانعی در برابر آب زیرزمینی عمل می‌کند. مطالعه شاخص‌های فیزیوگرافیک سطحی زمین شامل وضعیت توپوگرافی، ژئومورفولوژی، شبکه زهکشی، پوشش گیاهی، پراکنش چشمه‌ها و شواهد کارستی می‌باشد. چگونگی و روش مطالعه این عوامل و ارتباط آنها با نوع ساختارهای تکتونیکی محلی از قبیل گسل‌ها و شکستگی‌ها، نقش مؤثری در شناسایی مناطق مستعد تشکیل زون-های آبدار زیرزمینی ایفا می‌کند. تونل انتقال آب نوسود با طول ۱۴ کیلومتر، یکی از تونل‌های مهم غرب کشور است. به دلیل قرارگیری

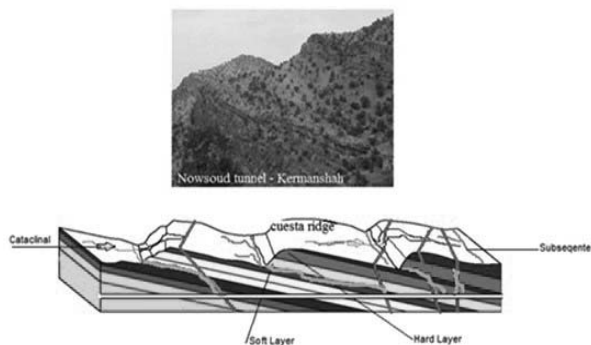
1- Map biostratigraphy

2- Impermeability

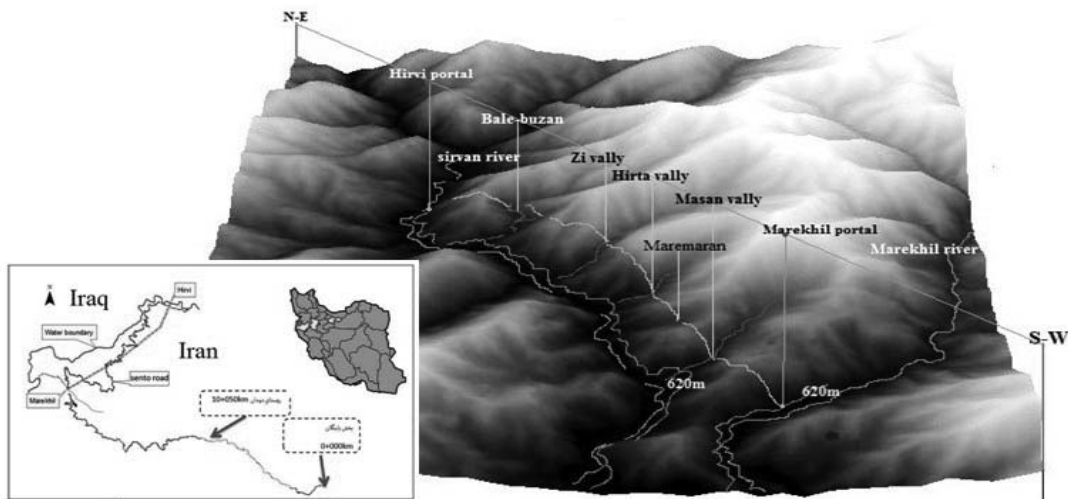
استر (ASTER)^۱ مورد بررسی و تحلیل قرار دهد.

۲- زمین‌شناسی مهندسی تونل نوسود

تونل بلند نوسود با قطر ۲۷۵/۵ متر و امتداد محور NE-SW عمود بر امتداد محور اصلی کوه‌های زاگرس (NW-SE) قرار می‌گیرد (شکل ۱). جهت حفاری تونل از جنوب غرب به سمت شمال شرق بوده و روش حفاری از نوع سپری می‌باشد. یکی از مهم‌ترین چالش‌های روش حفاری سپری^۲ در این‌گونه مناطق، ناسازگاری با شرایط متنوع زمین می‌باشد [۱۴]. عوارض پرتگاهی به نام کواستا^۳ که یکی از محدودیت‌های مطالعاتی در منطقه است به طور وسیعی در منطقه گسترش یافته‌اند. شکل‌های کواستا منظرهای پله‌ای در منطقه ایجاد کرده‌اند که گواه بر تأثیر توالی لایه‌های سخت آهکی و لایه‌های نرم شیلی در تشکیل آنها است.



شکل ۲- نمایی از شکل‌های کواستا و مشخصات مورفولوژیکی آن



شکل ۱- موقعیت قرارگیری و مسیر دسترسی به پروژه مرزی تونل انتقال آب نوسود

تونل در منطقه مرزی و موقعیت ژئوپلیتیکی آن، مطالعات پدافند غیرعامل از اهمیت بالایی برخوردار است. این تحقیق در نظر دارد تا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به بررسی امکان‌پذیری انجام مطالعات زمین‌شناسی مهندسی محدوده مسیر این تونل بپردازد. روند انجام پژوهش در این مقاله بدین صورت است که ابتدا مسائل و محدودیت‌های مطالعات مهندسی در منطقه مطالعه و نقشه مناطق بدون مطالعه از نظر جمع‌آوری داده‌های زمینی ترسیم می‌گردد. پس از اینکه منطقه به دو ناحیه مطالعه‌شده و بدون مطالعه تقسیم‌گردد، ناحیه بدون مطالعه توسط تصویر ماهواره‌ای مورد مطالعه قرار گرفته و با نتایج به‌دست‌آمده از ناحیه مطالعه‌شده، در محیط نرم‌افزار ArcGIS مورد مقایسه قرار گرفته و در بخش‌هایی به منظور ارزیابی پتانسیل نتایج مطالعه تصاویر ماهواره‌ای در شناسایی رخداد هجوم آب به داخل تونل در منطقه مرزی، با داده‌های ثبت‌شده حین حفاری مطابقت داده می‌شود.

هدف این پژوهش، ارزیابی پتانسیل تصاویر ماهواره‌ای در مطالعات زمین‌شناسی مهندسی و پیش‌بینی مخاطرات در اجرا و ساخت تونل‌های انتقال آب در مناطق مرزی کشور می‌باشد. بدیهی است که این هدف به دلیل وجود مخاطرات طبیعی و انسان‌ساز از دیدگاه پدافند غیرعامل حائز اهمیت فراوان است. از این رو، این پژوهش در نظر دارد تا با هدف تسهیل و افزایش دقت مطالعات دفاعی، مطالعه زمین‌شناسی مهندسی پروژه انتقال آب نوسود در منطقه مرزی مره‌خیل را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

2- Drilling shield

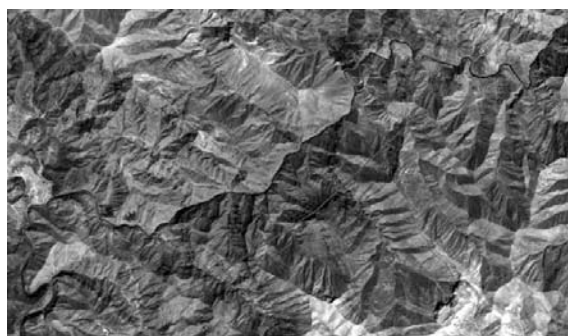
3- Cuesta

1- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

۳- نتایج تجربی

۳-۱- داده‌ها

در این پژوهش، نقشه‌های موضوعی از منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی مهندسی (حاصل پیمایش صحرایی) و تصاویر ماهواره‌ای استر تهیه شده است. استر سنجنده چندطیفی ماهواره Terra است که دارای ۱۵ باند مشتمل بر دو باند مرئی، دو باند فرورسرخ نزدیک، شش باند فرورسرخ موج کوتاه و پنج باند حرارتی می‌باشد. اندازه پیکسل زمینی این سنجنده در باندهای مرئی، فرورسرخ نزدیک ۱۵ متر، در باندهای فرورسرخ موج کوتاه ۳۰ متر و در باندهای حرارتی ۸۰ متر می‌باشد. پهنای نوار پوشش زمینی این سنجنده نیز ۶۰ کیلومتر است. شکل (۴)، منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. یکی از ویژگی‌های بارز سنجنده استر در چهار باند مرئی و فرورسرخ نزدیک، قابلیت تهیه تصاویر پوششی (استریو) در امتداد مسیر حرکت^۱ ماهواره است. بر اساس این ویژگی می‌توان تصاویر استرئوسکوپ (سه بعدی) از مناطق مختلف زمینی را تهیه و در جهت انجام آنالیزهای مختلف سه بعدی سطح بهره گرفت. در این مطالعه، پردازش تصویر استر و آنالیزهای سطح (به منظور مطالعه و پیش‌بینی مناطق مستعد تشکیل آبخوان‌ها) با استفاده از نرم‌افزارهای ENVI و ArcGIS انجام گرفته است.



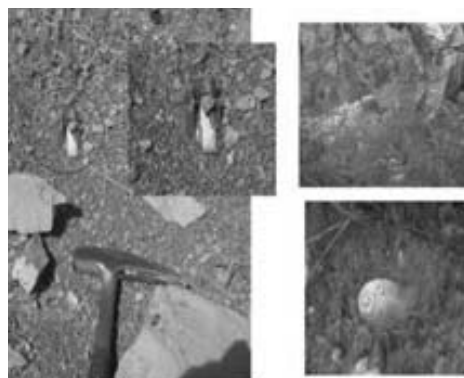
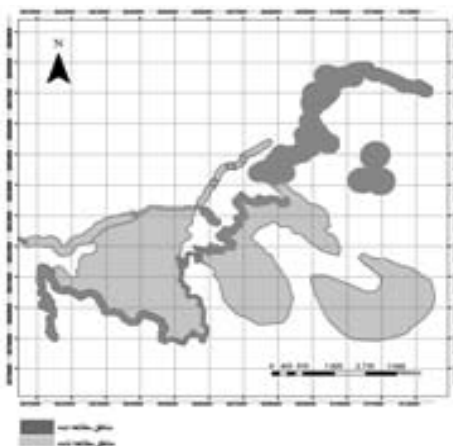
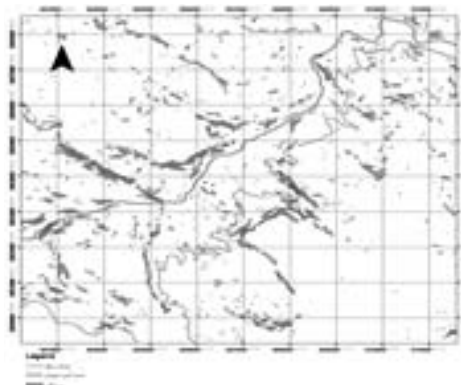
شکل ۴- تصویر ترکیب رنگی RGB (باندهای ۳، ۲ و ۱) استر از منطقه

۳-۲- مطالعه هیدروژئولوژی

بر اساس شکل (۵)، در منطقه مورد مطالعه، بیشترین میزان بارش باران مربوط به اسفند ماه با مقدار ۷۵۰ میلی‌متر گزارش شده است. بررسی هیدروژئولوژیکی نشان می‌دهد که جهت کلی جریان‌های زیرزمینی و سطحی به سمت رودخانه سیروان است.

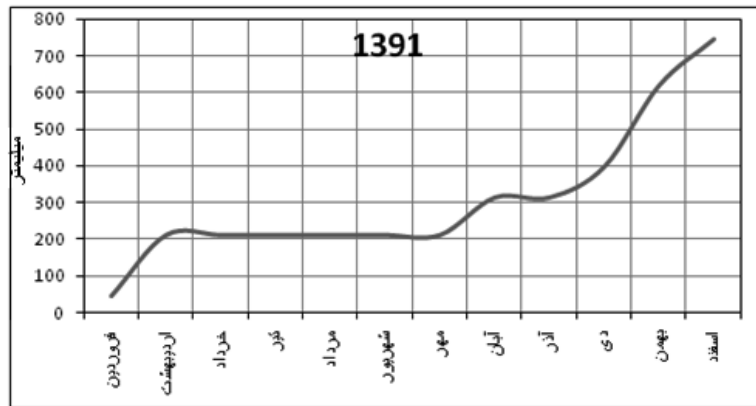
تعداد ۲۶ چشمه در منطقه شناسایی و مورد مطالعه قرار گرفته است که بیشترین تعداد چشمه‌ها در مسیر تونل متعلق به زیر

(شکل ۲). با استفاده از مدل ارتفاعی تصویر ماهواره‌ای استر، این مناطق شناسایی و به عنوان بخشی از مناطق مطالعه‌نشده تعیین گردید. یکی از دلایلی که باعث شده است بخشی از محدوده مورد مطالعه در پیمایش زمینی بدون مطالعه باقی بماند، وجود زمین‌های اشغال شده توسط مهمات عمل‌نکرده و مین‌ها می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳- نقشه پرتگاه‌های منطقه مرزی تونل نوسود (شکل بالا)، وجود آثار بمب، تقسیم منطقه به دو ناحیه مطالعه‌شده و بدون مطالعه (شکل وسط) و مین‌های عمل‌نکرده در منطقه و خطر انفجار (شکل پایین)،

1- Along track



شکل ۵ - میزان بارش باران در طول یک سال

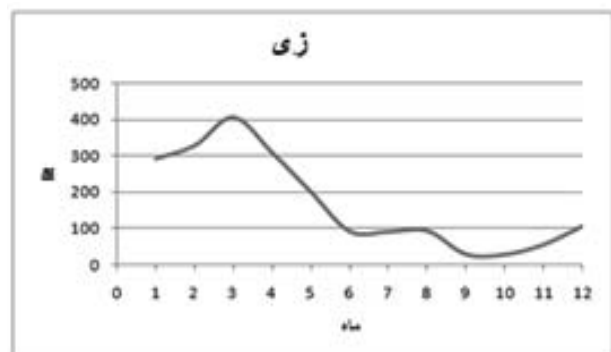
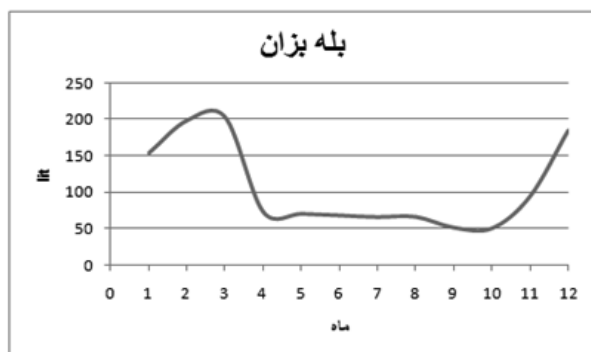
دلیل بر مناسب بودن شرایط آب زیرزمینی می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از شاخص گیاهی NDVI^۱ (رابطه ۱) نقشه طبقه‌بندی تراکم پوشش گیاهی منطقه تهیه گردید.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، ρ_{NIR} و ρ_{Red} به ترتیب مقادیر انعکاسی پیکسل‌ها در باندهای قرمز (باند ۲ استر) و فرورسرخ نزدیک (باند ۳ استر) می‌باشند. به منظور تعیین نرخ آشکارسازی^۲ شاخص NDVI در تخمین موقعیت احتمالی چشمه‌ها و تعیین واحدهای مستعد ظهور چشمه، نقشه تراکم احتمالی چشمه‌ها نسبت به دو ناحیه مطالعاتی ترسیم گردید. بدین منظور ابتدا مدل ارتفاعی رقومی (DEM)^۳ منطقه از تصویر استر به دست آورده شد، سپس با ترسیم زیرحوضه و آبراهه‌ها و تعیین مختصات چشمه‌ها، با استفاده از الحاقی ARCHYDRO در محیط ARCGIS مسیر جریان چشمه‌ها ترسیم گردید (شکل ۷). نتایج تحلیل آماری تعیین موقعیت چشمه در

حوضه‌های هیرتا و بله‌بزان می‌باشد. موقعیت ارتفاعی چشمه‌ها نسبت به محور تونل نشان می‌دهد که تمام چشمه‌ها در تراز بالاتر از ارتفاع ۶۳۰ متر قرار می‌گیرند. میانگین دبی آب چشمه‌های زیرحوضه بله‌بزان و هیرتا در طول یک سال محاسبه گردید؛ میزان دبی در ماه‌های فروردین و اسفند بیشترین مقدار را دارند (شکل ۶). مشاهده نتایج بارش و دبی چشمه‌ها نشان می‌دهد که مدت زمان بین ورود آب به زمین (تغذیه آب زیرزمینی) و خروج آب از چشمه‌ها (تخلیه آب زیرزمینی) به طور میانگین کمتر از یک ماه طول می‌کشد، که نشان‌دهنده توسعه شکستگی‌ها و در نتیجه، افزایش سرعت جریان آب زیرزمینی در این زیرحوضه‌ها است.

یکی دیگر از فاکتورهایی که با خصوصیات هیدروژئولوژی منطقه مرتبط است شرایط مناسب رویش گیاهان با سبزیگی بالا به‌عنوان شاخصی برای نشأت آب زیرزمینی و ظهور چشمه‌ها می‌باشد. رویش گیاهان با سبزیگی بالا در اطراف این چشمه‌ها

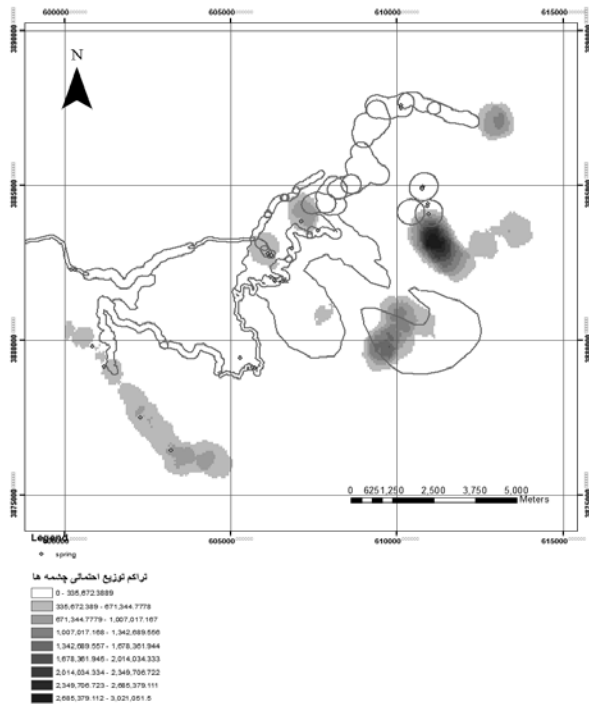


شکل ۶ - میزان دبی آب چشمه‌های زیرحوضه‌های زی و بله‌بزان

2- Detection rate

3- Digital Elevation Model

1- Normalized Difference Vegetation Index



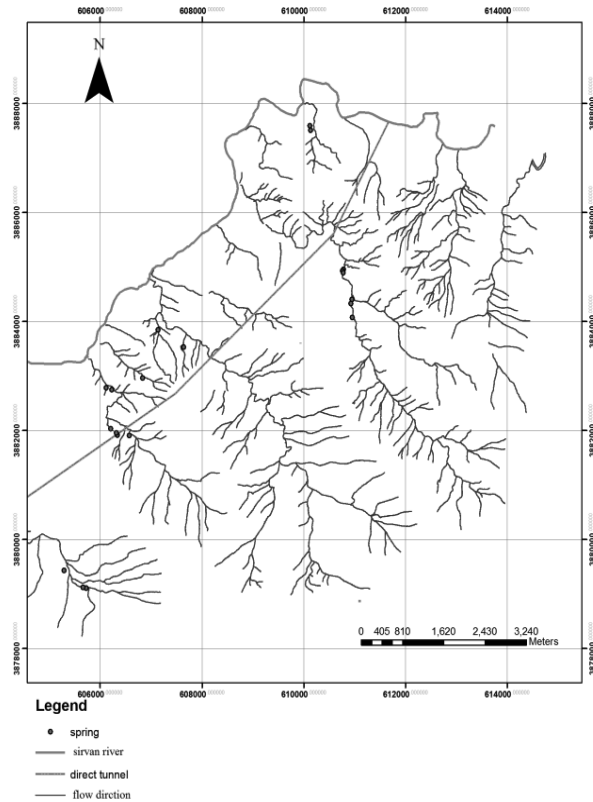
شکل ۹- نقشه تراکم احتمالی چشمه‌ها نسبت به حریم دو ناحیه مطالعاتی

۳-۳ تحلیل توپوگرافی و مورفوتکتونیک منطقه

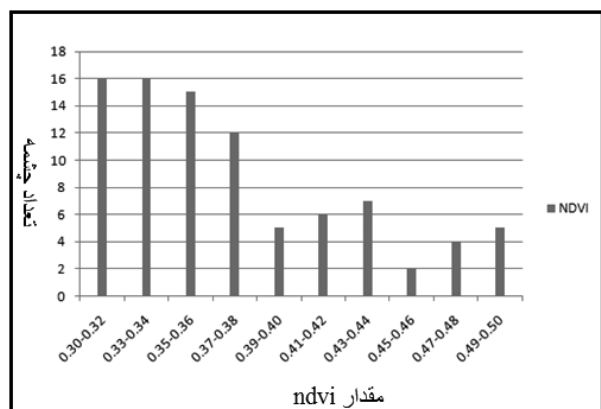
با این فرض که جهت جریان آب زیرزمینی در مقیاس محلی از توپوگرافی زمین تبعیت می‌کند، شیب زمین به نوعی می‌تواند در تعیین رفتار هیدرولیکی آب زیرزمینی مؤثر باشد [۱۵]. فعالیت نئوتکتونیک به همراه فرسایش تفریقی در منطقه باعث شده است که بیشینه اختلاف ارتفاع در محدوده‌ای به وسعت تقریباً ۸۰ کیلومتر مربع به ۱۹۰۰ متر برسد. کمترین ارتفاع در منطقه مربوط به رودخانه سیروان می‌باشد که به طور میانگین دارای ۵۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا می‌باشد. تمام آبراهه‌های اصلی منطقه در نهایت به این رودخانه منتهی می‌شود.

با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی به‌دست‌آمده از تصاویر پوششی استر، نقشه شیب و جهت شیب منطقه از طریق بکارگیری توابع آنالیز سطح در نرم‌افزار ArcGIS محاسبه و تهیه شد. یکی از اشکال مورفوتکتونیک که از توزیع و الگوی شیب و جهت شیب منطقه تبعیت می‌کند، شکل‌های پرتگاهی کواستا در منطقه می‌باشد. با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده، این عوارض از تصویر استر استخراج و با نقشه شیب منطقه هم پوشانی گردید (شکل ۱۰). این عوارض که توسط تصویر ماهواره‌ای شناسایی و طبقه‌بندی شده‌است از لایه‌های ضخیم آهکی تشکیل

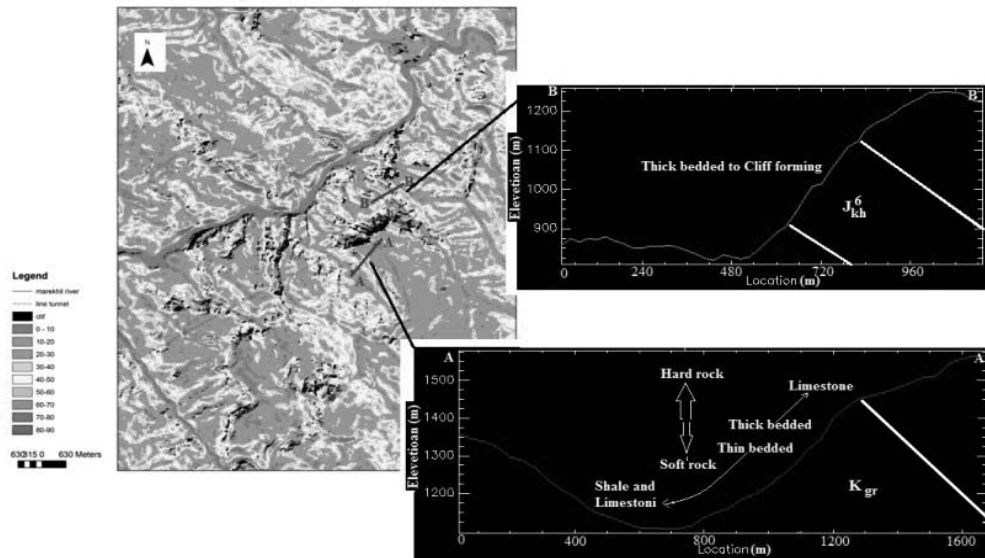
شکل (۸) ارائه شده است. بیشترین تعداد چشمه‌ها با شاخص NDVI برابر با ۳۲/۰ قرار می‌گیرند. مطابق با شاخص NDVI نقشه، موقعیت و تراکم احتمالی چشمه‌ها نسبت به نواحی مرزبندی شده مطالعاتی منطقه ترسیم گردید (شکل ۹). احتمال حضور چشمه در نواحی ناامن به‌ویژه زمین‌های مین‌گذاری شده بالاست.



شکل ۷- مسیر جریان آبراهه



شکل ۸- نمودار تعداد چشمه‌های شناسایی شده به ازای مقادیر مختلف حد آستانه شاخص NDVI



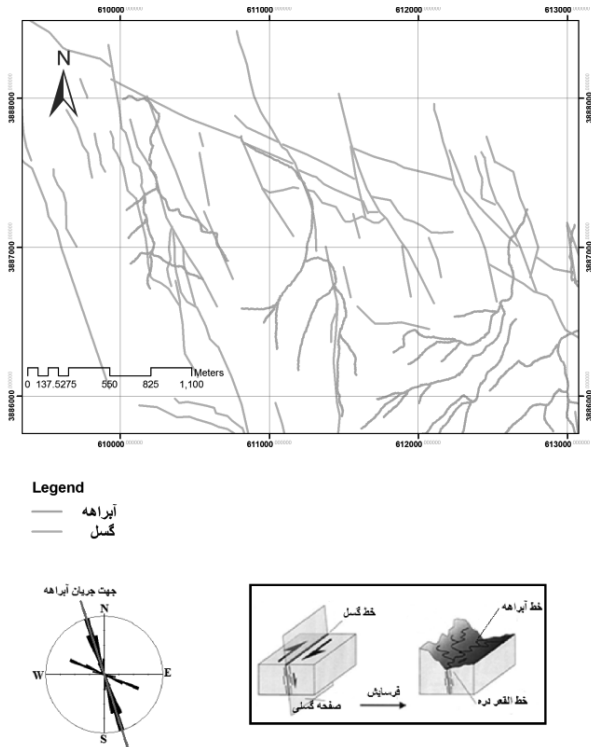
شکل ۱۰- شکل های کواستا در منطقه و پروفیل آن که به دو بخش شیب تند و ملایم تقسیم شده است.

گردیده اند. شکستگی ها و گسل های امتداد لغز مهم ترین عامل هدایت جریان آب به داخل تونل مورد مطالعه می باشد. انطباق این گسل ها با مسیر آبراهه ها نشان می دهد که منشاء اولیه تشکیل آبراهه در منطقه می باشد (شکل ۱۲).

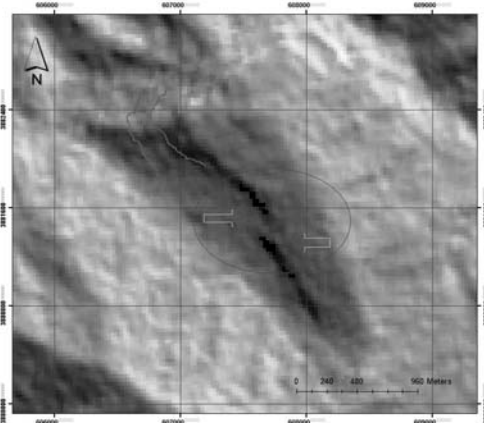
یافته اند و یکی از علل هجوم آب به داخل تونل، برخورد با این لایه ها است.

۳-۴ مطالعه شکستگی ها و استخراج خطواره ها

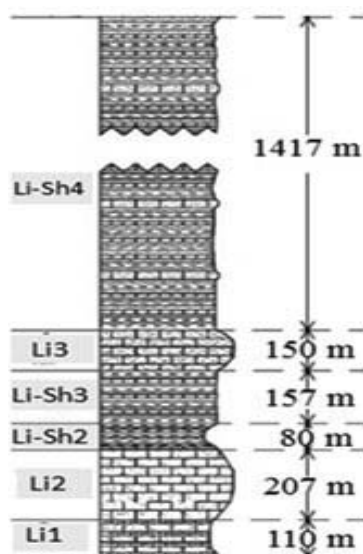
گسل های امتداد لغز به دلیل اثر جابجایی بر روی واحدهای ضخیم لایه با آثار شکستگی در سطح زمین همراه است. به منظور تعیین سیستم جهت گیری گسل های امتداد لغز از دو روش استخراج آبراهه و خطواره ها، از تصویر ماهواره ای استفاده شده است. آثار جابجایی مشخص شده در مدل DEM منطقه باعث قطع شدن شیب واحدهای آهکی صخره ساز شده است (شکل ۱۱). جابجایی این گسل ها باعث ایجاد شاخه های گسلی فرعی امتداد لغز



شکل ۱۲- نقشه و طول آزیموت گسل های منطقه و نحوه شکل گیری آبراهه ها در امتداد گسل های امتداد لغز



شکل ۱۱- رفتار شکنندگی لایه ها و تشکیل پهنه گسلی بله زبان و آثار جابجایی واحدهای صخره ساز آن



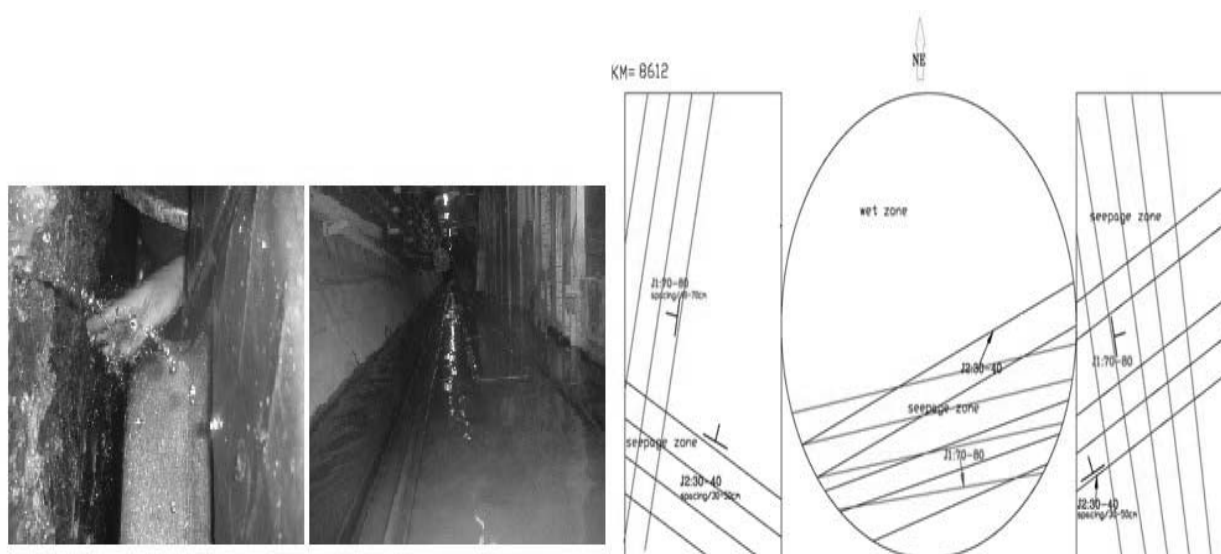
شکل ۱۳- ضخامت لایه‌ها و مورفولوژی منطقه قابل تفکیک از طریق تصویر ماهواره‌ای

دارای مورفولوژی صخره‌ای و شکاف‌های عمودی که منجر به جابجایی امتداد لایه‌ها گردیدند می‌باشد. که با تشخیص لبه از طریق تصویر ماهواره‌ای، این جابجایی‌ها قابل شناسایی هستند. عامل اصلی ورود آب به داخل تونل مورد مطالعه وجود همین شکاف‌های عمودی با حفظ بازشدگی در عمق هستند. یکی از اهداف این مطالعه، مقایسه اطلاعات سطحی به‌دست‌آمده از تصویر ماهواره‌ای و مشاهدات زیر سطحی می‌باشد. حجم ورودی آب به داخل تونل از طریق شکاف‌ها مهم‌ترین شاهد در اثبات این ارتباط می‌باشد (شکل ۱۴).

۴- بحث

به دلیل همپوشانی مناسب لایه‌های گسلی، چشمه‌ها و شکل‌های پرتگاهی کواستا که از تصاویر ماهواره‌ای به‌دست آمده‌اند با واحدهای آهکی Li^3 ، آهکی-شیلی $Li-Sh^3$ و $Li-Sh^4$ در مسیر تونل، این واحدها نقش مؤثری در بروز خطر هجوم آب به داخل تونل ایفا می‌کنند. بخش وسیعی از این واحدها در مطالعه زمینی به علت محدودیت‌های مرزی مطالعه نشده‌است. تفسیر داده‌های میدانی اندازه‌گیری شده و گزارشات حفاری نشان می‌دهد که جریان شدید آب زیرزمینی در تونل نوسود از طریق شکستگی‌های باز کنترل می‌شود. بیشترین مقدار خروجی آب زیرزمینی به داخل تونل از طریق این شکستگی‌ها 382 لیتر بر ثانیه ثبت شده‌است که این رخداد هجوم آب مربوط به کیلومتر $8/9$ سینه کار تونل می‌باشد. علت اصلی این جریان، وجود شکستگی باز در توده‌سنگ‌های آهکی می‌باشد. بدیهی است که این شکستگی‌ها در واحد آهکی Li^3 بیشترین تعداد و تراکم را دارند.

با توجه به مقیاس المان‌های در نظر گرفته‌شده در این مطالعه که شامل ضخامت واحدهای زمین‌شناسی مهندسی و همچنین مورفولوژی منطقه مورد مطالعه است (شکل ۱۳) تصویر استر و مدل ارتفاعی حاصل از زوج تصویرهای استر برای این مطالعه انتخاب گردید. تصویر ماهواره‌ای استر دارای قدرت تفکیک 15 متر می‌باشد. در این مطالعه، ارتباط معناداری بین خواص مهندسی واحدهای سنگی از جمله شکنندگی سنگ‌ها و مورفولوژی منطقه وجود دارد. نتایج نشان می‌دهد واحدهای سنگی مقاوم و شکننده



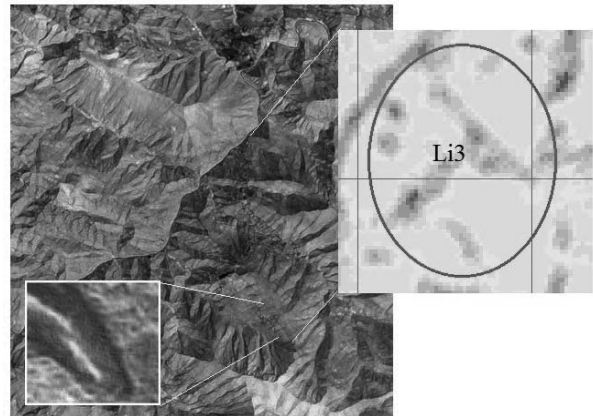
شکل ۱۴- ورود آب به داخل تونل از طریق شکاف‌های باز

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، مسئله برخورد با مناطق مستعد هجوم آب زیرزمینی از طریق شکستگی‌های باز در تونل انتقال آب نوسود مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس محدودیت‌های مطالعاتی زمینی، به ویژه وجود پرتگاه‌ها و زمین‌های اشغال‌شده توسط مهمات عمل‌نکرده در منطقه مرزی مورد نظر، حریم تونل نوسود به دو ناحیه مطالعه‌شده و بدون مطالعه زمین‌شناسی تقسیم گردید. از این‌رو در این پژوهش، شناسایی مناطق مستعد هجوم آب به داخل تونل با استفاده از تصویر ماهواره‌ای استر با توجه به دو ناحیه تقسیم شده مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. به منظور شناسایی واحدهای زمین‌شناسی مهندسی که دارای پتانسیل هجوم آب می‌باشند، شواهد هیدروژئولوژی در تصویر ماهواره‌ای استر مورد مطالعه قرار گرفتند. با مطالعه نقشه پوشش گیاهی حاصل از شاخص NDVI مشخص شد که علاوه بر مناطق مطالعه شده در پیمایش زمینی، احتمال وجود چشمه در ناحیه پرخطر نیز بالاست. مواردی چون جنس لایه‌ها، ضخامت لایه‌ها، شیب طبقات و سختی و مقاومت لایه‌های آهکی و شیلی عواملی هستند که ریخت و شکل اشکال پرتگاهی کواستا را در منطقه تعیین می‌کنند. به دلیل اختلاف درجه سختی زیاد در طبقات آهکی و شیلی، کواستا با شکل بسیار مشخص در سطح زمین رخنمون یافته و در تصویر ماهواره‌ای تفکیک و شناسایی شدند. این اشکال در ناحیه از طریق تصویر ماهواره‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. وجود شکستگی‌های باز در واحدهای صخره‌ساز عامل اصلی هدایت جریان آب زیرزمینی در منطقه است که در این مطالعه با پردازش تصویر ماهواره‌ای استخراج شده‌اند.

لایه‌های شیلی به علت نفوذپذیری پایین به عنوان یک مانع

شکستگی‌های عمودی بر اثر گسل‌های امتداد لغز و ناشی از جابجایی برشی در واحدهای شکننده آهکی ایجاد می‌شود. این شکستگی‌ها در مقایسه با شکستگی‌های افقی قابلیت انتقال آب بیشتری دارند. یک شکستگی باز به عنوان مجاری باز که مسیرهای مهم جریان آب را در تونل‌ها ایجاد می‌کنند اغلب به حالت عمودی هستند و با عمق بازشدگی آنها حفظ می‌شود. به منظور شناسایی شکستگی‌ها در امتداد محور کواستا، استخراج لایه‌ها از تصویر ماهواره‌ای مناسب‌ترین الگوی شناسایی می‌باشد (شکل ۱۵). لایه‌ها در واقع مرز تغییر شیب واحدهای صخره‌ساز می‌باشد. با توجه به امتداد لایه‌های آهکی، انقطاع در امتداد این لایه‌ها باعث تغییر در آلبدو، رنگ و خصوصیات بافت تصویر و همچنین تغییر شیب رخنمون لایه‌ها می‌گردد که با عملیات پردازش تصویر و استخراج آن قابل شناسایی است (شکل ۱۵). شناسایی این انقطاع‌ها شاخص وجود شکستگی‌های عمودی در واحدهای آهکی می‌باشد (شکل ۱۶).



شکل ۱۵- تشخیص لایه و استخراج نقشه تراکم خطواره‌ها



شکل ۱۶- شکاف‌های عمودی در واحدهای صخره‌ساز

- sensing data. *Nonlinear Proc Geophys* 14:131-138 (2007).
10. Kresic, N. Remote sensing of tectonic fabric controlling groundwater flow in Dinaric karst. In proceedings of the tenth thematic conference on geologic remote sensing. 1: 161-167 (1994).
 11. Kaya Ş, Müftüoğlu O, Tüysüz O. Tracing the geometry of an active fault using remote sensing and digital elevation model: Ganos segment, North Anatolian Fault zone, Turkey. *Int J Remote Sens* 25(19):3843-3855 (2004).
 12. Dehghani, M. Durocher, C. and Gingerich, J. Alteration Extraction Using Remote Sensing Data for Mineral Exploration, Map India (2004).
 13. Robert K. Vincent, *Fundamental of Geological and Environmental Remote Sensing*. Publisher, Prentice Hall; 1st edition (1997).
 14. Kolymbas, D. *Tunnel mechanics-a rational approach to tunneling*. Springer Berlin Heidelberg, 436 pp (2005).
 15. Haitjema HM, Mitchell-Bruker S. Are water tables a subdued replica of the topography? *Ground Water* 43(6):781-786 (2005).

هیدرولیکی در مقابل جریان آب عمل می‌کنند. لایه‌های آهکی به علت توسعه شکستگی به‌عنوان یک سیستم هدایت هیدرولیکی شرایط مناسبی را برای ذخیره آب زیرزمینی فراهم می‌نمایند. در نهایت با تلفیق این اطلاعات مشخص گردید که واحد Li^3 به علت شکل‌گیری کواستا، نوع لیتولوژی و گسترش شکستگی‌ها، به‌عنوان واحدهای دارای پتانسیل هجوم آب شناسایی شده است. مقایسه نتایج مطالعه با گزارشات حفاری نشان می‌دهد که مطالعه شواهد سطحی هیدروژئولوژی منطقه با استفاده از تصویر ماهواره‌ای در پیش‌بینی هجوم آب به داخل تونل به ویژه در مناطق مرزی، مؤثر و تعیین‌کننده می‌باشد و محدودیت‌های مطالعات زمینی را به نحو چشمگیری کاهش می‌دهد.

مراجع

1. Shahriar K, Sharifzadeh M, Khademi J. Geotechnical risk assessment based approach for rock TBM selection. *Tunn Undergr Space Technol* 23:318-325 (2008).
2. Shafiei A, Dasseault MB, Sani F.F, Sotoudeh M. Engineering geological problems along the Qomroud Long Tunnel Lot No. 1 in Iran. *The 42nd U.S. Rock Mechanics Symposium* (2008).
3. Wenner D, Wannenmacher H. Alborz service tunnel in Iran: TBM tunneling in difficult ground conditions and its solution. *Proceeding of 8th Iranian Tunneling Conference*, 342-353 (2009).
4. Goodman, R.E., Moya, A., Schalwyk, V., Javandel, I. Groundwater inflow during tunnel driving. *Engineering Geology*, 39-56 (1965).
5. Perrochet, P., Dematteis, A. Modeling transient discharge into a tunnel drilled in a heterogeneous formation. *Ground Water* 45 (6), 786-790 (2007).
6. Bedini E. Mapping lithology of the Sarfartoq carbonatite complex, southern West Greenland, using HyMap imaging spectrometer data. *Remote Sens Environ* 113(6):1208-1219 (2009).
7. Walker R.T. A remote sensing study of active folding and faulting in southern Kerman province, S.E. Iran. *J Struct Geol* 28(4):654-668 (2006).
8. Philip G. Remote sensing data analysis for mapping active faults in the northwestern part of Kangra Valley, NW Himalaya, India. *Int J Remote Sens* 28(21):4745-4761 (2007).
9. Gloaguen R, Marpu P, Niemeyer I. Automatic extraction of faults and fractal analysis from remote

Using ASTER Satellite Images to Predict Groundwater Inflow in Water Conveyance Tunnels (Case Study: Nosoud Tunnel)

S. Khazaie¹

M. Heidari²

M. Sharafi³

Abstract

In the border areas of Iran, using satellite remote sensing technology is a solution with lower cost and risk than the field survey for conducting the engineering geological studies along the tunnels. Terrains occupied by land mines and duded munitions, rugged terrain, and terrorists' attacks, smugglers and cliffs are the major limitations with the field investigations in the border areas, whose overcoming them is important from the perspective of passive defense. This study deals with, the problem of detecting the zones potential of groundwater influx through open fractures in Nosoud water tunnel located in north-west border region of Kermanshah. The field geological surveys in investigated regions along the tunnel show that the lithology of the tunnel area is of limestone and shale resulting in a sequence of hard and soft layers at the tunnel site. In order to apply the resultant data from the ground investigation to the entire tunnel area, vegetation map from ASTER satellite image and the digital elevation model have been utilized. Based on obtained results, which corresponds to the engineering geological observations, thick layers of limestone in cliff areas with existing numerous springs and open fractures in unexploded ordnance lands are effective factors for the detection of high-risk water inflow into the Nosoud Tunnel.

Key Words: *Nosoud Tunnel, ASTER Satellite Images, Engineering geology, open fractures*

1- Assistant Professor and Academic Member, Imam Hussien Comprehensive University, (s.khazai@ihu.ac.ir) - Writer in Charge

2- Assistant Professor, Faculty of Basic Sciences, Boo Ali Sina University

3- Master of Science in Geology, Faculty of Basic Sciences, Boo Ali Sina University