بررسی نقش ساختارهای زمینساختی و چینهشناسی در پیشبینی هجوم آب به درون تونل با استفاده از روش سنجش از دور (مطالعه موردی: تونل انتقال آب نوسود، قطعه ۱- الف)

مجتبی حیدری^{۱*}و مسعود شرفی^۲

ادانشیار، گروه زمینشناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران ^۳کارشناسی ارشد، گروه زمینشناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران تاریخ پذیرش: ۱۵/ ۱۳۹۰ تاریخ پذیرش: ۱۵/ ۱۳۹۰

چکیدہ

در مطالعات زمین شناسی حفاری تونل، استفاده از سنجش از دور ماهواره ای در کنار پیمایش زمینی روشی مؤثر در ارزبابی خطرات تونل سازی به شمار می آید. در این مطالعه، مسأله برخورد با مناطق مستعد هجوم آب زیرزمینی در قطعه ۱- الف تونل انتقال آب نوسود در منطقه مرزی شمال باختر کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفت. ترکیب سنگی منطقه از جنس سنگی آهک و شیل است که موجب ایجاد توالی لایه های سخت و نرم در ساختگاه تونل شده است. لایه های سنگی آهک درزه دار و حفره دار در تناوب با لایه های شیل نفوذناپذیر مهم ترین عامل تعیین کنده در هجوم آب به درون تونل نوسود هستند. به دلیل خطر انفجار مین در منطقه، پیمایش زمینی همه مسیر تونل را شامل نمی شود. همچنین به منظور شناسایی لایه های دارای پتانسیل هجوم آب به درون تونل نوسود هستند. به دلیل خطر انفجار مین در منطقه، پیمایش زمینی همه مسیر تونل را شامل نمی شود. همچنین به منظور شناسایی لایه های دارای پتانسیل هجوم آب شواهد آب زمین شناختی و آب شناختی در منطقه با استفاده از تصاویر استر بررسی شد. این پژوهش نشان می دهد که تونل در برخورد با واحدهای دارای پتانسیل هجوم آب، شواهد آب زمین شناختی و آب شناختی در منطقه با استفاده از تصاویر استر بررسی شد. این پژوه ش نشان می دهد که تونل در برخورد با واحدهای دارای پتانسیل هموم آب نایج حوم آب روبه و است. مشاهدات حفاری تونل نیز نشان می دهد که عبور تونل از لایه های سخت و برخورد با شکستگی های برخورد با واحدهای هموم آب به نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره ای نطبق مناسبی دارد.

> **کلیدواژهها:** ساختارهای زمینساختی، چینه شناسی، سنجش از دور، هجوم آب، تونل. ***نویسنده مسئول:** مجتبی حیدری

E-mail: heidarim_enggeol@yahoo.com

1- پیشنوشتار

به منظور شناسایی و برآورد هجوم آب به درون تونل روشهای عددی و تحلیلی بسیاری توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده است (;Goodman et al., 1965 Lei, 1999; Karlsrud, 2001; El Tani, 2003). از آنجا که این روش ها پایه تئوری دارند؛ نتایج بهدست آمده از آنها نزدیک به هم است و در بیشتر روش ها از متغیری به نام هدایت هیدرولیکی استفاده می شود که این ضریب به هندسه سامانه منافذ بستگی دارد. در عملیات تونل سازی با وجود برخورد با جریان های محلی آب زیرزمینی در شرایط ناهمگون و پیچیده زمینشناسی که توسط مشخصههای مانند تناوب لایهها، چینخوردگی و گسلخوردگی ایجاد میشود؛ نمیتوان تنها به نتایج محاسباتی بسنده کرد. در سال.های اخیر استفاده از روش سنجش از دور به منظور شناسایی منابع آب زیرزمینی بهطور گسترده رواج یافته است. این مطالعات مربوط به ارزیابی سطحی زمین در مقیاس منطقهای است و شواهد سطحی آبهای زیرزمینی از راه تصاویر ماهوارهای در مقیاس محلی کمتر بررسی شده است. از کاربردهای معمول تصویر ماهوارهای می توان به تهیه نقشه چینهشناسی (Bedini, 2009) تشخیص و شناسایی گسل ها (Philip, 2007; Gloaguen et al., 2007) و نقشه برداری سیماهای خطی در سرزمین های رسوبی (Kresic, 1994; Kaya et al., 2004) اشاره کرد. در برخی موارد سیماهای خطی ممکن است گسلهایی با جابهجایی قائم را نشان دهند که آبخوان را در برابر یک مانع ناتراوا قرار میدهد. در چنین حالتی، سیمای خطی می تواند سدی در برابر جریان آب زیرزمینی تلقی شود (Vincent, 1997). در سال.های اخیر به منظور ارزیابی هندسی شکستگیها و گسل.ها در طراحی و حفر تونلها، استفاده از روشهای نرمافزاری گسترش فراوانی یافته است (Choi, 2009). مطالعه ارتباط شکستگیها نقش مهمی در تحلیل و ارزیابی پایداری تونل دارد. میتوان با روشهای پیمایشی و نیز مطالعه مورفولوژی سطحی زمین از راه دادههای ماهوارهای به ارتباط هندسی شکستگیها و گسلها دسترسی یافت. این اطلاعات را میتوان در یک چارچوب سهبعدی نرمافزاری مانند Arc GIS رسم کرد (Choi, 2009). داشتن درک درستی از هندسه فضایی شکستگیها، به پیش بینی

درستی از رخداد خطرات حفاری تونل میانجامد. WWW SILD به مطالعه شاخصهای فیزیوگرافیک سطحی زمین شامل وضعیت توپوگرافی،

ژئومورفولوژی، شبکه زهکشی، پوشش گیاهی، پراکنش چشمهها است. شناخت این عوامل سطحالارضی و تعیین ارتباط آنها با نوع ساختارهای زمینساختی همچون گسلها و شکستگیها نقش مؤثری در شناسایی آبخوانهای شکافی زیرزمینی بازی میکند.

تونل نوسود قطعه ۱- الف در پهنه زاگرس و زیرپهنه زاگرس چین خورده- رانده قرار دارد. این تونل با طول ۱۴ کیلومتر و قطر ۵/۲ متر در راستای NE-NW عمود بر امتداد ساختارهای محلی زاگرس حفاری می شود. این ساختارها شامل یک تاقدیس است که امتداد آن عمود بر امتداد مسیر تونل است. منطقه مورد مطالعه شامل سه زیر حوضه است که به ترتیب از جنوب باختر به سوی شمال خاور تونل عبار تند از: هیر تا، زی و بلهبزان. این تونل با هدف انتقال آب رودخانه مرزی سیروان به درون مناطق گرمسیری دشت ذهاب طراحی شده است. در این مطالعه سعی شده است با استفاده از مطالعه مورفولوژیکی و زمین ساختی به روش سنجش از دور ماهوارهای و مطالعات زمین شناسی مهندسی، محل هجوم آب به درون تونل پیش بینی شود.

۲- مواد و روش ها ۲- ۱. سنگشناسی منطقه مورد مطالعه

واحدهای سنگی منطقه را به سن ژوراسیک (سازند سورمه از گروه خامی) نسبت میدهند. هر چند واحدهای سنگی کرتاسه معادل سنی گروه بنگستان (شامل سازندهای ایلام و گرو) نیز گسترش دارند (Alavi, 1994). تر کب سنگی این سازندها از نوع سنگ آهک آرژیلیتی و شیل است. ستبرای لایهها بر پایه روش پیشنهادی (1997) Bureau of Reclamation میان ۳ تا ۳۰۰ سانتی متر (دارای لایهبندی) و بیش از ۳۰۰ سانتی متر (تودهای) تعیین شده است (شکل ۱). واحدهای زمین شناسی مهندسی منطقه از دید ساختاری به چهار گروه تقسیم می شوند که شامل لایههای آهکی Li آهکی – شیلی Li-Sh، پهنه شکسته و پهنه خرد شده است. پایه این ردهبندی ویژگی های سنگی شانختی، مورفولوژیکی و ساختاری لایههای رسوبی منطقه است. وجود شکستگی های باز عمودی از ویژگی های ساختاری واحدهای آهکی Li صخرهای است. وجود درزههای غیر سامانمند در پهنه خرد شده مبنای

تفکیک این واحد از پهنه شکسته است. تاقدیس زی که یک تاقدیس برگشته (درهزی) است؛ پهنههای شکسته و خرد شده را دربر گرفته و به شکل گیری اشکال منظم صخرهای در منطقه انجامیده است (شکل ۱).

۲- ۲. روش مطالعه

فلوچارت روش مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. در این روش، شناسایی واحدهای زمین شناسی مهندسی که بیشترین پتانسیل هیدرولیکی را برای جریان آب زیرزمینی دارند بر پایه استفاده از نرمافزار ArcGIS برای تجزیه و تحلیل مکانی اطلاعات استخراج شده از تصاویر ماهوارهای استر و نقشههای زمین شناسی زمین مرجع (ژئورفرنس) شده انجام می شود. شکل ۳، تصویر رنگی استر از منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

اطلاعات مکانی استخراج شده از تصاویر استر شامل نقشه پوشش گیاهی، نقشه لبهها و خطوارهها و نقشه هیدروگرافی است. در این مطالعه نقشه پوشش گیاهی با استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) مطابق رابطه ۱ تهیه می شود.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \tag{1}$$

در این رابطه، pRed و NIR به ترتیب مقادیر بازتایی پیکسل ها در باندهای سرخ (باند ۲ استر) و فروسرخ نزدیک (باند ۳ استر) هستند. استخواج لبه ها و خطواره ها نیز به کمک تفسیر بصری و استفاده از الگوریتم های استخراج لبه قابل انجام است. در این مطالعه، برای استخراج خطواره ها از روش استخراج خودکار خطواره بر پایه روش STA (Koike et al. 1995) (Segment Tracing Algorithm) استفاده شد. اساس کار روش STA نمایان ساختن لبه ها در تصویر با توجه به تغییرات محلی در مقادیر خاکستری پیکسل های تصویر است. تهیه نقشه هیدرو گرافی نیز با استفاده از ویژ گی های آشکار سنجنده استر انجام می شود. لازم به توضیح است یکی از ویژ گی های آشکار سنجنده استر در باندهای مرئی و فروسرخ نزدیک، قابلیت تهیه می توان تصاویر استریو) در امتداد مسیر حرکت ماهواره است. بر پایه این ویژ گی می توان تصاویر استریو) در امتداد مسیر حرکت ماهواره است. بر پایه این ویژ گی می توان تصاویر استریو) در امتداد مسیر حرکت ماهواره است. بر پایه این ویژ گی انها برای انجام تحلیل های مختلف سه بعدی سطح بهره گرفت. اندازه پیکسل زمینی این سنجنده در باندهای مرئی و فروسرخ نزدیک های زمینی ته کرد و از تس بینده در باندهای مرئی و فروسرخ نزدیک از مینی این سنجنده در باندهای مرئی و فروسرخ نزدیک ۵ متر و پهنای نوار پوشش زمینی نیز ۶۰ کیلومتر است.

3- مطالعات هیدروژئولوژی

بیشترین میزان بارش باران در منطقه مورد مطالعه، اسفند ماه با مقدار ۷۵۰ میلی متر گزارش شده است. بررسی های میدانی از منطقه و نیز مطالعه تصاویر ماهواره ای نشان می دهد که سوی جریان های آب زیرزمینی و سطحی به سوی رودخانه سیروان (مسیر رودخانه به موازات امتداد تونل و در سمت باختر آن در جریان است) است (شکل ۳). ۲۶ چشمه قابل دسترس در منطقه شناسایی و مطالعه شده است. بیشترین معداد چشمه ها در مسیر تونل متعلق به زیر حوضه های زی، هیرتا و بلهبزان است. موقعیت ارتفاعی چشمه ها نسبت به محور تونل نشان می دهد که تمام چشمه ها چر ترازی بالاتر از ارتفاع تراز تونل (۹۳۰ متر) قرار می گیرند. میانگین دبی آب چشمه های زیر حوضه بلهبزان و زی در طول یک سال به دست آمده است (شکل ۴)؛ در مر ماه های فروردین و اسفند بیشترین مقدار را دارد. چشمه بلهبزان با دبی بیش از ۲۰۰ لیتر بر ثانیه در فاصله افقی ۱۳۰۵ متر از مسیر تونل با تراز ارتفاعی ۱۲۰۰ متر بزرگترین چشمه در محدوده تونل به شمار می رود.

۴- مطالعات آزمایشگاهی

چنیس بنگ نقش به سزایی در گسترش درزه شکاف در توده سنگ دارد؛ بهگونهای که سنگهای سخت و شکننده استعداد بیشتری برای درزهدار شدن از

خود نشان می دهند. از میان دو سنگ با شکنندگی یکسان، آن که مقاوم تر است؛ تعداد شکستگی هایش بیشتر خواهد بود. رابطه میان مقاومت سنگ و فاصلهبندی شکستگی ها، در پژوهش های انجام شده توسط (1979) Hugman and Friedman بلای و (1980) Sinclair بحث شده است. آنها با مطالعه رخنمون سنگهای کربناته در مونتانا، رابطه رودرروی تعداد شکستگی ها و ویژگی های مقاومتی سنگ را مطالعه کردند. نتایج مطالعات این پژوهشگران نشان داد که واحدهای سنگی مقاوم تر و شکننده تر، بیشترین شکستگی را دارند. شکنندگی واحدهای زمین شناسی مهندسی مسیر تونل نوسود با استفاده از فرمول شاخص شکنندگی (Brittleness Index) به فرانی دارند که نتیجه مقاومت بالاتر و شاخص شکنندگی بالای این واحدها در برابر فشار زمین ساختی است. این اطلاعات در راستی آزمایی واحدهای یادشده از درید نقشه تراکم خطواره ها مورد ارزیابی قرار می گیرد.

$$B_3 = \frac{\sigma_C \times \sigma_T}{2} \tag{7}$$

در این رابطه، ۵۲ مقاومت تراکمی سنگ و ۵۲ مقاومت کششی آن بر حسب مگاپاسکال هستند. نتایج این محاسبات به ترتیب واحدهای زمین شناسی مهندسی در جدول ۱ را نه شده است. آزمایش ها مطابق با استانداردهای (ISRM (1978) بر روی نمونههای آهکی و شیلی منطقه صورت گرفته است. بیشترین مقاومت تراکمی مربوط به واحد Li3 برابر با ۲۵۰ مگاپاسکال است.

5- نتایج و بحث

ساختارهای زمین شناسی عامل مهم کنترل کننده جریان آب به درون تونل نوسود هستند. تاقدیس زی بر اثر فشار زمین ساختی و فرسایش سبب شکل گیری درهزی شده که در برگیرنده پهنههای شکسته و خرد شده در قالب شکلهای کواستاست (شکل ۵). در منطقه مطالعاتی این پدیده گسترشی فراوان و منظره پلکانی دارد. این موضوع نشاندهنده تأثیر توالی لایههای سخت آهکی و نرم شیلی و چین خوردگی باند ۳ سنجنده استر نقشه وضعیت این ویژگی ساختاری در منطقه مشخص شد (شکل ۶). واحدهای ستبرلایه آهکی در منطقه بخش سخت و پرتگاهی کواستا و واحدهای نرم و ناز کندلیه آهکی ای بینی بخش فرورفتگی یا همان پای پرتگاه را شکل ۵). میدهند؛ این اشکال ناشی از فرسایش تاقدیسهای منطقه هستند. واحدهای شکل میدهند؛ این اشکال ناشی از فرسایش تاقدیسهای منطقه هستند. واحدهای بیشتری نسبت به دیگر واحدها هستند. این واحدها در نتیجه تنش های زمین ساختی بیشتری نسبت به دیگر واحدها هستند. این واحدها در نتیجه تنش های زمین ساختی حکم در منطقه، شکستگیهای باز و منظمی دارند. این شکستگیها بیشتر عمودی

دومین ویژگی ساختاری کنترل کننده آب زیرزمینی در منطقه گسل ها هستند. گسل های پهنه شکسته به دلیل اثر جابه جایی بر واحدهای ستبرلایه با آثار شکستگی در سطح زمین همراه هستند. به منظور مطالعه این آثار جابه جایی مدل سایه ارتفاعی منطقه با آزیموت تابش نور ۴۵ و زاویه تابش ۳۰ درجه از سطح افق از منطقه رسم شد. آثار جابه جایی در واحدهای صخره ساز منطقه بلهبزان در مدل به دست آمده دیده می شود (شکل ۷). جابه جایی این گسل ها سبب ایجاد شاخههای گسلی فرعی امتدادلغز گشده است.

به منظور تعیین نوع و راستای گسل های منطقه، با استفاده از تصاویر ماهوارهای و روش استخراج اتوماتیک خطواره ها در نرمافزار ArcGIS نقشه خطواره های منطقه تهیه شد (شکل ۸). در این مطالعه باندهای ۱ تا ۴ و مدل ارتفاعی رقومی تصویر استر استفاده شد. ۸ مدل سایه رقومی برای استخراج خطواره ها با زاویه تابش ۳۰ درجه از سطح افق و آزیموت های ۱۰، ۴۵، ۹۰، ۱۳۰، ۱۸۰، ۲۷۰، ۲۰۲۰ و ۳۲۰ درجه به دست آمد. جهت گیری خطواره ها با امتداد گسل های منطقه انطباق مناسبی نشان می دهد (شکل ۸).

مشاهده نتایج بارش و دبی چشمهها نشان می دهد که مدت زمان میان ورود آب به زمین (تغذیه آب زیرزمینی) و خروج آب از چشمهها (تخلیه آب زیرزمینی) به طور میانگین کمتر از یک ماه به طول می انجامد؛ که این موضوع نشان دهنده گسترش شکستگی ها و در نتیجه افزایش سرعت جریان آب زیرزمینی در این زیر حوضه هاست. یکی دیگر از عامل های مرتبط با ویژگی های هیدروژ ئولوژی منطقه، شرایط مناسب رویش گیاهان با سبزینگی بالا به عنوان شاخصی برای نشت آب زیرزمینی و ظهور چشمه هاست. رویش گیاهان با سبزینگی بالا در پیرامون این چشمه ها دلیل بر مناسب بودن شرایط آب زیرزمینی است. در این مطالعه با استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI نقشه رده بندی تراکم پوشش گیاهی منطقه تهیه شد (رابطه ۱).

به منظور تعیین نرخ آشکارسازی (Detection rate) شاخص پوشش گیاهی در بر آورد موقعیت احتمالی چشمهها و تعیین واحدهای مستعد ظهور چشمه نقشه تراکم احتمالی چشمهها رسم شد. نمودار آماری موقعیت چشمه در شکل ۹ ارائه شده است. بیشترین تعداد چشمهها با شاخص پوشش گیاهی برابر با ۳۲/۰ قرار می گیرند. مطابق با شاخص پوشش گیاهی نقشه، موقعیت و تراکم احتمالی چشمهها با نرخ آشکارسازی ۷۴ درصد رسم شد (شکل ۱۰).

با تلفیق لایه های زمین شناسی، نقشه توزیع احتمالی چشمه ها و خطواره ها مشخص شد که واحدهای Li-Sh3 و Li-Sh3 به علت حضور لایه های آهکی شکننده و وجود چشمه های فراوان در مرز میان این واحدها بیشترین پتانسیل هجوم آب زیرزمینی به درون تونل را دارند (شکل ۱۱). به نظر می آید واحد Li-Sh3 با وجود شکستگی های عمودی فراوان، آب را از ارتفاعات به سوی مناطق پست تر انتقال می دهد و جریان آب زیرزمینی پس از برخورد به واحد Li-Sh3 به صورت چشمه در سطح زمین ظاهر می شود. وجود تراکم پوشش گیاهی و چشمه های با پراکندگی زیاد نشاندهنده این رخداد در سطح زمین است. با فرض بر اینکه مسیر تونل مرز میان این دو واحد را قطح می کند؛ احتمال بیشترین حجم ورودی آب به درون تونل پیش بینی می شود.

طبق مشاهدات حفاری، مقدار دبی آب ورودی به درون تونل در برخورد با این واحدها بیشترین حجم را دارد؛ به گونهای که در متراژ ۹۰۰۰ از سینه کار حفاری (سوی حفاری از جنوب باختر به شمال خاور است)، مقدار آب ورودی به تونل ۳۸۲ لیتر بر ثانیه ثبت شده است. این مقدار آب توسط شکستگیهای باز لایههای آهکی به درون تونل هدایت شده است (شکل ۱۱).

6- نتیجه گیری

در این پژوهش، مناطق مستعد هجوم آب به درون تونل انتقال آب نوسود در منطقه مرزی ایران و عراق با استفاده از تصویر ماهوارهای استر شناسایی و بررسی شد. به منظور شناسایی واحدهای زمین شناسی مهندسی دارای پتانسیل هجوم آب، شواهد هیدروژئولوژی در تصویر ماهوارهای مورد مطالعه قرار گرفت. روش های استخراج اتوماتیک خطواره ها، شاخص پوشش گیاهی NDVI و تحلیل مدل ارتفاعی رقومی به ترتیب برای تعیین تراکم شکستگیها، توزیع چشمهها و مورفولوژی لایههای زمین شناسی به کار گرفته شد. نتایج تجربی نشان داد که آزیموت خطوارههای استخراج شده از تصویر ماهوارهای انطباق مناسبی با امتداد گسل.های منطقه دارد. شاخص پوشش گیاهی با نرخ آشکارسازی ۷۴ درصد نشاندهنده یک فاکتور مؤثر در تعیین موقعیت چشمه ها با استفاده تصویر ماهواره ای است. شاخص های مورفولوژیکی منطقه با برجسته نمایی مدل ارتفاعی رقومی تصویر استر بررسی و نشان داده شد که مدل ارتفاعی ابزار مناسبی برای تعیین الگوی شکل گیری کواستا و تعیین ارتباط مورفولوژی منطقه با توزیع شکستگی هاست. مقایسه نتایج مطالعه با گزارش های حفاری نشان می دهد که واحدهای Li3 و Li-Sh3 به دلیل شکستگیهای فراوان عامل اصلی هجوم آب به درون تونل هستند. چشمههای فراوان در امتداد این شکستگیها سبب افزایش شاخص یوشش گیاهی NDVI در تصویر ماهوارهای شده است.



شکل ۱- الف) نقشه زمین شناسی، مقطع زمین شناسی و ب) مدل ارتفاعی رقومی از موقعیت واحدهای زمین شناسی مهندسی تونل انتقال آب نوسود.



شکل ۲- فلوچارت روش مطالعه برای شناسایی واحدهای زمین شناسی مهندسی مستعد هجوم آب در تونل انتقال آب نوسود.



شکل ۳- الف) موقعیت قرارگیری و مسیر دسترسی به پروژه تونل انتقال آب نوسود و ب) تصویر ترکیب رنگی RGB (باندهای ۱، ۲ و ۳) استر از منطقه. خط چین در شکل الف و خط در شکل ب راستای تونل را نشان میدهند.

www.SID.ir



شکل ۴- تغییرات دبی آب چشمهها.



شکل ۵- الف) مورفولوژی منطقه مورد مطالعه؛ ب) آثار به جای مانده از ساختارهای تاقدیسی در مسیر تونل. پهنههای شکسته و خرد شده در قالب شکلهای کواستا هستند. www.SID.ir







شکل ۶- شواهد مورفولوژی منطقه مورد مطالعه به دست آمده از تصویر ماهوارهای استر: الف) مدل ترکیبی شیب و برجسته نمایی منطقه؛ ب) مقطع زمین شناسی واحد صخرهای زیر حوضه زی؛ ج) مقطع زمین شناسی واحد صخرهای زیر حوضه هیرتا.





میکل ۷- الف، ب و ج) وضعیت ساختاری لایه های رسوبی در منطقه تونل؛ د) مدل سایه ارتفاعی منطقه تونل با آزیموت تابشی ۴۵ درجه نور خورشید و زاویه تابش ۳۰ درجه از سطح افق.





شکل ۸- الف) نقشه خطوارهها و گسل.های منطقه مورد مطالعه در دره زی ناشی از شکل گیری تاقدیس ناویشکل در مسیر تونل؛ ب) جهتگیری گسل.ها و آزیموت خطوارها.



شکل ۹- نمودار آماری: الف) موقعیت احتمالی چشمه ها با استفاده داده های تصویری و ب) موقعیت چشمه های ثبت شده در منطقه نسبت به شاخص NDVI.





_____ شکل ۱۰–نقشه توزیع احتمالی چشمهها نسبت به شبکه هیدروگرافی و توپوگرافی.

www.SID.ir



| شاخص شکنندگی | ستبرای لایه (m) | میانگین مقاومت کششی (MPa) | میانگین مقاومت فشاری تکمحوری (MPa) | واحد زمینشناسی مهندسی | شماره |
|-----------------|----------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------|-------|
| - | نامشخص | $\Delta - 1 \cdot (Y/\Delta)$ $1 - Y/\Delta(Y)$ | YD-D(Y.) 101(1YD) | Li-Sh1 | ١ |
| ١٢٠ | -•/4 1/0-•/•(•0/1 | ۱۰-۲/۵(۵) | Υ·-1· (Υ·) 1··-Δ· (ΥΔ) | Li-Sh2 | ۲ |
| ۲۵۰ | $\leq 1/\delta$ | ۱۰-۲/۵(۵) | Υ·-۵ (Υ·))··-۵·(V۵) | Li-Sh3 | ٣ |
| ۲۰۰ | • ∕۳ ≤ | ۱۰-۲/۵(۵) | Υ·-1· (Υ·) 1··-Δ· (ΥΔ) | Li-Sh4 | ۴ |
| 10. | ≥ •/٣ | ۱۰-۲/۵(۵) | ۱۰۰-۵۰ (V۵) | Li1 | ۵ |
| ۲۰۰ | 1/0-•/1 | ۱۰-۲/۵(۵) | 101(180) | Li2 | 9 |
| ۴., | 0-1. | ۵-۱۵ (۱۰) | 1۲۵.(1۲۵) | Li3 | ٧ |

جدول ۱- شاخص شکنندگی واحدهای زمین شناسی مهند



References

Alavi, M., 1994- Tectonics of the Zagros Orogenic belt of Iran: new data and interpretations, Tectonophysics, 229:211-238.

- Bedini, E., 2009- Mapping lithology of the Sarfartoq carbonatite complex, southern West Greenland, using HyMap imaging spectrometer data, Remote Sensing Environment, 113(6):1208–1219.
- Bureau of Reclamation, 1997- Engineering Geology Field Manual, Technical report, United States Government, Washington, DC.
- Choi, Y., 2009- Tunneling Analyst: A 3D GIS extraction for rock mass classification and fault zone analysis in tunneling, Computers & Geosciences, 35: 1322-1333.
- El Tani, M, 2003- Circular tunnel in a semi-infinite aquifer, Journal of Tunneling and Underground Space Technology, 18: 49-55.
- Gloaguen, R., Marpu, P., Niemeyer, I., 2007- Automatic extraction of faults and fractal analysis from remote sensing data, Nonlinear Proc Geophys, 14: 131–138.
- Goodman, R. E., Moye, A., Schalwyk, V., Javendel, I., 1965- Groundwater inflow during tunnel driving, Engineering Geology, 39-56.
- Hugman, R. H. and Friedman, M., 1979- Effects of Texture and Composition on Mechanical Behavior of Experimentally Deformed Carbonate Rock, American Association of Petroleum Geology Bulletin, 9: 1478-1489.
- ISRM, 1978- Standadization laboratory and field tests, Int. J. of Rock mechanics and Min. Sci. and Geomech Testing and Monitoring –Pergamon Press, Oxford.
- Karlsrud, K., 2001- Water control when tunnelling under urban areas in the Olso region, NFF publication, 12: 27-33, NFF.
- Kaya, S., Müftüolu, O. and Tüysüz, O., 2004- 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 25:3843–3855.
- Koike, K., Nagano, S. and Ohmi, M., 1995- Lineament analysis of satellite images using a Segment Tracing Algorithm (STA), Comput Geosci, 21:1091–1104.
- Kresic, N., 1994- 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.
- Lei, S., 1999- An analytical solution for steady flow into a tunnel, Ground Water, 37: 23-26.
- Philip, G., 2007- Remote sensing data analysis for mapping active faults in the northwestern part of Kangra Valley, NW Himalaya, India. Int J Remote Sens 28:4745–4761.
- Sinclair, S. W., 1980- Analysis of Macroscopic Fractures on Teton Anticline, Northwestern Montana, M.S. Thesis, Dept. of geology, Texas A&M University, College Station, Texas: 102.
- Vincent, R. K, 1997- Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ: 400.

The role of tectonic structures and stratigraphy in predicting influx of water into the tunnel using remote sensing (Case Study: Nosoud watertransport tunnel, part 1-A)

M. Heydari^{1*} and M. Sharafi²

¹Associate Professor, Department of Geology, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran
²M. Sc., Department of Geology, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran
Received: 2014 December 16
Accepted: 2016 December 05

Abstract

The use of remote sensing combined with field surveys can be used as an economic approach to detect the areas that are susceptible to the influx of water into tunnels. This study aims at investigating potential zones of groundwater influx in part 1-A of the Nosoud water-transport tunnel located in the NW of Kermanshah province. Stratigraphic units of the area are composed of limestone and shale layers, which have formed alternating hard and soft sequences at the tunnel site. Fractured brittle limestone layers alternating with impermeable shale layers are the most important factor controlling the influx of water into the Nosoud tunnel. The danger of possible mine explosions prevented us from a survey along the whole length of the tunnel. Hence we classified these lithologies into two types labeled as Li and Sh which representing limestone and shale respectively. In order to explore layers that could potentially lead to water influx, we used ASTER satellite images to analyze the geohydrologic evidences across the area. Results suggest that the tunnel has a high risk of groundwater influx in places where the Li3 and Li-Sh3 units are encountered. Moreover, observations during tunnel excavation show that the major cause of water influx into the tunnel are preferentially concentrated in zones where hard layers with open fractures are crossed. This is considerably compatible with the results of satellite image processing model.

Keywords: Tectonic structures, Stratigraphy, Remote sensing, Water influx, Tunnel. For Persian Version see pages 69 to 80

*Corresponding author: M. Heydari; E-mail: heidarim enggeol@yahoo.com

www.SID.ir