# اثرات متقابل حفاری تونل سبزکوه و منابع آب زیرزمینی با رویکرد مدیریت محیط زیست

مجید طارمی*[۱] و مجید اسدنبی زاده[۲]

۱- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد تهران جنوب ، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران . majid.taromi@yahoo.com
۲- پژوهشگر مسائل زیست‌محیطی و تغییرات اقلیمی تهران.

**چکیده**

در این مقاله به بررسی هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی مسیر تونل سبزکوه و گستره اطراف آن به منظور پیش‌بینی تغییرات رژیم طبیعی جریان آب زیرزمینی و تاثیرات آن در منابع آبی چشمه‌ها پس از حفر تونل با رویکرد مدیریت محیط‌زیست پرداخته شده است. در این راستا، سازندهای مختلف مسیر تونل، گسل‌ها و دامنه پتانسیل تراوایی آن‌ها شناسایی و طبقه‌بندی شد و از سوی دیگر منابع آبی و چشمه‌های مسیر تونل، شناسایی و مرز هیدروژئولوژیکی مسیر تونل به منظور بررسی اثرات متقابل حفاری تونل و منابع آب زیرزمینی تعیین شد. بدین ترتیب، با توجه به این داده‌ها مسیر تونل به دو ناحیه (۱) با خطرپذیری بالا (بخش چغاخور) و (۲) با خطرپذیری پایین (بخش سبزکوه) تقسیم‌بندی شد. پس از آغاز حفاری مکانیزه تونل، تغییر یکباره شرایط زمین و پیچیدگی زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و هجوم یکباره گل و لای همراه با آب فراوان به داخل تونل باعث شد که علی‌رغم کلیه اقدامات تزریق و بهسازی انجام‌شده در ناحیه ریزشی و قابلیت‌های ماشین حفار مکانیزه، حفاری تونل متوقف شود. در ادامه به دلیل برخورد به ناحیه گسلی مظهر چشمه ساکی‌آباد (آلوقره)، این چشمه در کمتر از یک هفته خشک شد. خشک‌شدن چشمه ساکی‌آباد، تاثیرات منفی اجتماعی، زیست محیطی و اقتصادی روی منطقه داشت. نهایتاً با بررسی این عوامل و لحاظ کردن کلیه پارامترهای آن، ادامه حفاری تونل متوقف شد. با بازبینی مطالعات و امکان‌سنجی کلیه بخش‌های متاثر با رویکرد مدیریت محیط‌زیست، ترکیبی از تونل در بخش سبزکوه و کانال سطحی انتقال آب در بخش چغاخور و همچنین تغییر در پروفیل مسیر به منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی منطقه به طور نسبی امکان‌سنجی شد.

**واژگان کلیدی: زمین‌شناسی، منابع آبی، حفاری تونل، مدیریت محیط زیست، منطقه سبزکوه.**

**مقدمه**

به دلیل افزایش هزینه‌ها، تاخیرات، از دست رفتن اکوسیستم ناشی از تونل‌زنی، ارزیابی اثرات منفی به وجود آمده به واسطه حفاری سازه‌های زیرزمینی بسیار مهم هستند (Yuan, 1994). به همین دلیل، بررسی اثرات اکولوژیکی و هیدروژئولوژی قبل از ساخت تونل جهت کاهش اثرات، یک اقدام مناسب و ضروری است. اقدامات مناسب در این راستا تنها زمانی بکارگرفته می‌شود که به درستی تشخیص داده شوند، اگرچه همین مسئله کاری بسیار دشوار است (Yang et al, 2009). اثرات روی منابع آب زیرزمینی در یک منطقه ناشی از حفاری زیرزمینی به وسیله ابزارهایی چون ایجاد محدودیت‌های برنامه‌ریزی شده قبل از حفاری یا به وسیله نصب و پوشش بتنی غیرقابل نفوذ، امکان‌پذیر است . از آنجایی که هرگونه تخلیه آب زیرزمینی، سیستم جریان آب‌های زیرزمینی را دچار تغییر می‌کند متعاقبا می‌تواند اثراتی به پوشش گیاهی، آب‌های سطحی، دریاچه‌ها، باتلاق‌ها، چشمه‌ها و قنوات به همراه داشته باشد (Vincenzo et al, 2009,).

حضور آب در ساخت سازه‌های زیرزمینی مهندسی عمران یا معدن می‌تواند یک چالش جدی محسوب شود (Gisbert et al, 2009). بررسی تاثیر متقابل اجرای سازه های زیرمینی و منابع آب زیرزمینی از جنبه‌های مختلفی در برنامه‌ریزی ساخت سازه‌های زیرزمینی از اهمیت به‌سزایی

برخوردار است. این اثرات می‌تواند از جهت تاثیر در فرآیند حفاری و ناپایداری جبهه کار، تاثیر روی رژیم هیدرولیکی منطقه و اثرات زیست محیطی و اجتماعی بررسی شود (Gattinoni et al, 2014). به عنوان مثال هنگامی که تونل‌ها در نواحی با شرایط پیچیده زمین‌شناسی بویژه سنگ‌های کربناته کارستی حفاری می‌شود، مشکلات جدی ناشی از جریان نفوذ آب زیرزمینی به داخل تونل ایجاد می‌شود. این چالش یکی از مهم‌ترین مشکلات برای کارفرمایان، طراحان و پیمانکاران در فرآیند ساخت یک تونل است (liu, 2011). انجام مطالعات چینه‌شناسی و تکتونیکی تا حدود زیادی به شناخت آب زیرزمینی کمک می‌کند. همچنین لیتولوژی واحدهای زمین‌شناسی و سیستم ناپیوستگی گسل بر روند کلی حرکت آب‌های زیرزمینی تاثیر عمده‌ای دارند (Goldscheider et al, 2007). بنابراین با آگاهی از وضعیت سازندهای زمین‌شناسی می‌توان اطلاعات مفیدی را پیرامون تراوایی سازندها و پتانسیل ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی به دست آورد. عوامل موثر در نفوذ آب زیرزمینی طی حفاری تونل‌ها را می‌توان به سه دسته کلی ژئوگرافی فیزیکی، زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و مهندسی تونل تقسیم‌بندی کرد (Anna et al, 2003). گام اول در شناسایی مخاطرات ناشی از ساخت سازه‌های زیرزمینی بر رژیم هیدرولیکی حاکم، شناخت زمین‌شناسی منطقه و بررسی منابع آبی به منظور تعیین محدوده تاثیرگذار است. برای نیل به این هدف ابتدا بایستی منابع آب زیرزمینی در گمانه‌ها، آبدهی چشمه‌ها و بارندگی و نیز داده‌های کیفی این منابع گردآوری و سپس این داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. با تحلیل این اطلاعات نواحی از مسیر تونل که بر رژیم هیدرولیکی منطقه تاثیرگذار است و همچنین میزان اثرگذاری آن از جنبه‌های مختلف را بررسی و تمهیدات لازم را پیش‌بینی کرد (Bobylev, 2009). به عبارت دیگر، به منظور مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی و ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب، کسب دانش در رابطه با متغیرهای هیدرولیکی و توصیف کمی آبخوان امری حیاتی است (الطافی، ۱۳۹۱). بدین سان، در این مقاله به بررسی هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی مسیر تونل سبزکوه و گستره اطراف آن به منظور پیش‌بینی تغییرات رژیم طبیعی جریان آب زیرزمینی و تاثیرات آن در منابع آبی چشمه‌ها پس از حفر تونل پرداخته می‌شود. برای این منظور سازندهای مختلف مسیر تونل، گسل‌های محدوده مورد مطالعه و دامنه پتانسیل تراوایی آن‌ها با توجه به برداشت‌های میدانی، گمانه‌های اکتشافی و مطالعات ژئوفیزیک، شناسایی و طبقه‌بندی شد. از طرف دیگر منابع آبی و چشمه‌های مسیر تونل، شناسایی و مرز هیدروژئولوژیکی مسیر تونل از جمع‌بندی این مطالعات به منظور بررسی اثرات متقابل حفاری تونل و منابع آب زیرزمینی با رویکرد مدیریت محیط زیست منطقه تعیین شد. با توجه به این داده‌ها مسیر تونل به دو ناحیه (۱) با خطرپذیری بالا (بخش چغاخور) و (۲) با خطرپذیری پایین (بخش سبزکوه) تقسیم‌بندی شد. پس از آغاز حفاری مکانیزه تونل، تغییر یکباره شرایط زمین و پیچیدگی زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، هجوم یکباره گل و لای همراه با آب فراوان به داخل تونل باعث شد که علی‌رغم کلیه اقدامات تزریق و بهسازی انجام‌شده در ناحیه ریزشی و قابلیت‌های ماشین حفار مکانیزه، حفاری تونل متوقف شود. در ادامه به دلیل برخورد به ناحیه گسلی مظهر چشمه ساکی‌آباد، این چشمه در کمتر از یک هفته خشک شد. خشک‌شدن چشمه ساکی‌آباد، تاثیرات منفی اجتماعی، زیست محیطی و اقتصادی روی منطقه داشت. با بررسی این عوامل و لحاظ کردن کلیه پارامترهای آن، ادامه حفاری تونل متوقف شد. با بازبینی مطالعات و امکان‌سنجی کلیه بخش‌های متاثر و تاثیرگذار با رویکرد مدیریت محیط-زیست، ترکیبی از تونل در بخش سبزکوه (ناحیه با خطرپذیری پایین) و کانال سطحی انتقال آب (ناحیه با خطرپذیری بالای زیست‌محیطی) و همچنین تغییر در پروفیل مسیر، امکان‌سنجی شد. تونل انتقال آب سبزکوه به طول حدود ۱۱ کیلومتر در استان چهارمحال بختیاری و در حدود ۶۸ کیلومتری جنوب شهرکرد طراحی شده است. تونل سبزکوه با راستای شمال- جنوب از ارتفاعات کلار

که جزیی از رشته کوه زاگرس مرتفع با راستای شمال غرب- جنوب شرق است، عبور می‌نماید. تونل دارای شیب ۰/۰۰۱ و حداکثر روباره ۱۱۴۶ متر و دبی عبوری آب ۷ تا ۱۴ متر مکعب بر ثانیه است. تونل در رقوم ارتفاعی حدود ۲۳۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد در حالی‌که بلندترین قله ها در مسیر تونل ۳۵۵۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارند. تراز ورودی تونل۲۲۹۲ و تراز خروجی ۲۲۸۰ متر از سطح دریا است (شکل ۱). هدف طرح، کنترل سیلاب حوضه رودخانه سبزکوه و انتقال ۷۵ میلیون متر مکعب آب به حوضه چغاخور بوسیله تونل به منظور تامین آب آشامیدنی و صنعتی و همچنین توسعه و بهبود کشاورزی در منطقه، به ویژه شهرستان بروجن است.

**شکل ۱- موقعیت تونل انتقال آب سبزکوه**

## زمین‌شناسی و لیتولوژی منطقه مورد مطالعه

یکی از ضروری‌ترین گام‌ها در تحقیقات هیدروژئولوژیکی، توصیف چهارچوب زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی است. این مورد می‌تواند شامل تفسیر ادبیات زمین‌شناسی موجود، نقشه-ها، بخش‌ها و همچنین داده‌های حاصل از کار میدانی باشد. بنابراین زمین‌شناسی می‌تواند پایه‌ای برای مطالعه موثر و مدیریت منابع آبی به حساب آید (Francese et al, 2009).

مسیر تونل سبزکوه در کمربند زاگرس و در پهنه زاگرس مرتفع قرار دارد. این پهنه از کمربند زاگرس غالبا شامل واحدهای پالئوزوئیک است و گسترش واحدهای سئوزوئیک و جوانترآن محدودتر است. واحدهای پالئوزوئیک در دهانه شمالی تونل و در بخش چغاخور قرار دارند. این واحدها شامل شیل سبز و قرمز تا خاکستری رنگ با لایه‌هایی از ماسه سنگ هستند. علاوه بر این، لیتولوژی یکی از عوامل اصلی است که اثرات نفوذپذیری، مقاومت سنگ‌های کارستی و شرایط آب وهوایی یک منطقه را مد نظر قرار می‌دهد (Sharifi et al, 2015). لیتولوژی سازندهای منطقه نشان می‌دهد که نفوذپذیری اولیه آنها کم و در حد ناچیز است. بیشتر از ۸۰ درصد مسیر تونل از واحدهای سنگی مزوزوئیک است. این واحدها شامل واحدهایی تریالیسی (سازندخانه کت)، ژوراسیک (سازندهای سورمه و نیریز) و کرتاسه (سازندهای فهلیان و داریان، کژدمی، سروک، ایلام و گورپی) است که عمدتا آهکی است (شکل۲) و (جدول ۱).

ساختارهای اصلی در مسیر تونل شامل ناودیس سبزکوه و گسل‌های سولقان، آوردگان و چهارطاق است (شکل ۳). در تقاطع با مسیر تونل علاوه بر گسل‌های اصلی بیش از ۱۰ گسل فرعی نیز شناسایی شده‌اند. سازوکار گسل‌های موجود در

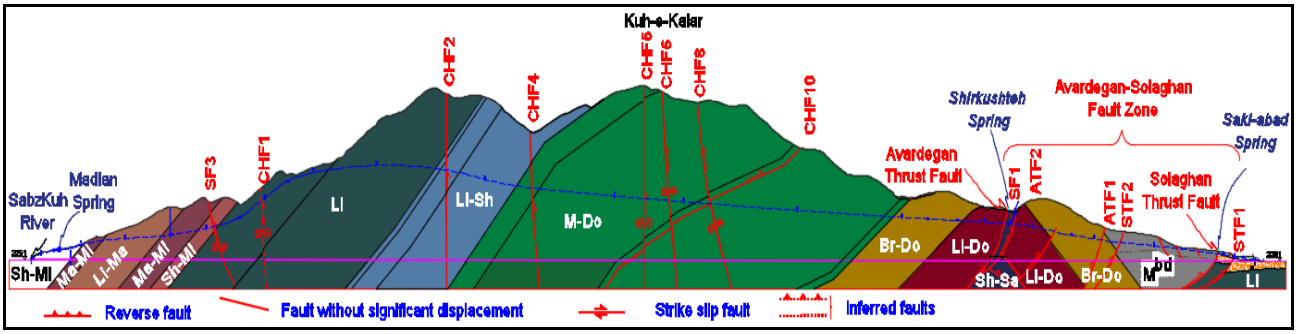
منطقه عمدتاً از نوع معکوس، معکوس با مولفه راستالغز یا راستالغز با مولفه معکوس است.

### زمین‌ساخت مسیر تونل از منظر هیدروژئولوژی

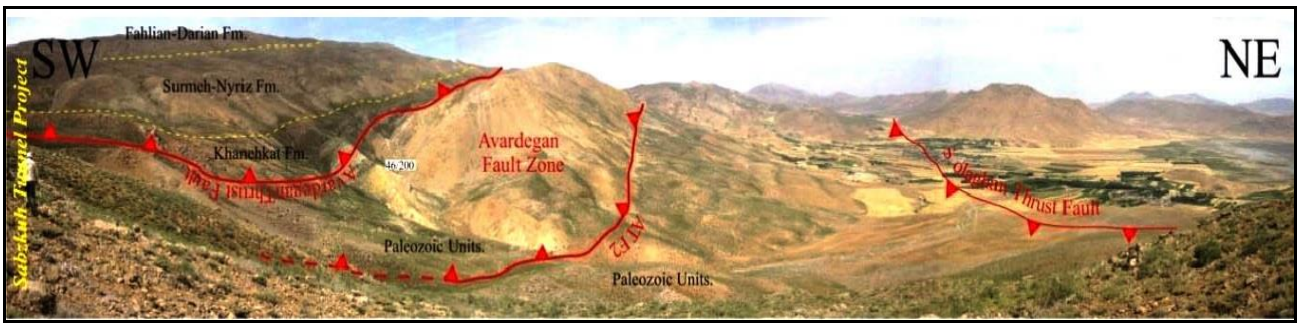
زمین ساخت منطقه نقش عمده‌ای را در جریان آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کند. از بین ساختارهای تکتونیکی در گستره مطالعاتی سبزکوه – چغاخور، گسل‌ها، سیستم درزه و شکاف‌ها پر اهمیت‌تر هستند. بنابراین شناخت ساختمان اصلی تکتونیکی منطقه بخصوص گسل‌های موجود، نخستین مرحله در بررسی آب‌های زیرزمینی است. به عبارت دیگر، مطالعه هیدروژئولوژی کلی منطقه و شناخت ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی مناطق اطراف تونل‌ها برای تخمین میزان آب ورودی به آنها ضروری است (معدن کن و همکاران، ۱۳۹۳). مسیر تونل سبزکوه در یال شمالی ناودیس سبزکوه قرار دارد. گسل‌های راندگی و راستالغز عرضی متعددی سازندهای این یال را قطع کرده و مسیر تونل را تحت تاثیر قرار داده‌اند و موجب ایجاد پهنه‌های خرد شده متعدد شده‌اند. غالب این گسل‌ها محل مناسبی برای جریان آب زیرزمینی و گاه ظهور چشمه‌ها با آبدهی زیادتر شده‌اند و نقش مهمی را در زهکشی آب‌های زیرزمینی منطقه ایفا می‌کند ( جدول ۲). مسیر تونل براساس شرایط توپوگرافی به سه بخش (۱) چغاخور، (۲) میانی و (۳) سبزکوه تقسیم‌بندی شد.

### بخش چغاخور

این ناحیه در جنوب تالاب چغاخور و دهانه خروجی تونل و به طول ۳۵۰۰ متر از طول تونل را در برمی‌گیرد و دارای توپوگرافی نسبتا ملایمی است. این ناحیه بیشتر گسل‌های مسیر و در بخش زاگرس مرتفع قرار دارد. زاگرس مرتفع باریکه‌ی از کمربند راندگی زاگرس در جنوب غربی ایران است که عرض آن به ۸۰ کیلومتر می‌رسد. این منطقه از شمال به گسل راندگی اصلی (Main Zagros Fault, MZTF)، از جنوب توسط گسل زاگرس مرتفع (High Zagros Fault, HZF) و ازنظر ارتفاعی، بلندترین نقطه زاگرس محسوب می‌شود. همچنین فعالیت لرزه‌ی در این ناحیه نسبت به قسمت‌های دیگر بیشتر است. در این بخش دو تراست گسل‌های سولقان، آوردگان و گسل‌های منشعب از آن وجود دارد (شکل ۳).




شکل ۲- پروفیل زمین‌شناسی مسیر تونل




شکل ۳- گسل‌های اصلی و سازندهای زمین‌شناسی محدود چغاخور

**جدول ۱- واحدهای سنگ چینه‌ای در گستره مورد بررسی**

| سن | | نام واحد | | نام سازند | توصیف سنگ شناسی |
|---|---|---|---|---|---|
| کواترنری | | Qr | | - | نهشته ها و خاک های برجا (residual deposits) از ذرات ریز سی سیلتی، رس ماسه‌ای سیلتی با مقداری گراول نیمه زاویه دار تا گردشده |
| | | Qs | | - | واریزه های دامنه ای(slope wash) شامل گراول های ماسه‌ای با مقداری مواد دانه ریز، گراول‌های با ماتریکس رسی با اندکی |
| | | Qt | | - | پادگانه‌های آبرفتی تشکیل‌شده از گراول ماسه‌ای، قطعات سنگی و قلوه سنگ‌ها با مواد دانه ریز |
| | | Qf | | - | رسوبات مخروط افکنه (Alluvial fan) متشکل از گراول،ماسه و مواد دانه ریز به همراه قطعات سنگی |
| | | Mbd | | - | دولومیت برشی شده خاکستری رنگ با ماتریکس ژیپس و کلیست هوازه |
| | | Ke sh | | Sachun Formation | شیل، ژیپس، کنگلومرا و ماسه سنگ خاکستری رنگ و نازک تا متوسط لایه |
| مزوزوئیک | | Ksh−ml g | K g | Gurpi Formation | مارن و آهک مارنی و بین لایه‌های شیلی به رنگ خاکستری |
| | | Kml g | | | مارن و آهک‌های مارنی با بین لایه‌های فسیل‌دار |
| | | Kl−ml g | | | آهک و مارن و همراه با ندول‌های چرتی به رنگ سبز تیره تا خاکستری همراه با بین لایه‌های شیلی |
| | | Kml i | K i | Ilam Formation | آهک‌های مارنی به رنگ کرم تا کرم روشن و نازک لایه و همراه با ندول‌های چرتی در بعضی لایه‌ها |
| | | Ksh−ml | | | شیل و مارن سبز تا سیاه رنگ و نازک لایه |
| | | Ki i−s | K s | Ilam-Sarvak Formation | آهک‌های چرتی کرم رنگ همراه با بین لایه‌های از شیل سبز رنگ و متوسط لایه |
| | | Ki−sh s | | Sarvak Formation | آهک‌های کرم رنگ همراه با بین لایه‌های از شیل و نازک تا متوسط لایه |
| | | Ksh2 s | | | شیل و بین لایه‌های مارنی و سبز تا خاکستری روشن و نازک تا متوسط لایه |
| | | K1 s | | | آهک و آهک‌های مارنی شیز تا خاکستری روشن و نازک تا متوسط لایه |
| | | Ksh1 s | | | شیل و بین لایه‌های از مارن و آهک سبز رنگ و نازک لایه |
| | | Kml k | K k | Kazhdumi Formation | مارن و آهک‌های مارنی و بین لایه‌های شیلی و نازک لایه |
| | | K1 K | | | آهک‌های خاکستری روشن و نازک و متوسط لایه |
| | | K1−d d−f | | Darian-Fahlian Formation | آهک‌های اربیتولین‌دار و بافت اسفنجی و همراه با حفرات انحلالی خاکستری تا قهوه‌ای رنگ و متوسط لایه |
| | ژوراسیک | Jd Sm−n | J sm−n | Surmeh-Nyriz Formation | دولومیت خاکستری با لایه‌بندی ضخیم توده‌ای |
| | | Jmd Sm−n | | | دو لومیت مارن و آهک‌های مارنی سبز تا قهوه‌ای روشن و نازک تا متوسط لایه |
| | تریاس | Td kh | | Khanehkat Formation | دولومیت خاکستری تا خاکستری روشن نازک تا متوسط لایه |
| پالئوزوئیک | پرمین | Pd d | | Dalan Formation | آهک‌های خاکستری تیره و متبلور توده‌ای همراه با لایه‌های از شیل و لایه‌های تبخیری |
| | کامبرین | Csh−s P1 | | - | شیل‌های میکادار خاکستری تیره با بین لایه‌های از ماسه سنگ‌های قرمز رنگ و نازک لایه |

جدول ۲- مشخصات سازندهای مختلف مسیر تونل

| نام سازند | کیلومتراژ برخورد با تونل از سمت دهانه شمالی | | مجموع (متر) | گسل‌های متاثر | دامنه پتانسیل تراوایی |
|---|---|---|---|---|---|
| | از کیلومتراژ | تا کیلومتراژ | | | |
| خانه کت | ۳۸۱ | ۱۱۹۵ | ۸۱۴ | STF2-ATF1-STF | متوسط تا زیاد |
| | ۱۱۹۵ | ۱۶۷۴ | ۴۷۹ | ATF-ATF1-ATF2-SF2 | |
| | ۲۸۸۳ | ۳۵۱۳ | ۶۳۰ | SF2 | |
| دالان | ۱۶۷۴ | ۲۱۶۵ | ۴۹۱ | AFT2 | متوسط |
| | ۲۳۲۱ | ۲۸۸۳ | ۵۶۲ | SF1 | |
| پالئوزویک | ۲۱۶۵ | ۲۳۲۱ | ۱۶۵ | ATF-SF1 | بسیار کم |
| سورمه- نیریز | ۳۵۱۳ | ۶۶۰۹ | ۳۰۹۶ | CHF10-CHF9-CHF8-CHF7-CHF6-CHF5 | کم تا زیاد |
| داریان - فهلیان | ۶۶۰۹ | ۶۸۲۷ | ۲۱۸ | CHF9-CHF8-CHF7-CHF6 | متوسط تا زیاد |
| کژدمی | ۶۸۲۷ | ۷۲۹۵ | ۴۶۸ | CHF4-CHF5-CHF1 | کم تا زیاد |
| سروک | ۷۲۹۵ | ۸۶۳۵ | ۹۶۵ | CHF1-CHF2-CHF3 | کم تا متوسط |
| ایلام- سروک | ۸۶۳۵ | ۹۲۰۱ | ۵۶۶ | CHF1-CHF2 | متوسط تا زیاد |
| ایلام | ۹۲۰۱ | ۹۶۲۴ | ۴۲۳ | SF3 | کم |
| گورپی | ۹۶۲۴ | ۱۰۵۸۷ | ۳۴۸ | SF3 | بسیار کم تا کم |

**بخش میانی**

این ناحیه از متراژ ۳۵۰۰ تا ۸۷۰۰ از مسیر تونل را پوشش می‌دهد. در این بخش عملکرد گسل‌های چهار طاق در راستای شمال غربی به جنوب شرقی در سازندهای آهکی داریان- فهلیان و دولومیتی سورمه - نیریز، باعث ایجاد زون‌های خرد-شده و افزایش پتانسیل کارست شده است. عدم ظهور چشمه در این نواحی نشان از بالا بودن میزان تراوایی این زون‌های گسلی و ایجاد غارهای آبی است که به هنگام حفاری تونل مشکلات چالش برانگیزی را به دنبال خواهد داشت.

**بخش سبزکوه**

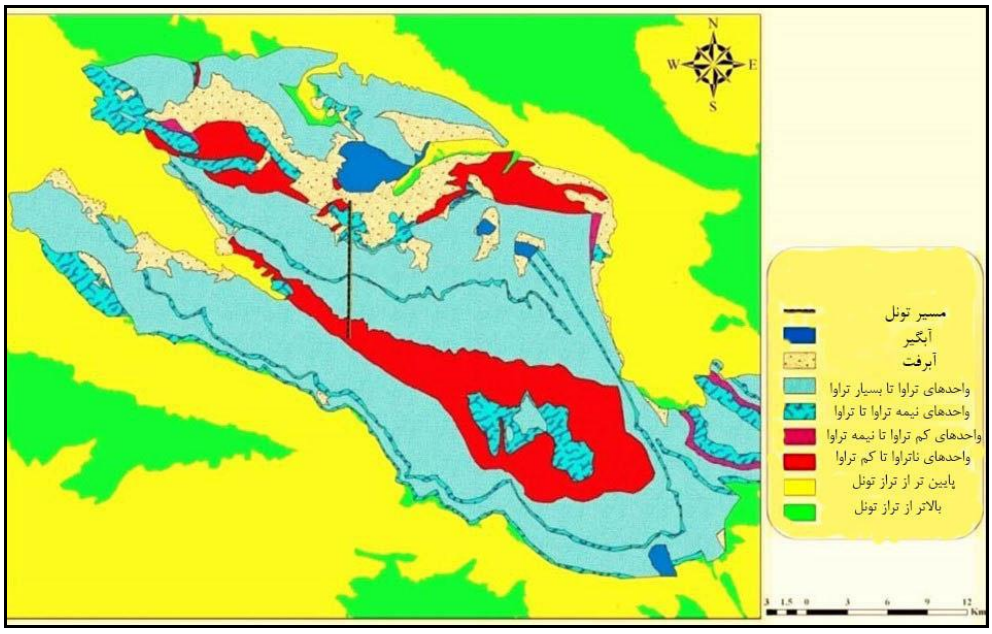
این بخش از مسیر تونل که از متراژ ۸۷۰۰ تا ۱۰۶۱۷ از مسیر تونل است عمدتا در برگیرنده واحدهای سنگی سازندهای ایلام و گورپی است. تغییر واحدهای سنگی مقاوم و نامقاوم باعث شده که چشمه‌های کنتاکتی در این ناحیه توسعه یابد. تنها گسل در این بخش گسل عرضی SF3 است.

**تعیین محدوده مطالعات هیدروژئولوژی مسیر تونل**

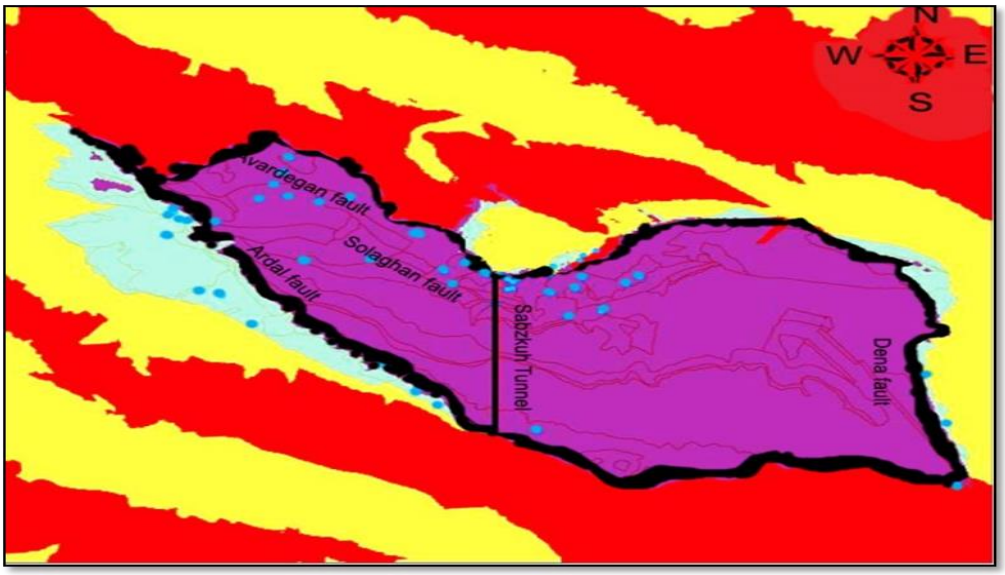
براساس مطالعات زمین‌شناسی انجام شده در مسیر تونل سبزکوه و تقسیم‌بندی سازندهای مسیر از دیدگاه تراوایی و بررسی منابع آبی منطقه، سازند گورپی با تراوایی ناچیز و شیل‌های پالئوزوئیک کم‌تراوا به عنوان بخشی از مرزهای محدود-کننده پهنه هیدروژئولوژیکی انتخاب شدند. در شکل ۴ نقشه هیدرواستراتوگرافی گستره مورد مطالعه نشان داده شده است. مطابق با شکل ۴ بیشتر مسیر در واحدهای با تراوایی متوسط تا تراوا قرار دارد و تنها بخش انتهایی مسیر در بخشی ناتراوا تا کم‌تراوا قرار دارد. جهت تعیین مرزهای محدوده فوق از لیتولوژی سازندهای زمین‌شناسی منطقه، سیستم‌های ساختاری، به ویژه تراست‌ها و گسل‌های مهم منطقه و موقعیت چشمه‌ها استفاده به عمل آمد. در گام اول تراز ارتفاعی منطقه نسبت به تراز تونل، مورد بررسی قرار گرفت. سپس برای هر یک از عوامل فوق یک لایه اطلاعاتی در محیط GIS تهیه گردید.

تلفیق لایه‌های اطلاعاتی بدست آمده منجر به لایه اطلاعاتی جدیدی گردید که این لایه گستره‌ای از منطقه را مشخص می-کند که امکان تاثیرپذیری منابع آب زیرزمینی آن توسط تونل دور از انتظار نیست.

همانطور که ملاحظه می‌شود گسل‌های عمده منطقه نظیر گسل دنا از شرق، گسل‌های سولقان و آوردگان از شمال و گسل سبزکوه که منطبق بر محور ناودیس است همچنین گسل اردل، پهنه سنگی را در بر گرفته است. این پهنه به عنوان یکی از عوامل تعیین محدوده هیدروژئولوژی در نظر گرفته شده است. موقعیت چشمه‌ها در این پهنه به خوبی نقش گسل‌های مذکور را در تخلیه آب‌های زیرزمینی منطقه نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به عملکرد گسل‌های منطقه و تظاهر اغلب چشمه‌ها روی این ساختارها این نواحی به عنوان محل خروج آب زیرزمینی از واحدهای گستره تونل معرفی و به عنوان مرز هیدروژئولوژیکی (رنگ بنفش) در نظر گرفته شده است (شکل ۵).




**شکل ۴- نقشه هیدرواستراتوگرافی منطقه مورد مطالعه**




**شکل ۵- منطقه مورد مطالعه و موقعیت چشمه‌ها، گسل‌های اصلی و مسیر تونل**

**عوامل موثر بر کاهش آبدهی چشمه‌ها**

به منظور شناخت آب‌های زیرزمینی لازم است شرایط محیط آبخوان و هیدرولیک حاکم بر آن مورد توجه قرار گیرد. شرایط محیط را وضعیت زمین‌شناسی مشخص می‌کند. برای درک شرایط هیدرولیکی افزون بر شناخت شرایط محیط، لازم است از داده‌ها و اطلاعات کمی و کیفی منابع آب نظیر سطح آب زیرزمینی در پیزومترها، آبدهی چشمه‌ها و قنوات، مقدار بارندگی و کیفیت این منابع استفاده به عمل آید و این داده‌ها مورد تحلیل قرار گیرد. عوامل متعددی در منطقه اشباع پهنه-های سنگی باعث کاهش آبدهی چشمه‌ها شد. گروهی که تا حدودی به ویژگی پهنه سنگی و خصوصیات مهندسی این پهنه مربوط می‌شود و شامل ویژگی درزه‌ها و بخصوص فراوانی آنها، تراوایی سنگ، ارتفاع روباره و شعاع زون پلاستیک است. گروه دوم شامل فاصله چشمه از محور تونل، برخورد با گسل و نوع چشمه از نظر آبدهی و با زون یکسان است.

**جدول۳- مختصات جغرافیایی گروه چشمه‌های چغاخور**

| ردیف | نام چشمه | فاصله از محور تونل (متر) |
|---|---|---|
| **چشمه‌های بخش چغاخور** | | |
| ۱ | گلوگرد | ۴۰۰۰ |
| ۲ | شش دانگ | ۵۱۱۱ |
| ۳ | کاریز خدرآباد | ۱۱۴۷ |
| ۴ | آب باریک | ۲۶۵۷ |
| ۵ | چغایورد | ۳۳۶۹ |
| ۶ | باغ خان | ۶۵۴۱ |
| ۷ | تنگ سیاه سیبک | ۴۸۲۷ |
| ۸ | احمدآباد (سیبک) | ۳۷۴۶ |
| ۹ | وستگان | ۲۰۳۰۳ |
| ۱۰ | نصیرآباد | ۱۹۵۹۱ |
| ۱۱ | شیر کشته | ۲۶۲ |
| ۱۲ | ساکی‌آباد (آلو قره) | ۴۷ |
| ۱۳ | احمد | ۱۲۷۲ |
| ۱۴ | دل افروز | ۴۴۳ |
| **چشمه‌های بخش سبزکوه** | | |
| ۱۵ | چهرازگان ۱ | ۱۰۱۰ |
| ۱۶ | چهرازگان ۲ | ۱۸۴۱ |
| ۱۷ | فرخور | ۴۶۹۷ |

البته عوامل دیگری نیز در تغییرات آبدهی چشمه‌ها موثر است که از جمله آن می‌توان به تراز مظهر چشمه نسبت به تراز تونل اشاره کرد. بدیهی است تحت شرایط یکسان، آبدهی چشمه-هایی که در تراز بالاتر از تونل ظاهر شده‌اند تحت تاثیر بیشتری نسبت به آبدهی چشمه‌هایی که در تراز پایین تر از تونل قرار دارند واقع می‌شوند و احتمال خشک شدن آنها بیشتر است. به طور کلی می‌توان چشمه‌های محدوده تونل سبزکوه را در چهار گروه (۱) چشمه‌های کنتاکته، (۲) گسلی (چشمه فرخور، وستگان، شیرکشته)، (۳) درزه و شکافی و (۴) آبرفتی (سنجدی و شش دانگ) تقسیم‌بندی کرد.

حضور چشمه‌های متعدد با آبدهی نسبتا خوب در مسیر تونل به ویژه در بخش چغاخور که غالبا از نوع گسلی می‌باشند نشان

می‌دهد که غالب سازندها در منطقه بیشتر ناشی از فعالیت‌های تکنونیکی است و فرایند انحلال‌پذیری نقش کمتری در تراوایی سازندها به عهده دارند. به عبارت دیگر تراوایی سازندها بیشتر حاصل سیستم درز، شکاف‌ها، شکستگی‌ها و سیستم گسلی منطقه است.

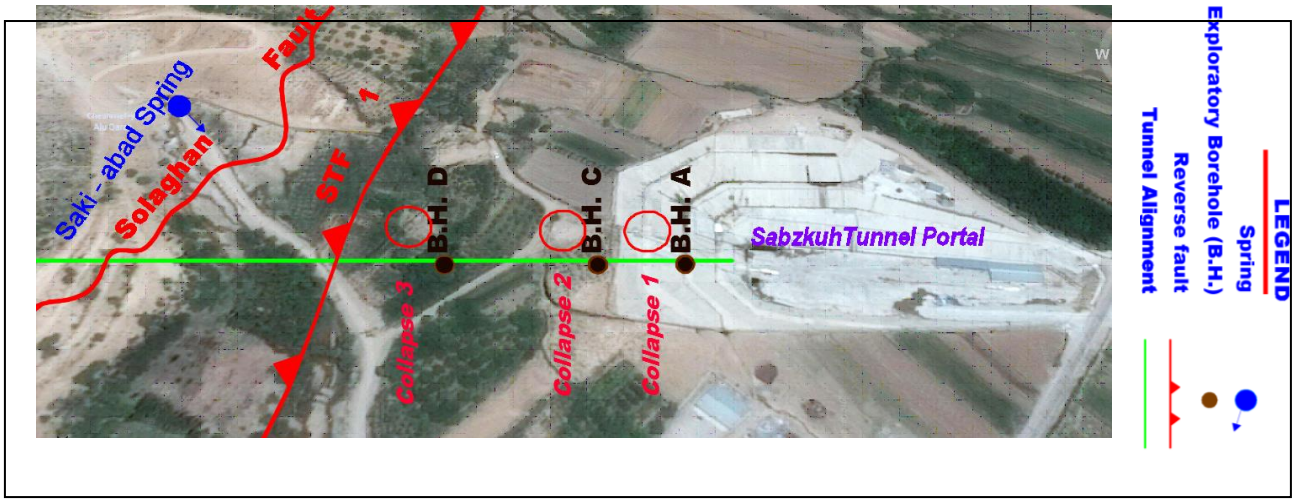
**اثرات متقابل حفاری مکانیزه و خشک شدن چشمه ساکی‌آباد (آلوقره)**

طی حفاری مکانیزه تونل سبزکوه در متراژ ۵۱۴ از سمت دهانه ورودی دستگاه، برخورد با زون سست و ریزشی همراه با جریان شدید آب در جلوی سینه کار، موجب جریان یافتن مصالح زون گسلی به سمت کاترهد شد (شکل ۶). تخلیه این مصالح و همچنین شستشوی مصالح ریزدانه در اثر جریان آب به داخل تونل، باعث به وجود آمدن فضای خالی و گسترش زون ناپایدار در بالای کاترهد دستگاه شد. در این شرایط، افزایش حجم مصالح جلوی کله حفاری و نیز سقوط بلوک‌های سنگی بزرگ روی کاترهد، باعث شد دستگاه حفار مکانیزه، گشتاور لازم جهت چرخاندن کاترهد و جمع‌آوری مصالح ریزشی توسط بیلچه‌های دستگاه را نداشته باشد و به اصطلاح دستگاه گیر کند. بدین ترتیب، در ادامه با افزایش روند ریزش و هجوم مصالح و آب، دبی چشمه ساکی‌آباد شروع به کاهش کرد و در کمتر از یک هفته به طور کامل خشک شد. در ادامه به تحلیل و بررسی عوامل تاثیرگذار در خشک شدن چشمه و اثرات زیست محیطی آن در منطقه پرداخته می‌شود.

**شکل ۶- جریان یافتن مصالح زون گسله به سمت کاترهد ماشین حفار**

**زمین شناسی محدوده مورد مطالعه**

گسل راندگی سولقان با حدود ۱۳۸ کیلومتر درازا و راستای شمال غربی- جنوب غربی با شیب به سوی جنوب غرب در مجاورت شهرستان کوهرنگ در غرب شهرکرد قرار گرفته است. این گسل سبب رانده شدن شیل و سنگ ماسه کامبرین روی سنگ دولومیت‌های پرمین و سنگ آهک‌های کرتاسه شده است. در بخش ابتدایی تونل سبزکوه، گسل سولقان دارای انشعاباتی است که از عمق به سمت سطح گسترش یافته و تحت نام STF نامگذاری شده‌اند. در راستای این گسل، چشمه‌های متعددی از جمله چشمه ساکی‌آباد (آلوقره) رخنمون دارد. عملکرد این گسل باعث بهم ریختگی و پیچیدگی لایه‌های زمین‌شناسی منطقه شده است (شکل ۷). گسل STF1 اولین گسل از بخش ورودی تونل، یکی از انشعابات گسل سولقان است. هیچ شاهد سطحی از این گسل در ناحیه بخش ورودی تونل وجود ندارد. شناسایی این گسل بر مبنای مطالعه گمانه‌ها و اطلاعات بدست آمده از عملیات ژئوفیزیک گرانی‌سنجی است.



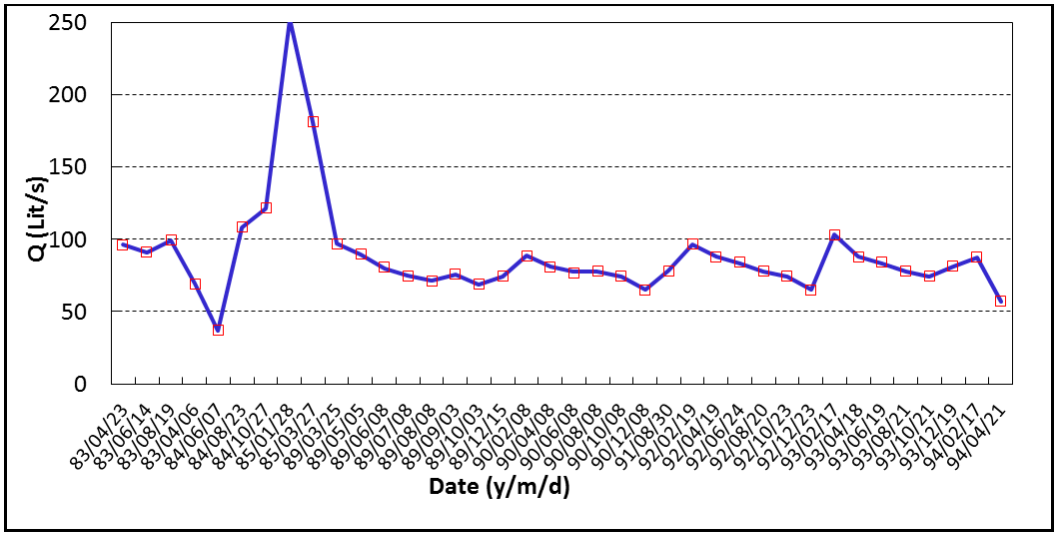

**شکل ۷- نقشه زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه**

با شروع حفاری به روش مکانیزه، از کیلومتراژ ۰۰+۳۵۰ تا ۰۰+۴۸۵ مقطع تونل وارد شیل‌های هوازده پالئوزوئیک گردید و از کیلومتراژ ۰۰+۴۸۵ تا ۰۰+۵۱۴ دولومیت‌های برشی سازند خانه‌کت از دوره تریاس که تحت تاثیر شدید گسل سولقان قرار گرفته است، در تونل ظاهر گردید. در کیلومتراژ ۰۰+۴۸۴ به یکباره جنس زمین از گل سنگ و شیل هوازده به دولومیت برشی تغییر کرد و خردشدگی شدید دولومیت باعث گیر-افتادگی دستگاه TBM شد.

چشمه آلوقره در جنوب غرب روستای ساکی‌آباد و حدود ۳۰۰ متری دهانه ورودی تونل سبزکوه در ارتفاع حدود ۲۳۴۵ متری قرار دارد. مظهر این چشمه روی شاخه‌های فرعی گسل سولقان قرار دارد و به دلیل عملکرد راندگی این چشمه نسبت به توپوگرافی منطقه در رقوم بالایی قرار گرفته است (حدود ۵۰ متر بالاتر از کف آبراه). انشعابات گسل سولقان باعث راندگی واحدهای آهکی سازند تریاس روی شیل‌های میکادار کامبرین شده است. به این ترتیب چشمه‌های متعددی همانند آلوقره و شیرکشته با روند تقریبا خطی در امتداد این گسل و در واقع از مرز واحدهای نفوذپذیر (سنگ مخزن) و لایه‌های ناتراوا (شیل‌های میکادار کامبرین) در سطح ظاهر گردیده است. هیدروگراف این چشمه در شکل ۸ ارائه شده است. بررسی روند آبدهی این چشمه نشان می‌دهد که دبی حداکثر و حداقل این چشمه به ترتیب حدود ۲۵۰ و ۷۰ لیتر می‌باشد.

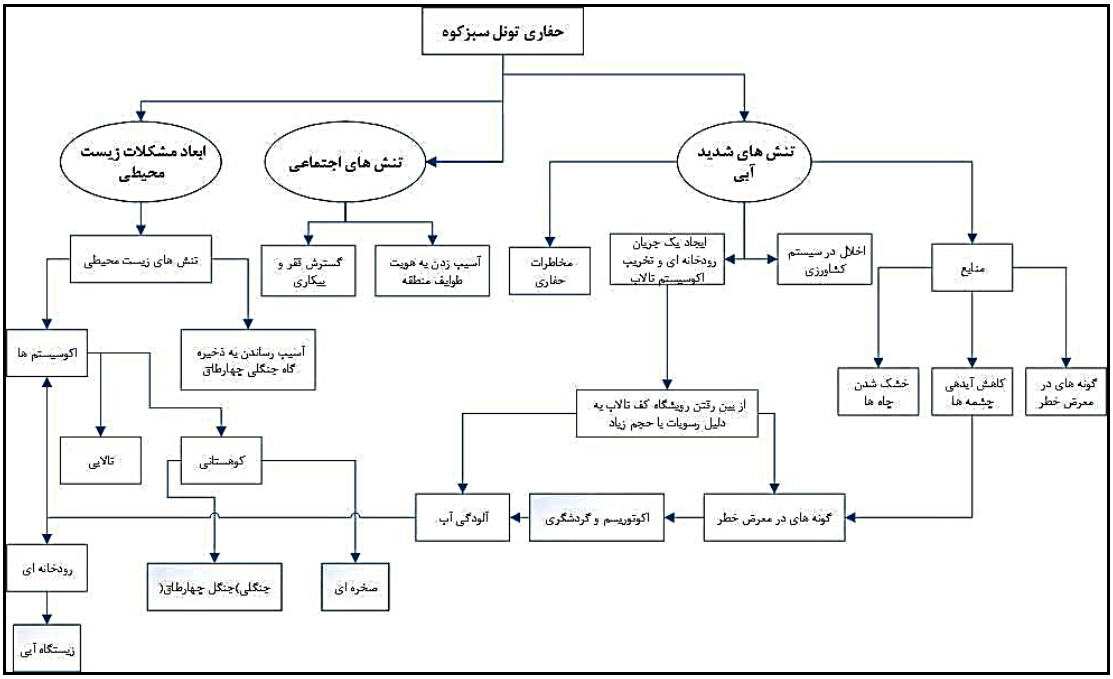
## بحث و نتایج

در هر پروژه تونل‌سازی مخاطرات زمین‌شناسی به دلیل عدم علم نسبت به طبیعت زمین، می‌تواند آسیب‌های زیست محیطی غیرقابل پیش بینی را به همراه داشته باشد. بهره‌گیری از مدیریت محیط‌زیست می‌تواند در کاهش آسیب‌های زمین-شناسی موثر باشد. مسائل زیست محیطی در یک پروژه معمولا بوسیله یک سیستم یا طرح مدیریت زیست محیطی پروژه ساماندهی می‌شود. به عبارت دیگر، طرح مدیریت زیست-محیطی به تحلیل و ارزیابی شدت آسیب‌های بالقوه محتمل محیطی در ارتباط با یک پروژه می‌پردازد. یکی از آسیب‌های بالقوه در زمینه تاثیرات زیست محیطی حفاری تونل سبزکوه، تاثیر ساخت تونل روی آب‌های زیرزمینی است. به عبارت دیگر، ساخت تونل، میزان و کیفیت آب و حتی وضعیت زمین‌شناسی و زیست محیطی در یک وسعت بسیار زیاد را تحت تاثیر خود قرار داد. احداث سازه‌های زیرزمینی نظیر تونل سبزکوه که در زیر سطح ایستابی قرار دارند باعث تغییراتی در سیستم جریان آب‌های زیرزمینی نیز می‌شود. در حفاری تونل سبزکوه پس از برخود به ناحیه تاثیرگذار در مظهر چشمه، مقادیر قابل توجهی آب زیرزمینی به داخل تونل نفوذ کرده و مانند یک زهکش موجب کاهش سطح آب چشمه ساکی‌آباد شد.




**شکل ۸- هیدروگراف چشمه آلوقره**

این مشکل تغییراتی در جهت جریان آب زیرزمینی منطقه را نیز فراهم آورد. بدیهی است تغییرات مذکور سیستم آب زیرزمینی و در نتیجه آبدهی چشمه‌های منطقه (همانند چشمه شیرکشته با فاصله ۲۶۰ از محور تونل) را نیز تحت تاثیر خود قرار داد. در این مورد چشمه شیرکشته با کاهش آبدهی روبرو شد و آبدهی چشمه ساکی‌آباد نیز به سمت صفر میل می‌کند. از آنجائی که اکثر این چشمه‌ها منبع تامین آب کشاورزی و شرب روستاها می‌باشند تغییرات آبدهی آن‌ها باعث برخی معضلات اجتماعی نیز شد. در شکل۹ ابعاد مشکلات زیست‌محیطی منطقه مورد مطالعه ناشی از اثرات متقابل حفاری تونل و منابع آب زیرزمینی نشان داده شده است. با توجه به این شکل درمی‌یابیم که این مشکلات جنبه‌های مختلف زیست‌محیطی و اجتماعی را در منطقه در پی داشت.




**شکل ۹- پیامدهای زیست‌محیطی حفاری تونل سبزکوه**

## نتیجه‌گیری

بهره‌گیری از طرح مدیریت محیط‌زیست قبل از شروع عملیات اجرایی یا حین ساخت می‌تواند در به حداقل رساندن این اثرات کارساز باشد. بنابراین به دلیل وجود چشمه‌های حساس و مهم که در منطقه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، درمی‌یابیم که ارزیابی اثرات ساخت تونل بر منابع آبی مجاور بسیار مهم هستند. در پروژه تونل سبزکوه با توجه به پیچیدگی زمین‌شناسی منطقه و خصوصیات ذاتی زمین مسیر پروژه، بایستی موارد ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی به دقت مورد ارزیابی قرار گیرد. از طرف دیگر عوامل هیدروژئولوژی و هیدرولوژی مرتبط با آب‌های سطحی و زیرزمینی جهت نیل به بهترین راه حل‌ها و جلوگیری از آسیب‌ها در نظر گرفته شوند. در این بین انتخاب دستگاه حفاری و اقدامات و تمهیدات پیش از رسیدن به منابع آب زیرزمینی نیز بایستی به طور کامل بررسی شوند.

با جمع‌بندی مطالعات زمین‌شناسی و هیدرژئولوژی همچنین مشخصات ماشین حفار مکانیزه، مشخص شد که ادامه حفاری، تاثیرات زیست‌محیطی قابل توجهی را در مسیر تونل ایجاد می‌کند که با مخاطرات زیادی همراه است. بنابراین ادامه حفاری تونل با این روش متوقف شد و گزینه‌های دیگر مورد بررسی قرار گرفت. با بازبینی مطالعات و امکان‌سنجی کلیه بخش‌های متاثر و تاثیرگذار با رویکرد مدیریت محیط‌زیست، ترکیبی از تونل در بخش سبزکوه (ناحیه با خطرپذیری پایین) و کانال سطحی انتقال آب (ناحیه با خطرپذیری بالای زیست‌محیطی) و همچنین تغییر در پروفیل مسیر به طور نسبی امکان‌سنجی شد. بررسی‌های جدید نشان داد که این گزینه در به حداقل رساندن تاثیرات منفی حفاری تونل نقش بسزایی دارد.

## منابع


- **الطافی دادگر، م.، محمدزاده، ح.، بهرامی،ر.، (۱۳۹۱ )**، "تخمین متغیرهای هیدرولیکی آبخوان دشت بجنورد با استفاده از داده های سونداژ الکتریکی"، فصلنامه زمین شناسی محیط زیست ،سال ششم، شماره۲۰،ص۷۵-۸۵.

- **معدن کن، م.، حسن پور، ج.، چشمی، ا.، مرسلی، م.**، (۱۳۹۳)، "استفاده از روشهای تحلیلی برای تخمین دبی آب ورودی به تونل های واقع در قطعه دوم آزادراه تهران-شمال"، اولین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی ،ص۱-۸.

- **Anna, L.,Fahy, M., Bianchi, R., McKeown, M., Chatoian, J., (2003),** "Effects of tunneling on the groundwater resources of the southwestern San Bernardino Mountains, California, CA". Proceedings of the International Conference on Groundwater in Fractured Rocks, International Association of Hydrogeologists.

- **Bobylev, N., (2009),** "Mainstreaming sustainable development into a city's master plan: a case of urban underground space use", pp1128–1137

- **Francese, R., Mazzarini, F., Bistacchi, A., Morelli, G., Pasquarè, G., Praticel li, N., Robain, H., Wardell, N. &Zaja, A., (2009),** "A structural and geophysical approach to the study of fractured aquifers in the Scansano Magliano in ToscanaRidge, southern Tuscany, Italy" Hydrogeology journal17, pp1233-1246.

- **Gisbert, J., Vallejos, A., González, A., and Pulido-Bosch, A., ( 2009),** "Environmental and hydrogeological problems in karstic terrains crossed by tunnels: a case study", Environmental Geology, vol. 58, no. 2, pp. 347–357,

- **Gattinoni, P., Pizzarotti, E., Scesi, L., (2014),** "Engineering Geology for Underground" Works,springer,159 p,

- **Goldscheider, N., Drew, D., (2007),** "Methods in Karst Hydrogeology", Taylor &Francis Group, London, UK.

- **Liu, J., (2011),** "Study on the evaluation system of negative effects on groundwater environment resulted by tunnel construction in karst area", [Ph.D. thesis], Southwest Jiaotong University.

- **Rodriguez, R., Blanco, A., ( 2012),** "Inquiry into the interactions between the Works on the Holy 837 Family Temple and the construction of a high Speedy rail tunnel between the Sants and La Sagrera stations in Barcelona". Revista de Obras Públicas, 3529, 7–30.

- **Sharifi, F., Arab, A., Amiri, A., Kamkar Rouhani, A., Yousefi, M., Tokhmechi, B., ( 2015),** "A New GIS based Application of Sequential Technique to Prospect Karstic Groundwater using Remotely Sensed and Geoelectrical Methods in Karstified Tepal Area Shahrood", Iran, Int. J. Min. & GeoEng.Vol.49, No.1, June, PP113-130.

-**Vincenzo, V., Gargini, A., Goldscheider, N., (2009),** "Using tracer tests and hydrological observations to evaluate effects of tunnel drainage on groundwater and surface waters in the Northern Apennines (Italy)", Hydrogeology Journal,

-**Yang, F. R., Lee, C., Kung, W.J., Yeh, H. F., (2009)** "The impact of tunneling construction on the hydrogeological environment of 'Tseng-Wen Reservoir Transbasin Diversion Project' in Taiwan", Engineering Geology, vol. 103, no.39 vol. 17, no.10. 135–150,

-**Yuan ,D. X., ( 1994),** "Karstology of China", Geological Publishing House, Beijing, China,573p .

# Interaction Effects of Sabzkuh Tunnel Excavation and Ground Water Resources: (Environmental Management Approach)

**Majid Taromi[*1], Majid Asadnabizadeh[2]**

1- Young Researchers and Elite Club, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2- Researcher in the environmental issues and climate change, Tehran.

## Abstract

In this paper, hydrogeology and geology of Sabzkuh tunnel path and its environment has been reviewed, so as to anticipation of changes in the natural regime of underground waters and its impacts in springs resources after tunnel excavation with environmental management approach has been determined. For this purpose, different formation of tunnel path, faults and their permeability and potential amplitudes were recognized and categorized. From another perspective, water resources and springs of tunnel path were identified and hydrogeological boundary of tunnel path was determined to investigate interactions among tunnel excavation and underground water resources. According to these data, the tunnel path had been divided into two section: 1. High risk areas (Choghakhor region) 2. Low risk areas (Sabzkuh region). After tunnel mechanized excavation, changes of ground and geological complexity of studied zone and influx of mud along with abundance of water into tunnel caused cancelation of tunnel excavation despite all measures carried out for injection and reinforcement in risky area and capabilities of mechanized excavation machine. Following that, due to interaction to fault area of Sakiabad (Aloghareh), this fault had been dried in less than one week. Drying of Sakiabad spring had brought negative effects in terms of social, environmental and economical in the zone. Scrutiny of this factors and considering all parameters, the tunnel excavation had ceased. Reviewing studies and feasibility of all effected sections and with environmental management approach, combination of tunnel in Sabzkuh and water canal in Choghakhor section and change in the profile of path in order to reduce regional environmental impacts have been relatively considered.

**Keywords:** Geology, Water Resources, Tunnel Excavation, Environmental Management, Sabzkuh Tunnel.