چهل و دومین گردهمایی (همایش) ملی
علـوم زمیـــن
The 42nd National
Geosciences Congress
www.geoconf.ir

صحت‌سنجی روش استفاده از نمایه خطر افت برای تعیین تاثیر حفر تونل بر آبدهی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی تونل چشمه لنگان و تونل خدنگستان)

حسین عابدیان (نویسنده مسئول)[1] عطیه مجیری[2]

[1]شرکت مهندسین مشاور زایندآب ، اصفهان، dr.abedian@zayandab.ir

[2]شرکت مهندسین مشاور زایندآب، اصفهان، A.mojiri@zayandab.ir

چکیده

تصمیم‌گیری در زمینه‌ی تاثیر تونل و یا شایعه‌ی تاثیر تونل بر منابع آبی و حتی تاثیر تغییر اقلیم، نیاز به بررسی آبدهی منابع آبی در مسیر تونل می‌باشد تا روند آبدهی این منابع تحت تاثیر اجرای تونل تشخیص داده شود و حدود تغییرات آبدهی، متناسب با ریزش‌های جوی و همچنین ادعای مردم در مورد خشک شدن و یا برگشت آبدهی منابع آبی به‌صورت مستند و علمی در هر مقطع زمانی پاسخ داده شود. تونل‌های چشمه لنگان و خدنگستان با طول به ترتیب ۱۲/۹ و ۱۳/۷ کیلومتر با هدف انتقال آب به حوضه زاینده‌رود حفاری گردیده‌اند. آب نشتی به تونل چشمه لنگان حدود ۶۰ لیتر بر ثانیه است. در این پژوهش تاثیر حفر تونل‌های چشمه لنگان و خدنگستان بر آبدهی چشمه‌های محدوده مورد مطالعه بر اساس پارامترها و لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده مختلف، با استفاده از روش توری و همکاران (۲۰۰۷)، پیش‌بینی شد. طبق نتایج به دست آمده، تاثیر حفر تونل‌های مذکور در بدترین حالت حدود ۶۳/۳ درصد از چشمه‌های محدوده مطالعاتی، قابل چشم پوشی، حدود ۲۳/۳ درصد کم، ۳/۳ درصد متوسط است و تنها ۱۰/۰ درصد از چشمه‌ها خطر کاهش زیاد آبدهی را دارا می‌باشند. نتایج به دست آمده از روش DHI حاکی از واقعیت پیش آمده در منطقه مورد مطالعه پس از حفاری تونل‌های چشمه لنگان و خدنگستان است و می‌تواند ملاک تامین آب اراضی خسارت دیده (در اثر تغییر آبدهی چشمه‌های تحت تاثیر حفاری تونل) قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی

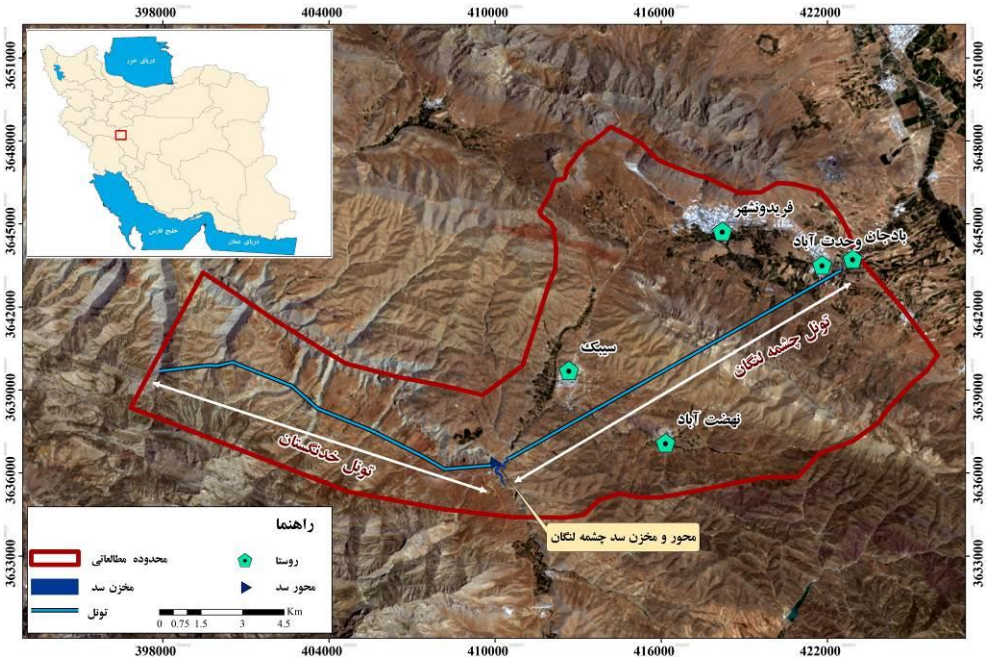
تونل چشمه لنگان، تونل خدنگستان، DHI، خطر افت، آب زیرزمینی

۱. مقدمه

مشکلات اجتماعی ناشی از تغییر آبدهی منابع آبی در مسیر تونل و به طور کلی پایین افتادن سطح ایستابی، یکی از بزرگ‌ترین مشکلات حفاری تونل‌ها به‌شمار می‌رود که در صورت بی توجهی به این موضوع در حین اجرا و بهره‌برداری تونل، مشکلات و نارضایتی‌های اجتماعی را در پی دارد که باعث مشکل در اجرای پروژه‌ها و حتی توقف کامل آن می‌شود [1]. افت سطح آب در منطقه بر کمیت و کیفیت آب تاثیر می‌گذارد و با شواهدی مانند تغییر در پوشش گیاهی، ناپایداری زمین بخصوص در شیب‌ها، تغییر شیمی آب و تغییر در میزان آب تخلیه شده از نقاط تخلیه حوضه آشکار می‌گردد [7] ,[6] ,[5] ,[4]. با استفاده از روش نمایه خطر افت می‌توان تاثیر حفر تونل بر منابع آبی را پیش‌بینی نمود. در روش نمایه خطر افت، بر اساس یک سری از فاکتورها شاخصی به نام DHI Drawdown Hazard (Index) تعریف می‌گردد. DHI در حال حاضر تنها روشی است که می‌تواند تا حدودی به بررسی پیامدهای حفر تونل بر جریان آب زیرزمینی بپردازد. هدف روش DHI ارزیابی رفتار سیستم در برخورد تونل با جریان آب زیرزمینی است و اساس آن، مکانیک سنگ و متغیرهای اساسی در سیستم دوگانه آبخوان- تونل می‌باشد که از طریق رابطه علت و معلولی دوتایی به دست می‌آید [8]. این روش در ارتباط با آبخوان و رفتار آن در در مقابل حفاری تونل است. از مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره داشت:
دماتیس و کالماراس [9] با در نظر گرفتن پارامترهای ویژگی ناپیوستگی‌ها، نفوذپذیری، وزن روباره، زون پلاستیک، فاصله از گسل اصلی، نوع چشمه و فاصله از تونل، ابتدا ضریب پتانسیل جریان (PI) و سپس شاخص DHI را تعریف نمودند. توری و همکاران [10] به بررسی شاخص DHI برای یک تونل ۸ کیلومتری در شرق پیرنه پرداختند. آن‌ها در واقع روش DHI دوماتیس (۲۰۰۱) را تصحیح نمودند. با توجه به مطالعات انجام شده توسط توری و همکاران و بررسی تاثیر حفر تونل بر منابع آبی منطقه قبل و بعد از احداث تونل، پارامتر اثر توپوگرافی (ET) به سایر پارامترها افزوده شدجاماسب [2]، تاثیر تونل گلاس بر چشمه‌های محدوده مطالعاتی با استفاده از شاخص DHI بررسی نمود. نتایج این تحقیق نشان داد که تونل بیشترین تاثیر را بر روی چشمه‌ها در مناطق سازند سخت که تعداد قابل توجهی هستند خواهد داشت. حاجی‌زاده [3] به تاثیر ساخت تونل انتقال آب طالقان بر منابع آبی و همچنین برآورد آب ورودی به تونل طالقان پرداخت. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین میزان نشت آب در سه کیلومتر اول تونل به دلیل جنس سازندهای منطقه است. همچنین طبق نتایج به دست آمده از روش‌های مختلف پهنه‌بندی خطر افت منابع آبی، در بدترین حالت حدود ۶ درصد از چشمه‌ها کاهش کامل آبدهی را تجربه خواهند کرد. در این پژوهش نیز به بررسی تاثیر حفر تونل‌های چشمه لنگان و خدنگستان بر منابع آبی محدوده مورد مطالعه، با استفاده از روش توری و همکاران (۲۰۰۷) پرداخته شده است و محدوده مورد مطالعه بر اساس خطر افت محاسبه شده پهنه‌بندی گردید.

۲. محدوده مطالعاتی

محدوده مورد مطالعه در مختصات جغرافیایی۴۹ درجه و ۹۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۲۶ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۸۳ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۹۵ دقیقه عرض شمالی، در استان اصفهان، شهرستان فریدونشهر واقع شده است (شکل ۱). تونل خدنگستان به طول ۱۲/۹ کیلومتر با رقوم دهانه ورودی ۲۴۳۱ متر و دهانه خروجی ۲۴۱۶ متر از سطح دریا از سازندهای مارنی عبور می‌کند. تونل چشمه لنگان به طول ۱۳/۷ کیلومتر با رقوم دهانه ورودی ۲۴۲۵ متر و دهانه خروجی ۲۳۹۵ متر از سطح دریا به ترتیب از سازندهای شیلی و آهک‌های شیلی نازک لایه، ماسه سنگ و شیل، آهک‌های مارنی نازک لایه، آهک‌های توده‌ای ضخیم، سنگ‌های آذرین هوازده، دولومیت و شیل عبور می‌کند. ارتفاعات کوه سفید، چاله وان، کوه بزمه، کوه دری، شاهان کوه و کوه دره غول حوضه آبریز مزبور را احاطه کرده‌اند. اندازه‌گیری‌های انجام شده در طول تونل، نشان دهنده نشت حدود ۶۰ لیتر بر ثانیه آب به داخل تونل چشمه لنگان می‌باشد. همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است، به منظور تسهیل و دقت بیشتر در انجام مطالعات، محدوده مورد مطالعه با توجه به وضعیت زمین‌شناسی و شرایط هیدروژئولوژی محدوده، وضعیت کشاورزی و آبرسانی و در نظرگرفتن ملاحظات اجتماعی انتخاب گردید.



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

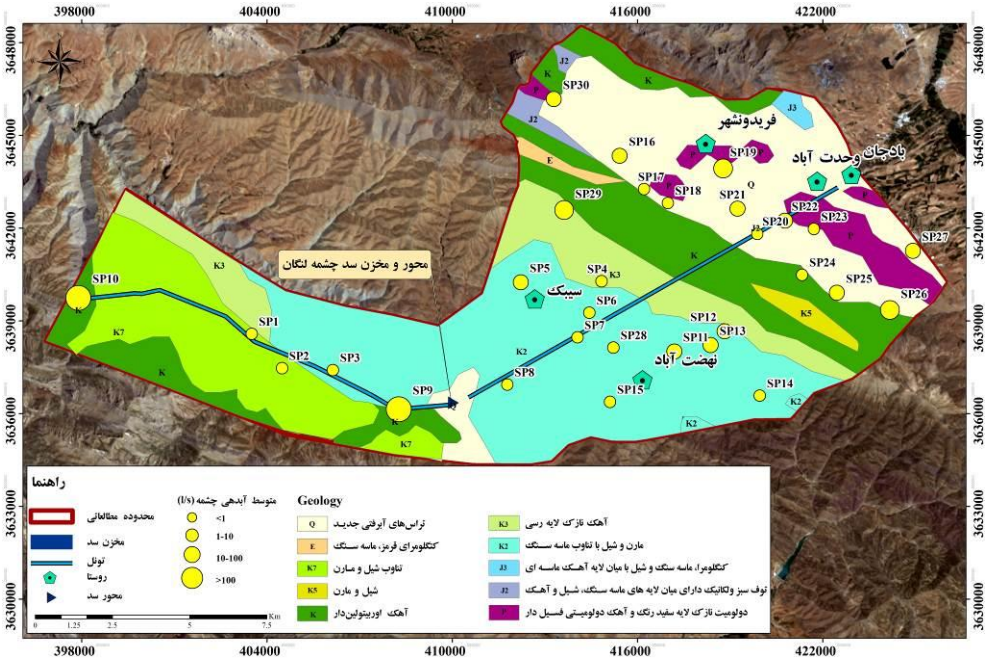
۳. مواد و روش

پس از بررسی‌های زمین‌شناسی، هیدرژئولوژی، کشاورزی و اجتماعی محدوده، گزارش‌ها و آمار و اطلاعات موجود، منابع آبی با اهمیت محدوده انتخاب و اندازه‌گیری آبدهی‌آن‌ها به صورت ماهیانه انجام گردید. قابل ذکر است که برای چشمه‌هایی که در اثر حفاری تونل‌ها کم آب شده‌اند، اطلاعات پیش از تاثیرگذاری استفاده گردیده است. در جدول (۱) مشخصات منابع آبی با اهمیت محدوده ارائه شده و در شکل (۲) موقعیت این منابع نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات منابع آبی با اهمیت محدوده مطالعاتی

Symbol	مختصات			نام چشمه
	X	Y	Z	
SP1	۴۰۳۵۰۶	۳۶۳۸۵۷۹	۲۵۶۱	روستای خرسانک
SP2	۴۰۴۴۸۵	۳۶۳۷۴۷۱	۲۵۵۰	واربید- شماره ۱
SP3	۴۰۶۱۳۱	۳۶۳۷۴۱۰	۲۴۹۲	داد رجان
SP4	۴۱۴۸۲۶	۳۶۴۰۲۸۲	۲۷۰۷	سکو دره
SP5	۴۱۲۲۱۷	۳۶۴۰۲۵۰	۲۴۹۸	قرخه بلاغ
SP6	۴۱۴۴۳۶	۳۶۳۹۲۶۳	۲۵۸۸	مالجرد
SP7	۴۱۴۰۵۲	۳۶۳۸۴۶۹	۲۵۴۵	سرد قایم دره
SP8	۴۱۱۷۷۹	۳۶۳۶۹۳۹	۲۵۵۵	دره برجعلی
SP9	۴۰۸۲۶۲	۳۶۳۶۱۳۸	۲۴۴۰	لنگان
SP10	۳۹۷۸۹۰	۳۶۳۹۷۴۰	۲۵۰۰	خدنگستان
SP11	۴۱۷۱۸۶	۳۶۳۸۰۱۱	۲۶۵۵	قاسم دره
SP12	۴۱۸۸۱۵	۳۶۳۸۶۶۴	۲۷۲۳	سراب نهضت‌آباد
SP13	۴۱۸۳۵۸	۳۶۳۸۲۱۹	۲۷۰۰	موسیری- شماره ۲
SP14	۴۱۹۹۵۱	۳۶۳۶۵۸۳	۲۶۸۹	سه درون شنبه بالا

نام چشمه	مختصات			Symbol
	Z	Y	X	
مزرعه قزل بلاغ- شماره ۱	۲۶۱۹	۳۶۳۶۳۷۹	۴۱۵۱۰۳	SP15
توازهی- شماره ۱و۲و۳	۲۶۱۰	۳۶۴۴۳۴۰	۴۱۵۴۲۰	SP16
لبچیانی- شماره ۲	۲۶۶۶	۳۶۴۳۲۶۴	۴۱۶۲۰۵	SP17
کهریز مزرعه گوگو نانی	۲۷۰۲	۳۶۴۲۸۱۵	۴۱۶۹۷۸	SP18
سراب جوی کریم	۲۴۹۲	۳۶۴۳۹۳۳	۴۱۸۷۶۷	SP19
مزرعه قاضی کناری- شماره ۱	۲۵۶۱	۳۶۴۱۸۱۸	۴۱۹۸۷۴	SP20
مزرعه قاضی پایینی- شماره ۱	۲۵۴۴	۳۶۴۲۶۲۸	۴۱۹۲۳۳	SP21
مزرعه لبدرستانی- شماره ۱	۲۵۵۱	۳۶۴۲۲۴۰	۴۲۰۷۶۸	SP22
کهریز شماره ۴ تنگ سفلی	۲۴۷۶	۳۶۴۱۹۷۵	۴۲۱۷۰۶	SP23
علیدوست	۲۶۳۴	۳۶۴۰۴۹۲	۴۲۱۳۲۷	SP24
سراب وحدت‌آباد	۳۶۱۳	۳۶۳۹۹۱۱	۴۲۲۴۵۰	SP25
بابا حسین	۲۵۶۲	۳۶۳۹۳۵۰	۴۲۴۱۶۵	SP26
انجیل	۲۴۲۰	۳۶۴۱۲۶۶	۴۲۴۹۱۲	SP27
مزرعه زوبیتانی	۲۵۷۵	۳۶۳۸۱۳۹	۴۱۵۲۱۰	SP28
سراب سیبک	۲۵۸۵	۳۶۴۲۵۸۷	۴۱۳۶۲۳	SP29
مای بلاغ	۲۷۵۰	۳۶۴۶۱۷۶	۴۱۳۲۸۷	SP30



شکل ۲. موقعیت منابع آبی با اهمیت محدوده مطالعاتی

به هنگام حفر تونل به دلایل متعددی از قبیل ایجاد شکستگی‌های جدید، قطع مسیر هدایت آب زیرزمینی، قطع و یا باز شدن شکستگی‌های قدیمی و زهکشی آب در تونل، احتمال تغییر در آبدهی منابع آبی وجود دارد. روش DHI روشی برای پیش‌بینی مقدار افت آب در منابع آبی می‌باشد. با پیش‌بینی میزان احتمال افت آب در منابع آبی می‌توان آمادگی لازم برای جلوگیری از این خطر را کسب کرد و یا برنامه‌ای را برای تأمین آب از دست رفته مدون کرد تا مشکل کمبود آب در مناطق تحت خطر رفع شود و در زندگی مردم خللی وارد نگردد. در این روش با در نظر گرفتن پارامترهای اساسی در حفر تونل و برخورد آن با محیط ساختاری منطقه، میزان افت در منابع آبی

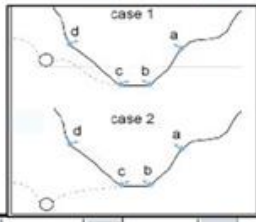
منطقه پیش‌بینی می‌گردد. روش DHI ارائه شده توسط توری و همکاران [10] در واقع تصحیحی بر روش دماتیس و کالماراس [9] است. در شاخص اندازه‌گیری DHI، هشت پارامتر مورد بررسی قرار می‌گیرند که عبارت‌اند از: چهار متغیر کلیدی شامل ویژگی ناپیوستگی‌ها، نفوذپذیری توده سنگ، ارتفاع روباره و زون پلاستیک و چهار متغیر اساسی شامل برخورد گسل اصلی با منابع آبی، انواع منابع آبی، فاصله منبع آبی تا تونل و اثر توپوگرافی. سه پارامتر فاصله گسل اصلی با منابع آبی، انواع منابع آبی، فاصله منابع آبی تا تونل به عنوان پارامتر کلی پتانسیل جریان (PI) معرفی می‌گردند.

ارزش دهی پارامترهای این روش در شکل (۳) آمده است. بر اساس این ارزش دهی‌ها، ابتدا مقادیر پتانسیل جریان (PI) و شاخص ماکزیمم (DHI_{max}) از روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌شود و در نهایت، شاخص خطر افت نهایی از رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$PI= (44FF+ 22MK+ 17OV+ 20PZ)/100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$DHImax =IFmax\times STmax\times DTmax\times ET\ max\times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$DHI= PI\times IF\times ST\times DT\times ET\times 100/ DHImax \quad \text{رابطه (۳)}$$

	Parameter	Condition	Value	Condition	Value	Condition	Value	Condition	Value	Condition	Value	Condition	Value	Condition	Value
Basic Variables	DT	DT>200	1.9	200-500	1.5	500-1000	1.2	1000-5000	1.1	DT>5000	0				
	IF	Not	1	Yes	2										
	TS	Deep	2	Deep and Shallow	1.5	Shallow	1								
	ET														
Key Factors	FF	High	1	Low	0.6	Not	0.1								
	MK	Very High	0.9	High	0.8	High to Medium	0.7	Medium	0.5	Medium to Low	0.4	Low	0.2	Very Low	0.1
	OV	OV<50	0.9	50-100	0.5	100-500	0.2	OV>500	0.1						
	PZ	> Tunnel diameter	1	< Tunnel diameter	0										

case	slope	altitude	ET
1a	0,2	0,2	0,4
1b	0,2	0,2	0,4
1c	1	0,2	1,2
1d	1	1	2
2a	0,2	1	1,2
2b	0,2	1	1,2
2c	1	1	2
2d	1	1	2

شکل ۳. ارزش دهی پارامترهای روش DHI [10]

ناپیوستگی‌ها عامل مهمی در تعیین نفوذپذیری توده سنگ به شمار می‌روند. تراکم از مهم‌ترین ویژگی‌های ناپیوستگی‌ها می‌باشد. برای تعیین ضریب ناپیوستگی‌ها می‌بایست چگالی آن‌ها که عبارت است از تعداد ناپیوستگی‌ها بر واحد متر، تعیین شود. به مناطقی با چگالی بالا ضریب بیشتری اختصاص داده می‌شود. ناپیوستگی‌ها به‌طور کلی شامل گسل‌ها و خطواره‌های یک منطقه می‌باشد. تراوایی توده سنگ بیان‌کننده توانایی توده سنگ در هدایت آب زیرزمینی است که برای آن باید به سنگ‌شناسی و وضعیت شکستگی‌های منطقه توجه کرد. هرچه میزان تراوایی توده سنگ بیشتر شود، ضریب بیشتری به آن اختصاص داده می‌شود (شکل ۳). با افزایش ضخامت روباره، امکان جریان آب به درون تونل کاهش پیدا کرده و ضریب اختصاص داده شده کم می‌شود زیرا به طور معمول با افزایش روباره تاثیر شکستگی‌ها و بازشدگی‌های تکتونیکی نسبت به عمق کاهش پیدا می‌کند. با پوشیده‌شدن رسوبات قدیمی توسط نهشته‌های جدید، تخلخل در اثر سخت‌شدگی و تراکم، با گذشت زمان کاهش پیدا می‌کند. زون پلاستیک ناشی از حفاری تونل، نشان دهنده شکستگی‌های جدید ایجادشده در اثر حفاری است و به نوع حفاری و شعاع تونل بستگی دارد. بر اساس شکل (۳) در صورت برخورد گسل با چشمه مورد نظر،

به این پارامتر ضریب ۱ و در صورت عدم برخورد، ضریب ۲ اختصاص داده می‌شود. از آن‌جایی‌که احتمال برخورد قطعی گسل دقیقا با چشمه کم است، برای اعمال بهتر این پارامتر و انجام مطالعات با جزییات بیشتر، نزدیکی منابع آبی به گسل اصلی به جای برخورد قطعی منابع آبی به گسل در نظر گرفته می‌شود. بر همین اساس برای هر گسل محدوده اثری به طول یک کیلومتر با فواصل ۱۰۰ متری در نظر گرفته شده و طبق آن به محدوده وزن داده شده است. برای پارامتر نوع منبع آبی، سه نوع منبع سطحی، متوسط و عمیق تعریف شده است. منابع سطحی آبدهی کمی دارند و کمتر تحت تاثیر حفاری تونل قرار می‌گیرند و در مقابل منابع عمیق، چشمه‌های پرآب هستند و حفاری تونل بیشترین تاثیر را بر آن‌ها دارد. منابع متوسط هم حالت حدواسط دارند. از دیگر پارامترهای اساسی، فاصله منابع آبی از محور تونل است. هرچه فاصله بین منبع و تونل بیشتر باشد، اثر حفر تونل بر آن کمتر شده و ضریب کمتری نیز به آن اختصاص می‌یابد. همانطورکه در شکل (۳) نشان داده شده است، با توجه به قرارگیری تونل و منابع آبی نسبت به یکدیگر، برای هر منبع ضریب مشخصی برای اثر توپوگرافی در نظر گرفته می‌شود. سه پارامتر فاصله گسل اصلی با منابع آبی، انواع منابع آبی، فاصله منابع آبی تا تونل به عنوان پارامتر کلی پتانسیل جریان (PI) معرفی می‌گردند. در این روش، طبق مقادیر محاسبه شده برای شاخص خطر افت، ۴ رده‌بندی برای پیش‌بینی کاهش آبدهی منابع آبی وجود دارد که از قابل چشم پوشی تا افت خیلی زیاد یا کامل آبدهی می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۲- وضعیت افت منابع آبی بر اساس روش DHI [10]

پیش‌بینی کاهش آبدهی	DHI محاسبه شده
قابل چشم پوشی	DHI < 0.1
کم	0.1 < DHI < 0.2
متوسط	0.2 < DHI < 0.3
زیاد	DHI > 0.3

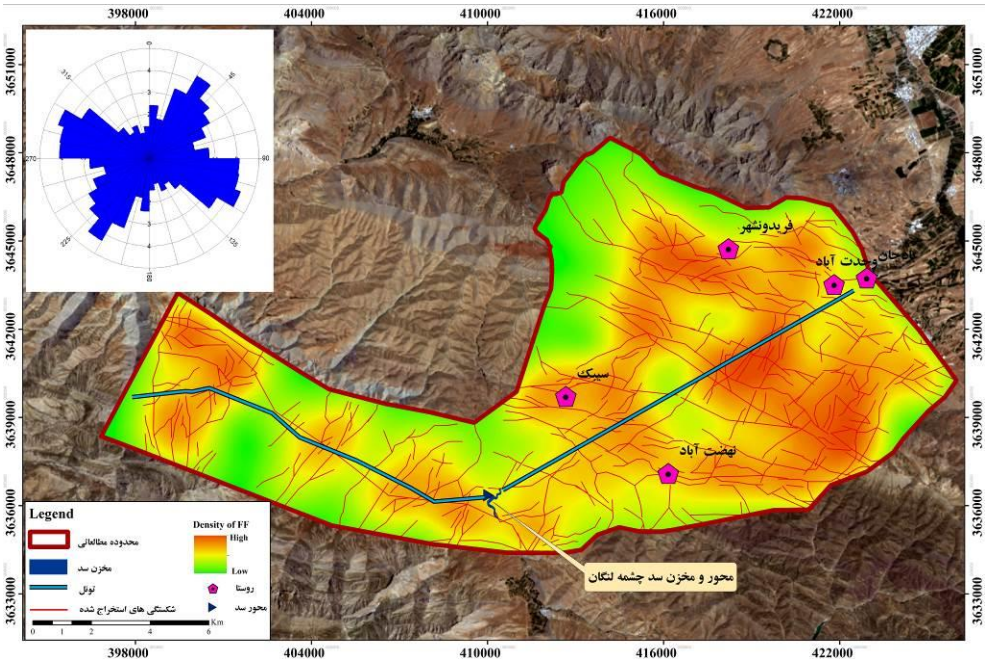
۴. بحث و نتایج

حفر تونل‌های زیرزمینی به هر منظور، باعث تغییر در شرایط هیدروژئولوژیکی ناحیه شده و طبیعتا ممکن است اثر خود را بر منابع آبی منطقه به‌صورت کاهش آبدهی نشان دهد. همانطور که پیش‌تر نیز گفته شد، با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و وضعیت پراکندگی منابع آبی در محدوده تونل‌های چشمه لنگان و خدنگستان، مناسب‌ترین محدوده‌ای در اطراف محور تونل‌ها که احتمال اثر حفاری بر منابع آبی وجود دارد و تمامی منابع آبی با اهمیت در آن قرار می‌گیرند، به عنوان محدوده تاثیر نمایه خطر افت انتخاب و تمامی مطالعات در این محدوده انجام شدند. در واقع هدف از این پژوهش بررسی میزان اثرگذاری احداث تونل بر تغییرات آبدهی چشمه‌ها در محدوده مورد مطالعه می‌باشد.

۱.۴. ویژگی ناپیوستگی‌ها (FF)

شکستگی‌های اصلی منطقه شامل خطواره‌ها و گسل‌های اصلی می‌شوند که نقش مهمی در نشت و حرکت آب به سمت تونل دارند. برای استخراج اتوماتیک خطواره‌ها از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی و بازدیدهای میدانی استفاده شده است. جهت استخراج خطواره‌ها، تصحیح رادیومتری، تصحیح اتمسفری و افزایش توان تفکیک مکانی تصویر از ۳۰ به ۱۵ متر و در نهایت بارزسازی تصویر با استفاده از تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست در نرم‌افزار ENVI 5.6 انجام و بعد از انجام این مراحل، تصویر تصحیح شده برای استخراج خطواره‌ها به نرم‌افزار Geomatica2017 منتقل گردید. سپس به منظور ساماندهی خطواره‌های استخراج شده و تبدیل آن‌ها به شکلی که قابل تصحیح و جهت‌یابی باشند، به محیط نرم‌افزار ArcGIS منتقل شدند. در نهایت برای رسم نمودار گل‌سرخی خطواره‌های استخراج شده از نرم افزار RockWork17 استفاده شده و پس از مرتب‌کردن داده‌ها، نمودار گل‌سرخی خطواره‌ها تهیه شد. روش اتوماتیک به تنهایی نمی‌تواند یک روش قابل اطمینان برای استخراج خطواره‌ها باشد زیرا در این روش تمامی خطواره‌های طبیعی و مصنوعی اعم از راه‌ها، جاده‌ها، ساختمان‌های خطی و خطوط انتقال در نظر گرفته می‌شوند [3]. در نتیجه از روش

نیمه اتوماتیک نیز استفاده گردید و تا حد امکان به کمک تطبیق خطواره‌های استخراج شده با تصویر ماهواره‌ای منطقه، خطواره‌های استخراجی تصحیح شدند و در نهایت نقشه چگالی خطواره‌ها رسم و برای تعبیر و تفسیر دقیق‌تر از بیشترین به کمترین چگالی تقسیم‌بندی گردید (شکل ۴).



شکل ۴. نقشه چگالی شکستگی‌ها و نمودار گل سرخی شکستگی‌ها در محدوده مطالعاتی

۲.۴. زون پلاستیک (PZ)

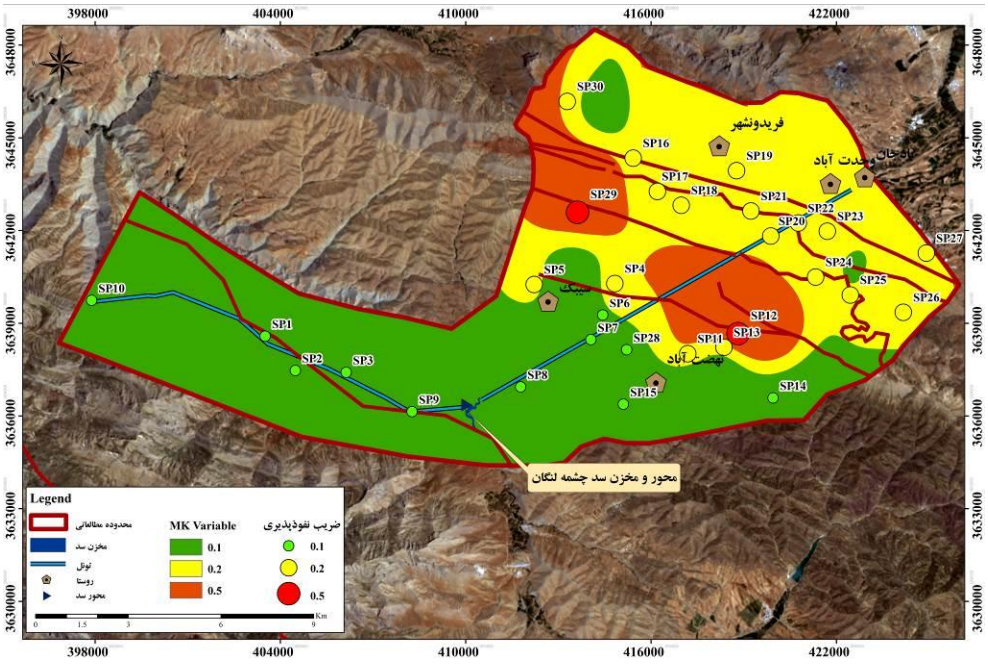
حفر تونل سبب تغییر در شبکه شکستگی‌های اطراف می‌شود و به قطر تونل و جنس سنگ‌ها در اطراف تونل بستگی دارد. با توجه به روش حفاری تونل‌ها، جنس سنگ‌های اطراف تونل و قطر تونل‌های چشمه لنگان و خدنگستان و ثابت بودن آن در طول مسیر، زون پلاستیک از قطر تونل‌ها کمتر بوده و بر اساس رده‌بندی موجود برای زون پلاستیک در روش DHI، به این لایه وزن صفر اختصاص می‌یابد (شکل ۳).

۳.۴. نفوذپذیری توده سنگ (MK)

تراوایی توده سنگ عبارت از توانایی توده سنگ در هدایت آب زیرزمینی می‌باشد. برای مشخص کردن مقادیر این پارامتر برای هرکدام از لیتولوژی‌های محدوده با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی و شکستگی سازندها و همچنین استفاده از اطلاعات گمانه‌های مسیر تونل‌ها و آزمایش‌های نفوذپذیری در هر واحد سنگ شناسی (لوژن) وزنی داده می‌شود که افزایش مقدار این ضریب به معنی افزایش تراوایی توده سنگ می‌باشد. نحوه وزن‌دهی به این پارامتر در جدول (۳) ارائه شده است. در نهایت بر حسب ضرایب نفوذپذیری، نقشه نفوذپذیری رستری شده از نفوذپذیری کم به زیاد رده‌بندی شد (شکل ۵).

جدول ۳. وزن‌دهی پارامتر نفوذپذیری

درجه نفوذپذیری	وزن	مقدار نفوذپذیری (m/s)
خیلی کم	۰/۱	$<10^{-6}$
کم	۰/۲	10^{-5}_10^{-6}
متوسط	۰/۵	10^{-4}_10^{-5}
خیلی زیاد	۰/۹	$>10^{-4}$



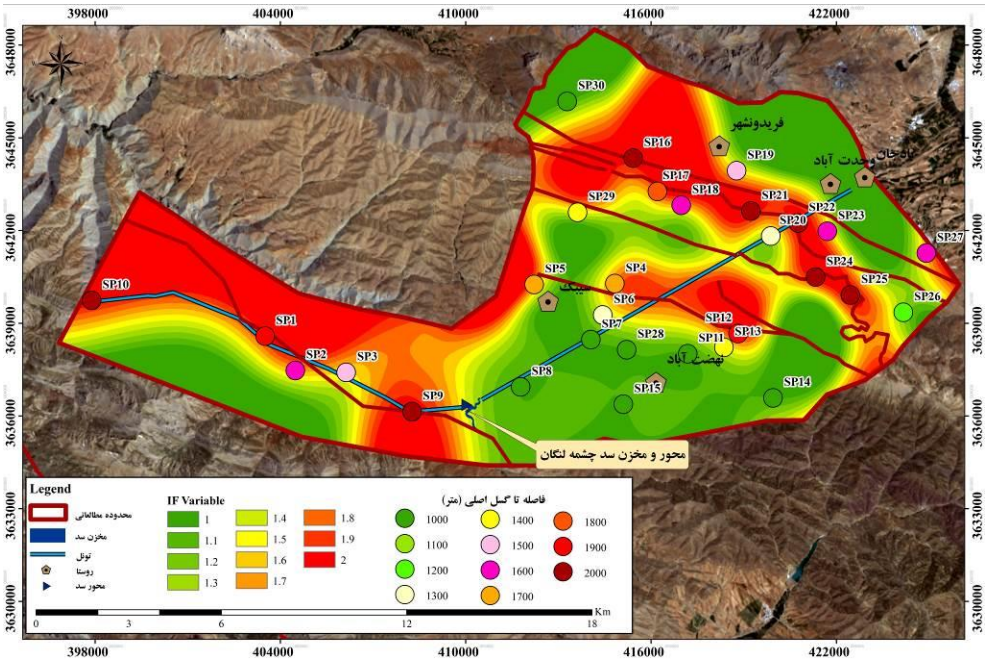
شکل ۵. نقشه نفوذپذیری در محدوده مطالعاتی

۴.۴. تقاطع گسل اصلی با منابع آبی (IF)

برای تعیین این پارامتر به موقعیت منابع آبی موجود در منطقـه و شکستگی‌های اصلی نیاز است. از آن جهـت کـه احتمال برخورد قطعی گسل با منابع آبی بسیار پایین است و دست‌خوش خطاهایی نیز در نقشه‌برداری‌ها می‌گردد، تا فاصله یک کیلومتری اطراف گسل‌ها به ۱۱ منطقه بافرگذاری شده و به هرکدام ضریبی از ۱ تا ۲ داده شده است (جدول ۴). قابـل ذکـر اسـت کـه که با توجه به اینکه افزایش فاصله منابع آبـی از گسل باعث کاهش تاثیر حفر تونل بر منـابع آبـی‌می‌شود، در رده‌بندی و تهیه نقشه معیار این لایه، ترتیب معکوس وزن‌دهی رعایت گردیده است (شکل ۶).

جدول ۴. وزن‌دهی پارامتر فاصله منابع آبی از گسل اصلی

فاصله گسل از چشمه (متر)	وزن
۰-۱۰۰	۲
۱۰۰-۲۰۰	۱/۹
۲۰۰-۳۰۰	۱/۸
۳۰۰-۴۰۰	۱/۷
۴۰۰-۵۰۰	۱/۶
۵۰۰-۶۰۰	۱/۵
۶۰۰-۷۰۰	۱/۴
۷۰۰-۸۰۰	۱/۳
۸۰۰-۹۰۰	۱/۲
۹۰۰-۱۰۰۰	۱/۱
>۱۰۰۰	۱



شکل ۶. نقشه فاصله منابع آبی از گسل اصلی در محدوده مطالعاتی

۵.۴. وزن روباره (OV)

افزایش وزن روباره در عمق باعث بسته‌شدن شکستگی‌ها می‌شود و امکان جریان آب کاهش پیدا می‌کند. برای تهیه نقشه وزن روباره تونل، ابتدا از تفاضل مدل رقومی ارتفاعی منطقه و تراز تونل، ارتفاع روباره حاصل گردید و با ضرب آن در چگالی لیتولوژی‌های مختلف، وزن هر کدام به‌دست آمد. قابل ذکر است که با توجه به اینکه افزایش وزن روباره باعث کاهش تاثیر حفر تونل بر منابع آبی می‌شود، در رده‌بندی و تهیه نقشه معیار این لایه، ترتیب معکوس وزن‌دهی رعایت شده است (شکل ۷).

۶.۴. نوع منبع آبی (TS)

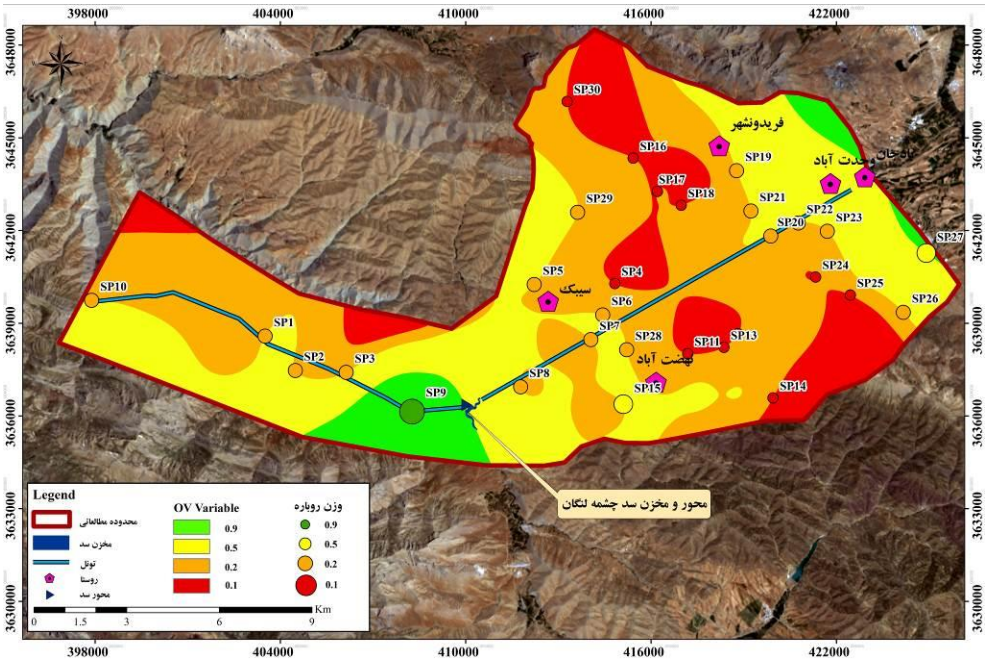
در روش DHI منابع آبی (شامل: چاه، چشمه و قنات) به سه نوع سطحی، متوسط و عمیق تقسیم‌بندی می‌شوند. بدیهی است هرچه منابع آبی موجود در منطقه از تراز عمیق‌تری منشا گرفته باشند، آبدهی بیشتری دارند و معمولا دائمی هستند. اکثر منابع آبی موجود در محدوده مطالعاتی، دارای آبدهی پایین و سطحی هستند. با توجه به نوع منبع آبی و میزان آبدهی، ارزش‌دهی چشمه‌ها طبق جدول (۵) انجام شده است. در شکل (۸) نقشه رده‌بندی‌شده نوع منابع آبی نمایش داده شده است.

جدول ۵. وزن‌دهی پارامتر نوع منبع آبی

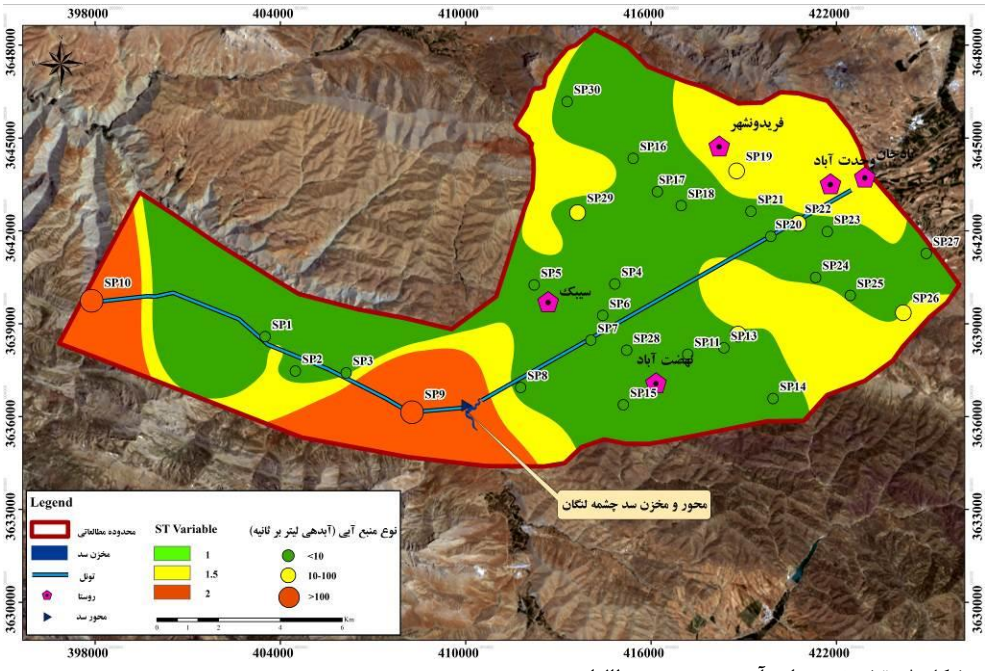
نوع منبع آبی	وزن	مقدار تخلیه (l/s)
عمیق	۲/۰	<۱۰
حدواسط	۱/۵	۱۰-۱۰۰
سطحی	۱/۰	>۱۰۰

۷.۴. فاصله منابع آبی از تونل (DT)

فاصله منابع آبی از تونل یکی دیگر از پارامترهای روش DHI می‌باشد که طبق روش توری و همکاران هرچه این فاصله بیشتر باشد، تاثیر تونل کمتر شده و وزن کمتری به آن اختصاص می‌یابد. قابل ذکر است که با توجه به اینکه افزایش فاصله منابع آبی از تونل باعث کاهش تاثیر حفر تونل بر این منابع می‌شود، در رده‌بندی این لایه، ترتیب معکوس وزن‌دهی بایستی رعایت گردد.



شکل ۷. نقشه وزن رویاره در محدوده مطالعاتی



شکل ۸. نقشه نوع منابع آبی در محدوده مطالعاتی

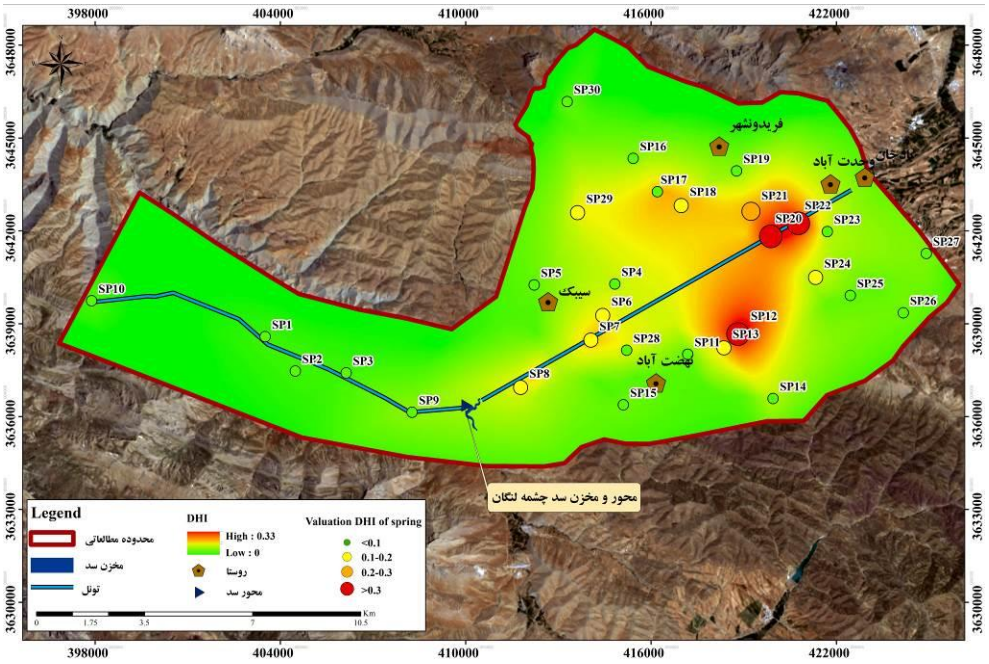
۸.۴. اثر توپوگرافی (ET)

برای تعیین اثر توپوگرافی، ابتدا با استفاده از وزن‌های پیشنهادی طبق روش DHI که در شکل (۳) نیز ارائه گردیده است، با توجه به موقعیت قرارگیری چشمه‌ها نسبت به تونل و توپوگرافی محدوده تونل چشمه لنگان، چشمه‌های محدوده در حالت‌های 2a ، 2b، 2c و 2d رده‌بندی گردید و رتبه ۱.۲ تا ۲ به منابع آب مسیر تونل اختصاص یافت. برای چشمه‌های مسیر تونل خدنگستان با توجه به موقعیت و

تراز تونل نسبت به سطح آب زیرزمینی، توپوگرافی در حالت‌های 1a، 1b، 1c، 1d رده بندی گردید و رتبه ۰/۴ تا ۱.۲ به منابع آب این محدوده اختصاص یافته است.

۹.۴. نمایه خطر افت منابع آبی (DHI)

با توجه به پارامترهای به دست‌آمده در این مرحله می‌بایست تاثیر حفر تونل‌ها بر روی آبدهی منابع آبی با توجه به شاخص DHI محاسبه گردد. به همین جهت، خطر افت منابع آبی محدوده مطالعاتی با استفاده از ضرایب به دست آمده برای پارامترهای مختلف و جاگذاری در معادلات (۱) تا (۳) برآورد می‌گردد. حاصل معادله در چهار رده تقسیم‌بندی می‌شود که با تفسیر آن‌ها می‌توان تاثیرات حفر تونل‌های چشمه لنگان و خدنگستان بر تغییرات آبدهی منابع آبی را پیش‌بینی نمود. نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی خطر افت منابع آبی و رده‌بندی خطر افت آن‌ها بر اساس روش اجراشده در شکل (۹) ارائه گردیده است.



شکل ۹. نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر افت منابع آبی در محدوده تونل‌های چشمه لنگان و خدنگستان

۵. نتیجه‌گیری

بر اساس پارامترها و لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده، تاثیر حفر تونل‌های چشمه لنگان و خدنگستان بر منابع آبی منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش DHI توری و همکاران (۲۰۰۷) پیش‌بینی گردید. با توجه به تعیین ضریب ۸ پارامتر ویژگی ناپیوستگی‌ها، زون پلاستیک، نفوذپذیری توده سنگ، تقاطع گسل اصلی با منابع آبی، وزن روباره، نوع منبع آبی، فاصله افقی منبع آبی تا تونل و اثر توپوگرافی و نقشه‌های معیار آن‌ها، رده‌بندی خطر افت منابع آبی محدوده مطالعاتی حاصل گردید. طبق نتایج به دست آمده، خطر افت آبدهی منابع آبی در بدترین حالت ممکن برای حدود ۶۳/۳ درصد از منابع آبی کمتر از ۰/۱ برآورد گردیده و نشان دهنده تاثیر ناچیز و قابل چشم‌پوشی تونل بر این منابع می‌باشد. حدود ۲۳/۳ درصد از منابع کاهش آبدهی در حد کم را نشان داده و DHI محاسبه شده برای آن‌ها بین ۰/۱ تا ۰/۲ می‌باشد. مقدار DHI محاسبه شده برای ۳/۳ درصد از منابع بین ۰/۲ تا ۰/۳ برآورد گردیده که این منبع با کاهش آبدهی در حد متوسط مواجه و مربوط به چشمه مزرعه قاضی پایینی- شماره۱ است. همچنین حدود ۱۰ درصد از منابع آبی منطقه با افت آبدهی زیادی مواجه بوده و مقدار DHI محاسبه شده برای آن‌ها بیش از ۰/۳ برآورد شده است که این مقادیر مربوط به چشمه‌های سراب نهضت‌آباد، مزرعه قاضی کناری- شماره ۱ و مزرعه لبدرستانی- شماره ۱ می‌باشد. بازدیدهای انجام شده از منابع آبی، تحقیق از مردم

محلی منطقه در خصوص آبدهی چشمه‌ها پیش و پس از حفاری، آمار و اطلاعات موجود و وضعیت کنونی منابع آبی محدوده، تایید کننده این نتایج می‌باشد.

منابع

[1] عطیه مجیری، ۱۳۹۹. تعیین منشا آب ورودی به تونل سوم کوهرنگ و چشمه‌های اطراف با تاکید بر مطالعات ایزوتوپی و هیدروشیمی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

[2] راحله جاماسب بالاشهری، ۱۳۹۳. پیش‌بینی تاثیر حفر تونل گلاس (آذربایجان غربی) بر آبدهی چشمه‌های منطقه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

[3] میثم حاجی‌زاده، ۱۳۹۸. تاثیر ساخت تونل انتقال آب طالقان بر منابع آبی و برآورد آب ورودی به تونل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

[4] Monjoie, A., 1990. Impacts des travaux souterrains profonds sur les nappes aquifers en region montagneuse, Mem , 22nd Congress of IAH. 10, 1208-1232.

[5] Olofsson, B., 1991. Impact on groundwater conditions by tunneling, A state of the art report Royal Institute of Technology, Dept of Land and Water Resources, TRITAKUT, 91-1061.

[6] Pelizza, S., 1991. Scavi sotteranei ed acqua: un caso di ripristino della situazione idrogeologica, Boll, Ass, Mineraria Subalpina. no.3.

[7] Cesano, D., 2001. Water leakage into underground constructions in fractured rocks using geological and hydrological information as a basis for prediction, Phd Thesis at the Royal Institute of Technology, Stokholm.

[8] Jiao, Y., 1995. Formalizing the system approach to rock engineering, Phd Thesis, Imperical College of Science, Technology and Medicine, University of London.

[9] Dematteis, A., Kalamaras, A., 2001. A systems approach for evaluation springs drawdown due to tunneling, AITES/ITA World Tunnel, Congress, Italy.

[10] Torri, R., Dematteis, A., Delle Piane, L., 2007. Drawdown hazard of springs and wells in tunneling: predictive model and verification, Atti XXXV Congresso IAH, Groundwater and Ecosystems. Lisbona, 17-21.

.