تأثیر حفاری تونل خط شش مترو تهران بر آب‌های زیرزمینی و چشمه‌علی شهرری

حمیدرضا ناصری [۱]، کوشا تمیمی *[۲]، فرشاد علیجانی [۳]، صادق طریق ازلی [۴]

۱. استاد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
۳. استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
۴. دانش‌آموخته دکتری، مدیر عامل شرکت مهندسین مشاور رهساز طرح

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۵

چکیده

توسعه فعالیت‌های حمل و نقل زیرزمینی در شهر نظیر حفر تونل ممکن است آب‌های زیرزمینی و چشمه‌های این مناطق را به صورت کوتاه‌مدت و یا بلندمدت تحت تأثیر قرار دهد. حفر تونل خط شش متروی تهران در آبرفت و سنگ‌آهک‌های شمال چشمه علی شهرری به علت ایجاد نوسانات در آبدهی چشمه و خشک شدن مقطعی آن موجب بروز نگرانی شده است. برای یافتن ارتباط بین چشمه علی و آبخوان اصلی تغذیه‌کننده آن ویژگی‌های هیدروشیمیایی آب زیرزمینی و حوضه آبگیر چشمه بررسی شد. با کمک روش‌های تحلیلی نشت آب به تونل و روش DHI، مقدار تخمینی نفوذ آب به تونل و بیشترین منطقه تأثیرپذیر از این نشت آب به تونل مشخص و به منظور بررسی تغییرات آبدهی چشمه با میزان بارش در گستره، آمار بارش با تغییرات آبدهی چشمه در زمان‌های قبل و بعد از حفاری تونل مترو مقایسه شد. نتایج پژوهش نشان داد که حفاری تونل مترو تأثیر قابل‌توجهی بر روی سیستم هیدروژئولوژی منطقه و آبدهی چشمه‌علی گذاشته و ادامه حفاری ممکن است تأثیر منفی بر روی دبی دیگر چشمه‌ها و چاه‌های منطقه نیز داشته باشد و سیستم جریانی منطقه را به طور موقت و یا برای همیشه دگرگون کند.

کلیدواژه‌ها: چشمه‌علی، تونل مترو، خط شش مترو تهران، کارست، هیدروژئوشیمی، DHI.

مقدمه

فعالیت‌های انسانی زیرزمینی نظیر حفر تونل در نواحی شهری می‌تواند شرایط هیدروژئولوژیک و هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی این مناطق را به‌صورت کوتاه‌مدت و یا بلندمدت تحت تأثیر قرار دهد (Dassargues, 1997 ; Marinos and Kavvadas, 1997 ; Merrick and Jewell, 2003 ; Bonomi and Bellini, 2003 ; Ricci et al., 2007; Chae et al., 2008; Deveughèle et al., 2010; Font-Capo et al., 2011; Pujades et al., 2012; Butscher, 2012; Yoo et al., 2012; Boukhemacha et al., 2015; Attard et al., 2016; Colombo et al., 2017; Serrano-Juan et al., 2018; Fiorillo et al., 2019). این تغییرات آب زیرزمینی متعاقباً می‌تواند اثراتی به کیفیت و کمیت آب‌های سطحی، چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها به همراه داشته باشد.(Vincenzo et al., 2009) به علاوه حضور آب در ساخت سازه‌های زیرزمینی مهندسی عمران یا معدن می‌تواند یک چالش جدی محسوب شود (Gisbert et al., 2009). بررسی تأثیر متقابل اجرای سازه‌های زیرزمینی و منابع آب زیرزمینی از جنبه‌های مختلفی در برنامه‌ریزی ساخت سازه‌های زیرزمینی از اهمیت به سزایی برخوردار است.

خط شش متروی تهران از خطوط شبکه مترو شهری تهران است و احداث و بهره‌برداری از آن با توجه به ظرفیت جابه‌جایی روزانه یک میلیون و ۱۹ هزار نفر منجر به کاهش بخش قابل‌توجهی از ترافیک محورهای شمالی و جنوبی تهران و تسهیل

* نویسنده مسئول: kooshatamimi007@gmail.com
DOI: http://doi.org/10.22034/JEG.2023.17.3.1019511

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019511]

دسترسی به شمال و جنوب تهران می‌شود. تونل خط شش متروی تهران با طول ۳۵ کیلومتر پس از تکمیل نهایی دارای ۳۰ ایستگاه و بلندترین خط مترو زیرزمینی خاورمیانه خواهد شد (RCE[۱], 2018). در اطراف مسیر حفاری تونل خط شش متروی تهران یکی از مهم‌ترین آثار طبیعی ایران با نام چشمه‌علی شهرری در مختصات UTM[۲]، **X**= ۵۴۰۳۰۲ و **Y**=۳۹۴۰۴۸۷ واقع شده است. زمانی که شهر تهران آب لوله‌کشی نداشت، بخشی از آب این چشمه کارستی به مصرف شرب می‌رسید اما باگذشت زمان، هرچند که آب لوله‌کشی، شهروندان را از آشامیدن آب چشمه‌علی بی‌نیاز کرد ولی چشمه‌علی به عنوان یک شاهرگ حیاتی منطقه جنوب شرق تهران در آبیاری مزارع و باغ‌ها (آبیاری بیش از ۴۰۰ هکتار از زمین‌های سبزی‌کاری) و به عنوان تفرجگاه و اثر تاریخی(قلعه ری و نقش برجسته قاجاری) هنوز نقش مؤثر خود را ایفا می‌کند (RCE, 2018; Bavarsad et al., 2016). عبور تونل مترو خط شش از کنار آبرفت و سنگ‌آهک‌های شمال چشمه‌علی که با ایجاد نوسانات در آبدهی و خشک شدن موقتی آن همراه شده است، موجب بروز نگرانی فراوان شده است. آبدهی این چشمه به طور مستقیم و غیرمستقیم بر زندگی مردم تأثیرگذار است؛ بنابراین در این مقاله سعی بر آن شده تا تأثیر حفر تونل خط شش مترو تهران بر چشمه‌علی بررسی شود. پیش‌بینی این تأثیرات می‌تواند گام مهمی برای برنامه‌ریزی و همچنین ایجاد راهکاری جهت تعدیل اثرات سوء حفر این تونل باشد. درباره تأثیر حفر تونل خط شش متروی تهران بر روی چشمه‌علی شهرری ۳ سناریو وجود دارد:

سناریو اول: چشمه‌علی از یک آبخوان کارستی منشأ می‌گیرد و ارتباطی با آبخوان‌های آبرفتی اطراف ندارد. حفاری تونل خط شش متروی تهران که در بیشتر مسیرش از آبرفت‌ها عبور می‌کند تأثیری در نوسانات چشمه ندارد، بنابراین علت خشک شدن و نوسانات آب چشمه، تغییرات اقلیمی و کاهش بارندگی در سال‌های اخیر است.

سناریو دوم: علت خشک شدن و نوسانات آب چشمه‌علی، عبور بخشی از مسیر حفاری تونل خط شش متروی تهران به طول حدود ۱۰۰۰ متر از میان سنگ‌آهک‌های کارستی تغذیه‌کننده چشمه است. این مشکل به علت نشت آب به تونل و موقت است و پس از تکمیل حفر تونل در ناحیه سنگی (سگمنت‌گذاری و آب‌بندی تونل) رفع می‌شود و چشمه به آبدهی طبیعی بر می‌گردد.

سناریو سوم: آبدهی چشمه‌علی به صورت کامل و دائمی تحت تأثیر حفاری تونل خط شش مترو قرار گرفته است. حفاری تونل به منابع تغذیه چشمه شامل آبخوان کارستی و آبخوان آبرفتی آسیب جدی زده است و حتی پس از تکمیل حفر تونل، سگمنت‌گذاری، آب‌بندی تونل و افزایش بارش در منطقه دیگر چشمه به آبدهی طبیعی باز نخواهد گشت و احتمالاً برای همیشه خشک خواهد شد.

مواد و روش‌ها

گام ابتدایی در شناسایی مخاطرات ناشی از ساخت سازه‌های تونل مترو بر رژیم هیدرولیکی حاکم، شناخت منطقه و بررسی منابع آبی به منظور تعیین محدوده تأثیرگذار است (Bobylev, 2009).برای تعیین تأثیر حفاری بر جریان آب چشمه، لازم است آبخوان و یا آبخوان‌های تغذیه‌کننده چشمه مشخص شوند. به این منظور ابتدا با کمک داده‌های شیمی آب چاه‌ها و چشمه‌علی (جدول ۱) ارتباط آبخوان‌های کارستی و آبرفتی با یکدیگر و با چشمه‌علی بررسی می‌شود که اطلاعات خوبی درباره وضعیت زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه و شاخص‌های تغذیه، تخلیه و ذخیره آب زیرزمینی می‌دهند (Walton, 1970). برای یافتن ارتباط، نتایج سنجش نمونه‌های آب آبخوان آبرفتی (چاه شمالی ممتاز و چاه جنوبی علایین) و آب چشمه‌علی نمودارهای منشأ و تکامل هیدروژئوشیمیایی (جعبه‌ای، گیبس و مثلثی کلر – بی‌کربنات – سولفات) و نمودارهای مشخص‌کننده

Rahsaztarh Conculting Engineers[۱]

Universal Transverse Mercator coordinate system[۲]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019511]

تیپ آب و روند هیدروژئوشیمیایی (پایپر) رسم شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزارهای Aquachem 4.0 و Rock AqQA استفاده شد. تعادل یونی برای تمام نمونه‌ها کم‌تر از ۵ ٪ بود. بر این اساس، نتایج سنجش‌ها قابل‌قبول و قابل‌اعتماد برآورد شد.

پیش‌بینی میزان نفوذ آب به تونل به علت اهمیت در تخمین تأثیر محیط زیستی میزان نشت آب همواره مهم است. هرچه میزان نشت به تونل بیشتر باشد احتمال آسیب به آبخوان بیشتر می‌شود. آب زیرزمینی از طریق ناپیوستگی‌ها و درزه‌های موجود در توده سنگ به داخل تونل راه پیدا می‌کند اما از طرفی تخمین دقیق جریان آب زیرزمینی به داخل تونل‌های سنگی بسیار مشکل است (Park, 2008). روش‌های تحلیلی نقش کلیدی در تخمین سریع و اولیه میزان جریان نفوذی به تونل ایفا می‌کنند (Gattinoni, 2010).

در روش‌های تحلیلی (Karlsrud, El Tani, 1999;;Lei, 1999 ;Freeze and Cherry, 1979 ;Goodman et al., 1965) 2001 با تکیه بر مطالعات حاکم بر جریان آب و با در نظر گرفتن عواملی مانند تراوایی توده سنگ، شعاع تونل، ارتفاع روباره و سایر عوامل درگیر، میزان جریان آب ورودی به تونل به صورت تخمینی محاسبه می‌شود. مسیر تونل بر اساس نفوذپذیری و تراز آب زیرزمینی به ۱۱ پهنه (۱۰ پهنه آبرفتی و یک پهنه سنگی) تفکیک و میزان نشت آب به هر پهنه با کمک روش‌های تحلیلی محاسبه شده است (جدول ۲).

تأثیر آب‌های زیرزمینی بر روی تونل به طور گسترده توسط پژوهشگران موردبحث قرار گرفته اما مطالعه بر روی تأثیر حفر تونل بر آبخوان در سال‌های اخیر در پروژه‌های طراحی گنجانده شده است (Cesano, 2001 و Olofsson, 1991). با استفاده از روش نمایه خطر افت (DHI[۳]) می‌توان تأثیر حفر تونل بر منابع آبی و بیشترین منطقه تأثیرپذیر از حفاری را پیش‌بینی کرد Yoo, (2004 و Dematteis and Kalmaras, 2001). هدف کلی DHI، ارزیابی رفتار سیستم در برخورد تونل با جریان آب زیرزمینی است. اساس این روش کاربردی، مهندسی سنگ و متغیرهای اساسی در سیستم تونل-آبخوان است، که از طریق رابطه علت و معلولی در مدل دوتایی به دست می‌آید (Jiao, 1995). به این منظور ابتدا اطلاعات و داده‌های موردنیاز، جمع‌آوری شد و به منظور تلفیق با یکدیگر، هم‌مقیاس و تبدیل به نقشه‌های معیار شدند. درنهایت برحسب وزنی که هرکدام از لایه‌های اطلاعاتی در پهنه‌بندی نهایی دارند، با یکدیگر تلفیق و نقشه خطر نهایی تهیه و یا کمک نرم‌افزار ArcGIS 10.2 رسم شد.

[۳] Drawdown Hazard Index

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019511]

جدول ۱. اطلاعات هیدروشیمیایی چشمه‌علی و چاه شمالی ممتاز و چاه جنوبی علایین

Table 1. Hydrochemical information of the Ali Spring, north (Momtaz) well, and south (Alaeen) well

Source	Year	Month	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	Na (meq/l)	HCO_3 (meq/l)	SO_4 (meq/l)	Cl (meq/l)	pH	EC (micromohs/cm)	TDI (meq/l)
North Well	2006	May	2.17	1.64	3.68	1.83	3.4	1.99	7.68	745.2	14.71
North Well	2010	July	2.32	1.47	4.85	2.99	3.38	2.24	7.9	878.9	17.25
North Well	2012	May	2.43	2.36	3.34	3	2.14	2.8	8.22	767	16.07
North Well	2013	May	4.46	3.47	3.93	6.48	2.14	3.06	8.06	1134	23.54
Ali Spring	2006	May	2.74	1.5	9.62	4.28	6.31	2.57	7.68	1404.9	27.02
Ali Spring	2010	July	5.41	4.2	6.13	5.65	6.21	4.34	7.9	1583.55	31.94
Ali Spring	2012	May	5.86	1.46	6.38	5.5	3.73	4.5	8.22	1384	27.43
Ali Spring	2013	May	5.08	3.71	7.39	5.39	8.73	2.86	8.06	1618	33.16
South Well	2006	May	5.55	4.01	8.68	7.93	5.82	3.71	7.68	1962	35.7
South Well	2010	July	8.84	4.59	6.94	7.42	5.7	6.46	7.9	2057	39.95
South Well	2012	May	7.8	2.8	6.43	4.28	5.31	7	8.22	1668	33.62
South Well	2013	May	7.18	3.02	9.93	4.8	8.31	6.11	8.06	1976	39.35

جدول ۲. اطلاعات میزان نفوذ آب به پهنه‌های آبرفتی(H1تاH10) و پهنه سنگی(R) تونل خط شش مترو

Table 2. TML6 zones information and the volume of groundwater inflows into each tunnel zone

Tunnel Metro Line 6						Analytical Methods Q (lit/sec/zone)					
Zone	Length (m)	Depth to bedrock (m)	Distance from surface (m)	Hydrualic head (m)	K (m/s)	Goodman 1965	Freeze & Cherry 1979	Lei 1999	El Tani-1 1999	Karlsrud 2001	Average
H-1	505	60	10	0	1.14×10^{-7}	0	0	0	0	0	0
H-2	128	30	16	4	4.15×10^{-7}	4.59	2.41	4.89	0.48	1.47	2.8
H-3	138	30	20	13	1.20×10^{-6}	8.78	7.81	9.08	7.44	7.44	8.2
R	1115	0	25	12	5.69×10^{-7}	33.16	28.95	33.46	27.36	27.37	30.1
H-4	348	20	10	10	7.41×10^{-6}	133.49	110.06	133.79	101.58	101.67	116.2
H-5	220	60	10	14	1.40×10^{-7}	1.67	1.51	1.97	1.44	1.44	1.7
H-6	258	110	20	20	7×10^{-7}	11.12	10.51	11.42	10.28	10.28	10.8
H-7	382	140	20	24	7.74×10^{-7}	19.84	19.01	20.14	18.72	18.72	19.3
H-8	540	160	18	25	1.77×10^{-6}	65.6	63.04	65.9	62.12	62.12	63.8
H-9	250	180	16	4	3.54×10^{-7}	7.64	4.01	7.94	0.8	2.45	4.6
H-10	2597	200	20	0	3.55×10^{-7}	0	0	0	0	0	0

میزان آب ورودی به هر آبخوان به شرایط اقلیمی بستگی دارد. شرایط اقلیمی تنوع بسیاری در سری‌های زمانی فصلی سالانه و دهه‌ای دارد. شواهد ثبت اطلاعات هیدرولوژیک نشان می‌دهد ناهنجاری‌های هیدرولوژیکی امروز تکرار ناهنجاری‌های اقلیمی گذشته است. با بررسی شرایط و ناهنجاری‌های بلندمدت اقلیمی یک منطقه می‌توان تا حد خوبی شرایط و ناهنجاری‌های آن

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.101951]

منطقه را پیش‌بینی کرد (Croley et al., 2003; Ionita et al., 2011; Souza Filho et al., 2003; Arnell et al., 1993). به‌منظور بررسی تغییرات آبدهی چشمه با میزان بارش در گستره موردمطالعه، ایستگاه هواشناسی مرا که نسبت به بقیه ایستگاه‌ها به چشمه‌علی نزدیک‌تر است (شکل ۱)، انتخاب و آمار بارش آن با تغییرات آبدهی چشمه در زمان‌های مشابه مقایسه شد. اگر در منطقه‌ای درصد نفوذ در سازندهای کارستی تشکیل‌دهنده مخزن چشمه مشخص باشد، می‌توان با استفاده از آن و پارامترهای میانگین بارندگی سالانه ناحیه اطراف چشمه و متوسط آبدهی آن در زمان معینی مساحت حوضه آبگیر چشمه را محاسبه کرد (Bonacci, 1999 و Bonacci et al., 2006) . با محاسبه تخمینی معینی مساحت حوضه آبگیر چشمه و با تکیه‌بر اطلاعات شیمیایی می‌توان آبخوان اصلی تغذیه‌کننده چشمه را تعیین کرد.

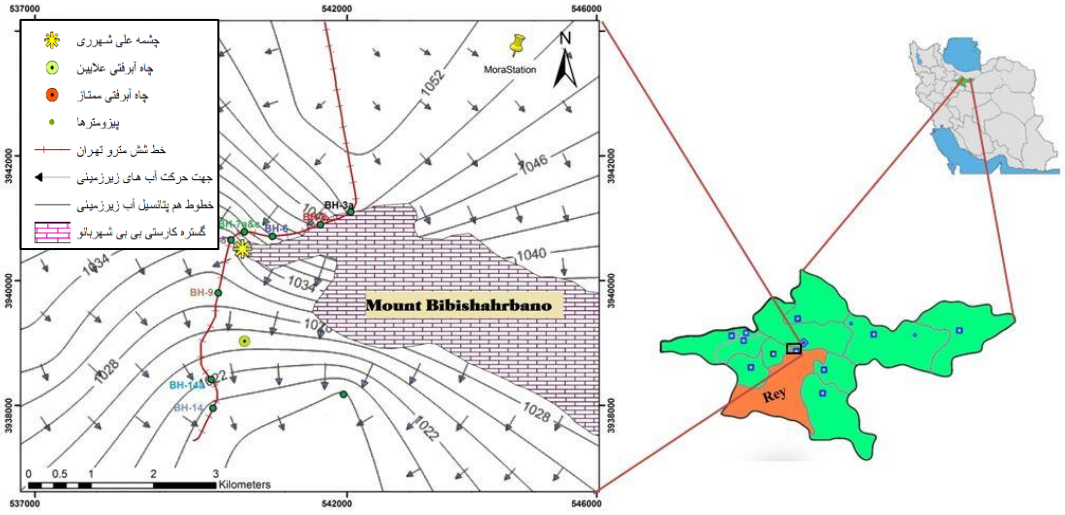
ناحیه موردمطالعه

ناحیه مطالعاتی این پژوهش مساحتی در حدود ۵۰ کیلومترمربع دارد که شامل شش کیلومتر انتهایی (جنوبی) از مسیر تونل خط شش مترو تهران و چشمه‌علی (در فاصله ۲۳۰متری از تونل) است که بر پایه تقسیمات استانی در استان تهران و بر اساس تقسیمات شهرستان‌های استان تهران در شهرستان ری واقع‌شده است (شکل ۱).

کوه‌های گستره مطالعاتی ارتفاع زیادی ندارند و مهم‌ترین کوه در این گستره کوه بی‌بی‌شهربانو واقع در شرق گستره با ارتفاع ۱۵۳۵ متر از سطح دریا است. میانگین بارش بلندمدت سالانه در گستره، ۴۱۵ میلی‌متر است. بیشترین متوسط بارش ماهانه ۶۴/۳ میلی‌متر مربوط به ماه فوریه و کمترین بارش ماهانه ۴/۵ میلی‌متر مربوط به ماه اوت است. بر اساس اقلیم نمای آمبرژه (Emberger, 1955)، ناحیه موردمطالعه دارای اقلیم نیمه‌خشک- معتدل تا معتدل است. حداکثر آبدهی چشمه‌علی شهرری ۱۸۳ لیتر بر ثانیه در ماه آوریل سال ۲۰۰۰ و حداقل آبدهی چشمه ۱۴ لیتر بر ثانیه در ماه ژوئن سال ۲۰۰۹ اندازه‌گیری شده است. سالانه حدود ۲/۱ میلیون مترمکعب آب باران بر روی توده آهکی بی‌بی‌شهربانو باریده می‌شود. به همین میزان نیز از چشمه‌علی تخلیه می‌گردد. سیستم جریانی که چشمه را تغذیه می‌کند، افشان است و آب از چشمه تدریجی تخلیه می‌شود. میانگین آبدهی چشمه‌علی حدود ۸۱/۵ لیتر در ثانیه، نسبت حداکثر به حداقل آبدهی ۱۳ و ضریب تغییرات آبدهی آن ۵۵/۳ درصد محاسبه‌شده است.

از نظر زمین‌شناسی، تونل بخش جنوبی خط شش مترو به دو بخش آبرفتی و سنگی قابل تقسیم است. بخش سنگی این تونل به طول حدود ۱۰۰۰ متر از میان سنگ‌های آهکی عبور می‌کند. چشمه‌علی از دامنه جنوبی رخنمونی از سنگ‌آهک و سنگ‌آهک دولومیتی مارنی کرتاسه در منطقه ابن‌بابویه در شمال شهرری تخلیه می‌شود. روند کلی جهت جریان آب زیرزمینی در گستره مطالعاتی، از شمال و شمال غرب به جنوب و جنوب شرق است. شکل منحنی‌ها نشان‌دهنده یک آبخوان آزاد و پیوسته در این منطقه است. حداکثر سطح تراز آب‌های زیرزمینی حدود ۱۰۵۰ متر از سطح آب‌های آزاد در شمال شرقی و حداقل حدود ۱۰۲۰ متر در جنوب غربی گستره موردمطالعه است (شکل ۲)؛ بنابراین متوسط شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی در این منطقه حدود ۷ در هزار است. میزان قابلیت انتقال حدود ۵۰۰ مترمربع در روز برآورد شده است. متوسط ضریب ذخیره آبخوان در این منطقه حدود ۸ درصد تخمین زده می‌شود.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019511]



شکل ۱. نقشه گستره‌مورد مطالعه تونل مترو خط شش و چشمه‌علی واقع در شهرستان ری استان تهران

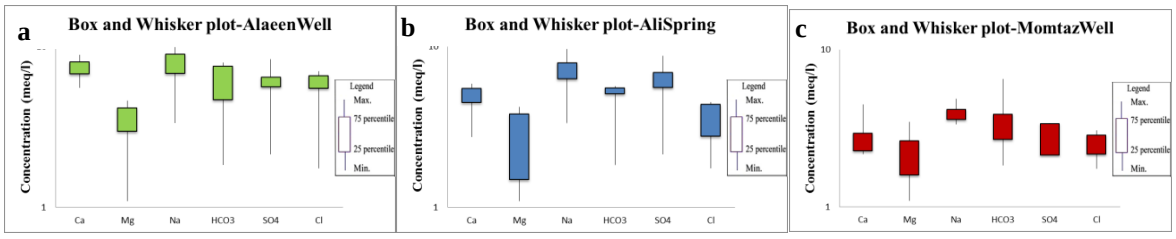
Fig. 1. Location maps indicating The Tehran Metro Line 6 and Ali karstic spring Shahr-e Rey, Tehran Province

نتایج و بحث

ویژگی‌های شیمیایی آب زیرزمینی و آب چشمه علی

بر اساس نمودارهای جعبه‌ای (شکل ۲) کاتیون غالب در هر سه منبع آبی گستره مطالعاتی سدیم است. در آب چاه‌های آبرفتی ممتاز (شمال چشمه) و علایین (جنوب چشمه) آنیون غالب بی‌کربنات و در آب چشمه‌علی سولفات است. از بالادست جریان (چاه ممتاز) به سمت پایین‌دست جریان (چاه علایین) افزایش غلظت یون‌ها مشخص است که علت آن حرکت آب از ورودی به سمت خروجی دشت و عبور از سازندها در مسیر حرکت آب و انحلال بیشتر سازندها است.

مقدار سدیم، کلر و سولفات در جنوب گستره (چشمه‌علی و چاه علایین) نسبت به چاه شمالی ممتاز خیلی بیشتر است که وجود کانی‌های تبخیری نظیر ژیپس و هالیت می‌تواند دلیلی بر بالا بودن این یون‌ها باشد. به‌طورکلی، در گستره موردمطالعه عوامل زمین‌شناسی و انسانی بر شیمی آب زیرزمینی تأثیرگذار هستند و قرارگرفتن نمونه‌های آب در بخش واکنش آب سنگ بر روی نمودار گیبس (شکل ۳) ، تأییدی بر اهمیت و نقش مؤثر سازندهای منطقه در تعیین شیمی آب است.

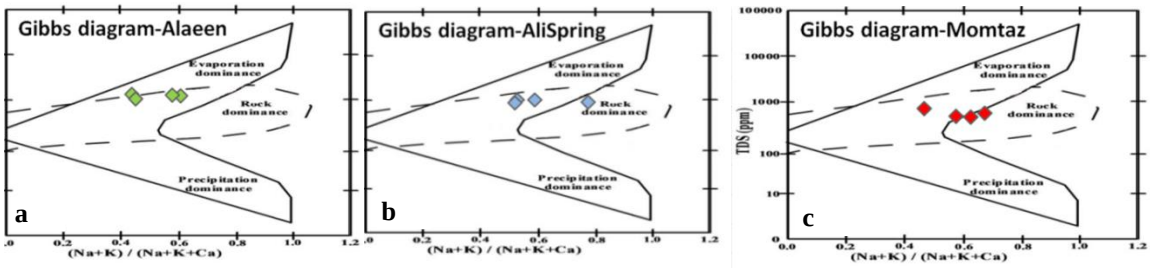


شکل ۲. نمودار جعبه‌ای منابع آبی گستره مطالعاتی شامل: c-چاه علایین، b-چشمه‌علی شهری و a-چاه ممتاز

Fig. 3. Gibbs chart of water resources in the study area, including a) Momtaz well, b) Ali Spring of Shahr-e-Rey, and c) Alaeen well

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

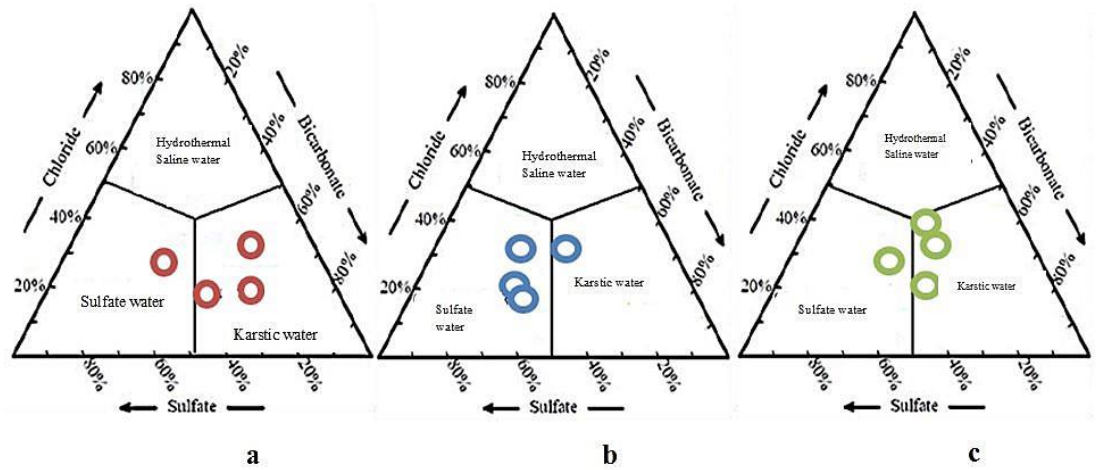
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019511]



شکل ۳. نمودار گیبس منابع آبی گستره مطالعاتی شامل: c-چاه علایین، b-چشمه‌علی شهرری و a-چاه ممتاز

Fig. 3. Gibbs chart of water resources in the study area, including a) Momtaz well, b) Ali Spring of Shahr-e-Rey, and c) Alaeen well

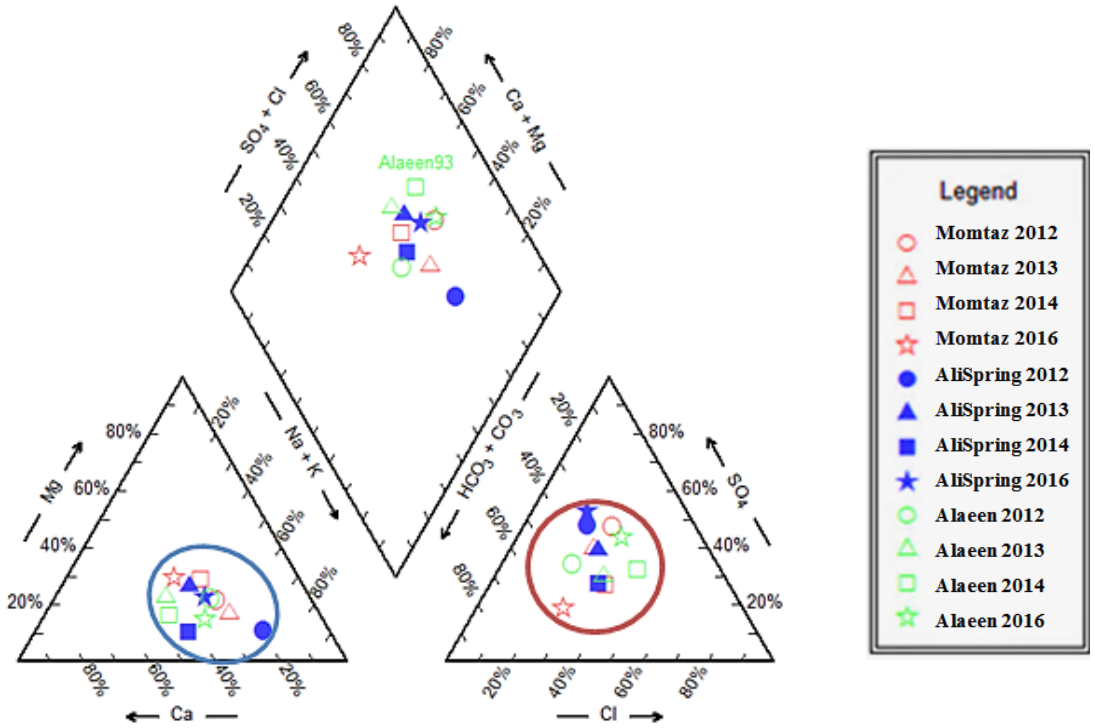
با توجه به نمودار مثلثی کلر – بی‌کربنات – سولفات (شکل۴) اغلب نمونه چاه‌های گستره مطالعاتی در محدوده آب‌های شیرین کارستی (مقادیر بالای بی‌کربنات و یون‌های کلسیم و منیزیم) قرار می‌گیرندکه با توجه به رخنمون گسترده سازند آهکی در گستره مطالعاتی مورد انتظار است. علت قرار گرفتن اغلب نمونه‌های چشمه‌علی در منطقه حد واسط نمودار مثلثی، می‌تواند ناشی از میان لایه‌های تبخیری، استفاده از کودهای شیمیایی سولفاته و آلودگی فاضلاب باشد که موجب افزایش محتوای سولفات نمونه‌های آب شده است. موقعیت منابع آبی در سال‌های مختلف بر روی نمودار پایپر (شکل۵) نشان میدهد که ترکیب شیمیایی چاه‌های آبرفتی و چشمه‌علی طی هرسال و در تاریخ مشابه تقریباً یکسان است. ترکیب هیدروشیمیایی آب از نظر تکاملی در ابتدای مسیر تکامل (بی‌کربناته به سولفاته) قرار دارد. تیپ آب چشمه‌علی عمدتاً سولفاته و رخساره آب عمدتاً سدیک است. تیپ و رخساره چاه‌های ممتاز و علایین، بی‌کربناته سدیک است.



شکل ۴. نمودار مثلثی کلر بی‌کربنات سولفات منابع آبی گستره مطالعاتی شامل: c-چاه علایین، b-چشمه‌علی شهرری و a-چاه ممتاز

Fig. 4. Triangular chloride-bicarbonate-sulfate chart of the water resources in the study area, including a) Momtaz well, b) Ali Spring of Shahr-e-Rey, and c) Alaeen well

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019511]



شکل ۵. نمودار پایپر منابع آب آبرفت و چشمه‌علی

Fig. 5. Piper diagram of alluvial and Ali spring water sources

تخمین میزان نشت آب به تونل

در محاسبه میزان نشت آب به تونل خط شش نتایج به دست آمده از روابط تحلیلی بسیار به هم نزدیک است و در این میان، روش فریز و چری (Freeze and Cherry, 1979)، بیشترین نزدیکی را به مقدار میانگین نشان می‌دهد. در پهنه‌های شماره یک و ۱۰ آبرفتی به دلیل اینکه تونل بالاتر از تراز آب زیرزمینی قرار دارد، ورود آب به تونل وجود نخواهد داشت. حداکثر نفوذپذیری خاک ۷/۴۱ میکرومتر بر ثانیه مربوط به پهنه آبرفتی H_4، که در جنوب پهنه کارستی R با ۳۴۸ متر طول شامل لایه‌های ماسه شنی، شن ماسه‌ای، رس سیلتی، سیلت رسی و در سطح آبرفت‌های دشت تهران قرارگرفته است. فاصله تونل در این پهنه تا سطح زمین ۱۰ متر و تا سنگ کف ۲۰ متر است. فاصله سطح ایستابی تا مرکز تونل ۱۰ متر و حداکثر احتمال نفوذ آب مربوط به این پهنه با ۱۱۶/۲ لیتر بر ثانیه است. درمجموع حدود ۰/۶۶ لیتر در ثانیه آب از آبرفت و محیط سنگی اطراف بر هر متر از تونل طرح توسعه جنوبی خط شش مترو تهران نشت می‌کند (شکل ۷). با در نظر گرفتن طول ۶۴۸۱ متری تونل در هر ثانیه ۰/۲۵ مترمکعب معادل ۲۵۷ لیتر آب وارد کل طول تونل می‌شود.

تعیین ناحیه دارای بیشترین خطر افت ناشی از حفاری

با توجه به نتایج به‌دست آمده از روابط و روش نرم‌افزاری DHI می‌توان نتیجه گرفت که آبدهی چشمه‌علی شهرری و آب‌های زیرزمینی کل گستره (به‌خصوص آبخوان کارستی) به‌صورت کامل تحت تأثیر حفاری خط شش مترو قرار می‌گیرد. نقشه نمایه خطر افت در شکل ۶ نمایش داده‌شده است. کوه بی‌بی‌شهربانو به علت لیتولوژی آهکی و فراوانی گسل‌ها و خطواره‌ها احتمالاً بیشترین تأثیر و مناطق آبرفتی به علت وجود بافت شهری کم‌ترین تأثیر را از حفاری تونل خط شش مترو خواهند دید.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

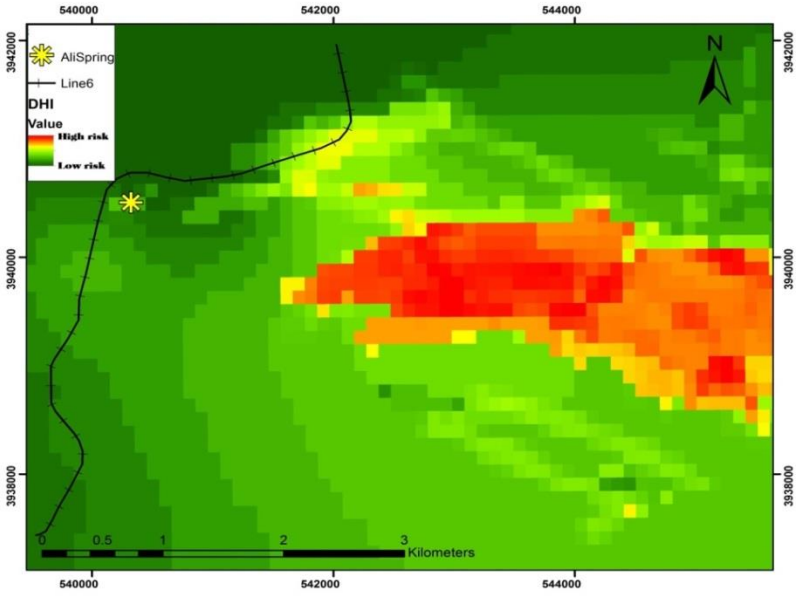
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019511]

بارش در منطقه و آبدهی چشمه

طبق شکل ۸، پیش از شروع عملیات حفاری تونل خط شش مترو، ارتباط مستقیم میان آبدهی ماهیانه چشمه‌علی و بارش ماهیانه ایستگاه مرا وجود داشته است. فاصله زمانی بین بیشترین بارندگی با بیشترین آبدهی چشمه بعد از بارندگی عمدتاً حدود دو ماه است. طبق نمودار، پس از شروع عملیات حفاری طرح توسعه جنوبی تونل خط شش مترو، ارتباط مستقیم همراه با تأخیر چندماهه میان آبدهی ماهیانه چشمه‌علی و بارش ماهیانه ایستگاه مرا از بین رفته و نوسانات بسیار شدید و خشک شدن طولانی‌مدت چشمه ایجاد شده است. مراحل ابتدایی حفاری در آبرفت شمال شرقی گستره انجام‌شده که باعث ایجاد نوسانات در آبدهی چشمه شده است. در ادامه مسیر تونل، حفاری بخش سنگی این تونل با طول حدود ۱۰۰۰ متر از میان سنگ‌های آهکی از ماه اکتبر سال ۲۰۱۷ آغاز و در ماه جولای سال ۲۰۱۸ پایان یافته است. حفاری در ناحیه سنگی ناهنجاری‌های آشکاری در آبدهی چشمه ایجاد کرده و درنهایت موجب خشک شدن چشمه شده است. پس از تکمیل حفر تونل در ناحیه سنگی (سگمنت‌گذاری و آب‌بندی تونل)، چشمه از حالت خشک خارج و به آبدهی کم‌تر ۳۰ لیتر بر ثانیه رسیده است (شکل ۹).

تعیین منبع تغذیه چشمه

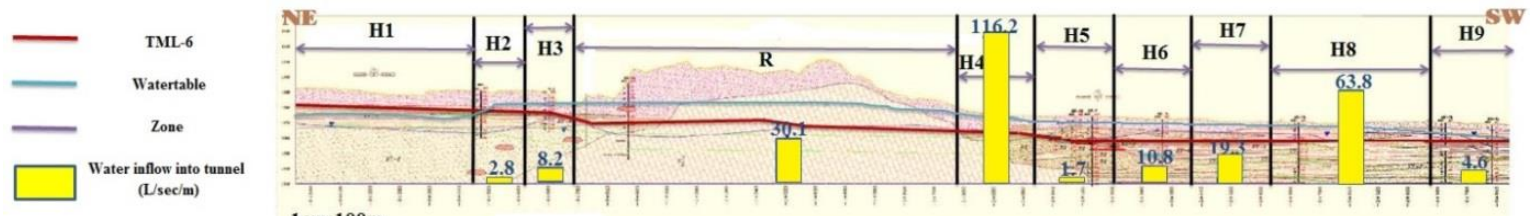
با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و کاربرد آن‌ها در نرم‌افزار ArcGIS 10.2 مشخص شد که آب چشمه‌علی از حوضه آبگیری با مساحت ۱۴ کیلومترمربع منشا می‌گیرد. مساحت سازندهای آهکی در گستره (واحدهای آهک کرتاسه و کوه بی‌بی‌شهربانو) با مساحت محاسبه شده حوضه آبگیر مطابقت دارد. این تطابق را می‌توان به‌عنوان تاییدی بر این دانست که سازندهای آهکی (آبخوان کارستی) در گستره آبخوان اصلی تغذیه‌کننده و مخزن چشمه‌علی هستند (شکل ۱۰).



شکل۶. نقشه پهنه‌بندی نمایه خطر افت (DHI) گستره مطالعاتی- نواحی قرمز پر رنگ و سبز پر رنگ به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را از حفاری خواهند دید.

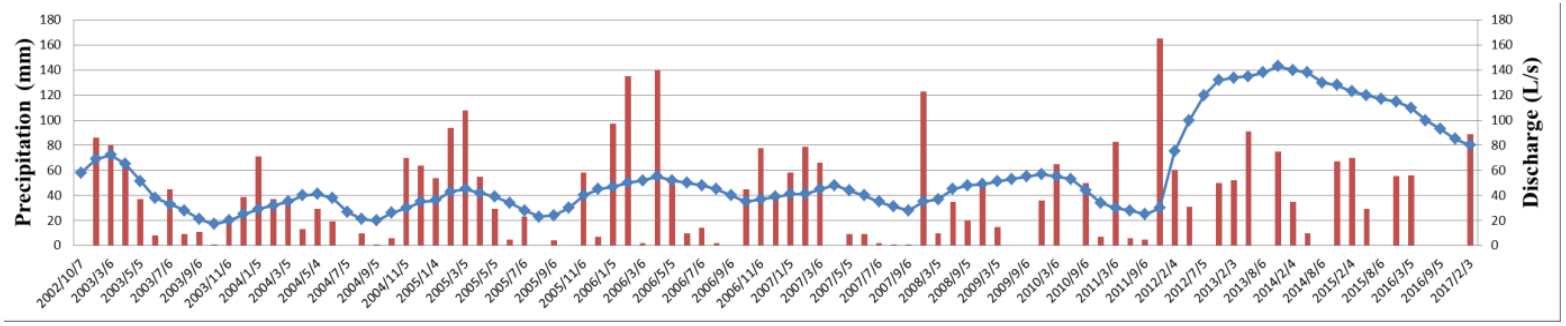
Fig. 6. Final map of drawdown hazard index (DHI) in the study area- The dark red and dark green areas show the most and least impact from excavation, respectively.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019511]



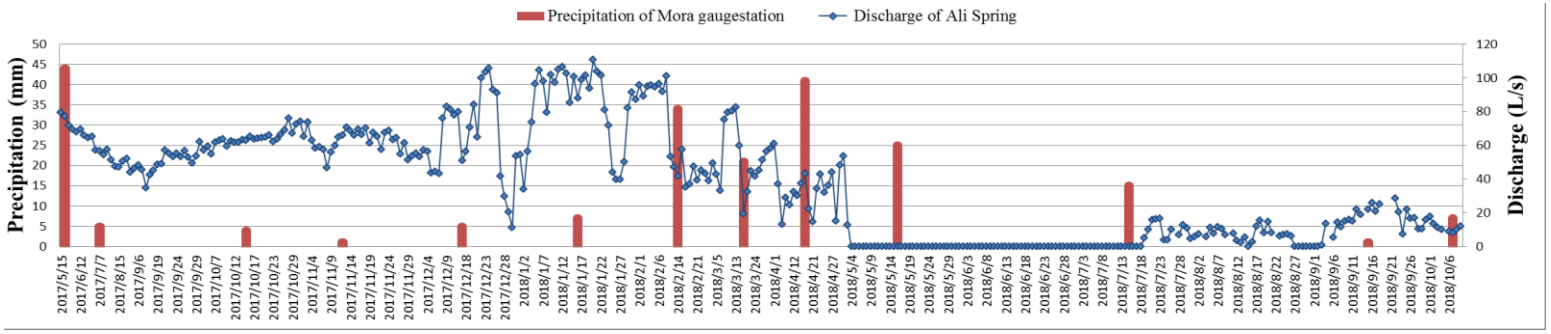
شکل۷. تصویر شماتیک میزان نشت آب به پهنه‌های سنگی و هیدرولوژیکی تونل خط شش مترو

Fig. 7. Schematic figure of the volume of groundwater inflows into the rocky and hydrological zones of TML6



شکل۸. نمودار تغییرات آبدهی چشمه‌علی و بارش ایستگاه باران‌سنجی مرا از سال ۲۰۰۲ تا سال ۲۰۱۷

Fig. 8. The time series of Ali Spring discharge and precipitation of Mora gaugestation, , 2002 to 2017



شکل۹. نمودار تغییرات آبدهی چشمه‌علی و بارش ایستگاه باران‌سنجی مرا از ماه می سال ۲۰۱۷ تا اکتبر سال ۲۰۱۸

Fig. 9. The time series of Ali Spring discharge and precipitation of Mora gaugestation, , from May 2017 to October 2018

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.101951 1]



شکل ۱۰. مساحت تعیین‌شده حوضه آبگیر و آبخوان تغذیه‌کننده چشمه‌علی شهرری
Fig. 10. Deterministic catchment area map of the Ali Spring, Shahr-e-Rey

نتیجه‌گیری

بررسی شیمی آب و ابعاد حوضه آبگیر نشان داد که آب چشمه‌علی شهرری از یک آبخوان کارستی منشأ می‌گیرد. بنا بر شواهد هیدروژئوشیمیایی آب آبخوان کارستی تغذیه‌کننده چشمه تشابه شیمیایی بسیاری با آب آبخوان آبرفتی اطراف دارد و احتمالاً این دو آبخوان با یکدیگر مرتبط هستند. شواهد بلندمدت بارش و آبدهی ناحیه مشخص کرد که خشک شدن چشمه با تغییرات اقلیمی و کاهش بارندگی در سال‌های اخیر مرتبط نبوده و تطابق آشکاری میان نوسانات آب چشمه و آغاز حفاری تونل خط شش متروی تهران در سنگ‌آهک‌های کارستی تغذیه‌کننده چشمه وجود دارد. مهم‌ترین عامل ناهنجاری آبدهی چشمه در زمان حفاری، نشت آب به تونل است و هرچه میزان نشت به تونل بیشتر باشد، احتمال آسیب به آبخوان افزایش می‌یابد. پس از بررسی میزان نشت آب از آبخوان به تونل، مشخص شد که در هر ثانیه ۲۵۷ لیتر آب وارد کل طول تونل می‌شود. با بررسی شاخص خطر افت مشخص شد که آهک‌های کوه بی‌بی‌شهربانو که بخش مهمی از آبخوان تغذیه‌کننده چشمه را تشکیل می‌دهند بیشترین میزان تاثیر را از حفاری تونل می‌گیرند. شواهد نشان داد که پس از تکمیل حفر تونل در ناحیه سنگی (سگمنت‌گذاری و آب‌بندی مناسب تونل)، چشمه از حالت خشک خارج و به آبدهی کم‌تر ۳۰ لیتر بر ثانیه می‌رسد. این آبدهی در مقایسه با میانگین بلندمدت آبدهی چشمه (۸۱ لیتر بر ثانیه)، بسیار کم است. در اصل آبدهی چشمه علیرغم تکمیل تونل به حالت اولیه باز نمی‌گردد. حفر تونل خط شش تأثیر قابل‌توجهی بر روی سیستم هیدروژئولوژی منطقه می‌گذارد، و ممکن است تأثیر منفی بر روی دبی دیگر چشمه‌ها و چاه‌های منطقه نیز داشته باشد و سیستم جریانی منطقه را به‌طور موقت و یا برای همیشه دگرگون کند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019511]

منابع

Arnell N.W, Krasovskaia I, Gottschalk L, 1993. River flow regimes in Europe. Flow Regimes from International Experimental and Network Data (FRIEND). A. Gustard, Ed., Hydrological Studies. Institute of Hydrology 1: 112–121.

Attard G, Winiarski T, Rossier Y, Eisenlohr L, 2016. Review: impact of underground structures on the flow of urban groundwater. Hydrogeol. J 24: 5–19.

Bavarsad M, Ansari M, 2016. Management and Sustainable Development of the Cultural Landscape Case study of Cheshmeh-Ali (Shahr-e-Rey). J.Env. Sci. Tech 18(2).

Bobylev N, 2009. Mainstreaming sustainable development into a city's master plan: a case of urban underground space use. Land Use Policy 26(4):1128-1137.

Bonacci O, 1999. Water circulation in karst and determination of catchment areas: example of the River Zrmanja. Hydrol Sci J 44(3):373–386.

Bonacci O, Jukic´ D, Ljubenkov I, 2006. Definition of catchment area in karst: case of the rivers Krcˇic´ and Krka, Croatia. Hydrol Sci J 51(4):682–699.

Bonomi T, Bellini R, 2003. The tunnel impact on the groundwater level in an urban area: a modelling approach to forecast it. MaterGeoenviron 50:45–48.

Boukhemacha, MA, Gogu CR, Serpescu I, Gaitanaru D, Bica I, 2015. A hydrogeological conceptual approach to study urban groundwater flow in Bucharest City. Romania. Hydrogeol J 23:437–450.

Butscher C, 2012. Steady-state groundwater inflow into a circular tunnel. Tunn Undergr Space Technol 32:158–167.

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, Stockholm.

Chae G-T, Yun S-T, Choi B-Y, Yu S-Y, Jo H-Y, Mayer B, KimY-J, Le J-Y, 2008. Hydrochemistry of urban groundwater. Seoul. Korea: the impact of subway tunnels on groundwater quality. J Contam Hydrol 101:42–52.

Colombo L, Gattinoni P, Scesi L, 2017. Influence of underground structures and infrastructures on the groundwater level in the urban area of Milan. Italy. Int. J.Sustain. Dev. Plann 12 (1), 176–184.

Croley T. E, Luukkonen C. L, 2003. Potential effects of climate change on ground water in Lansing, Michigan.J. Amer. Water Resour. Assoc. 39: 149–163.

Dassargues A, 1997. Groundwater modelling to predict the impact of a tunnel on the behaviour of a water table aquifer in urban conditions. In: Chilton J (ed) groundwater in the urban environment: problems, processes and management. Proc. of XXVII IAH Congress, Balkema. Rotterdam pp 225–230.

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

Deveughèle M, Zokimila P, Cojean R, 2010. Impact of an impervious shallow gallery on groundwater flow. Bull Eng Geol Environ 69:143–152.

El Tani M, 1999. Water inflow in to tunnels. Proceedings of the World Tunnel Congress ITA-AITES pp 61-70.

Emberger L, 1955. Une classification biogéographique des climats recueil. travaux de laboratoire géolo-zoologique. Faculté des sciences. Service botanique. Montpellier 7:3-43.

Fiorillo F, Malik P Hydraulic Behavior of Karst Aquifers (editorial). Water 11:1563p.

Font-Capo J, Vazquez-Suné E, Carrera J, Marti D, Carbonell R, Pérez-Estaun A, 2011. Groundwater inflow prediction in urban tunneling with a tunnel boring machine (TBM). Eng Geol 121:46–54.

Freeze R.A, Cherry J .A, 1979. Groundwater. Englewood Cliffs. NJ.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019511]

Gattinoni P, Scesi L, 2010. An empirical equation for tunnel inflow assessment: Application to sedimentary rock masses. Hydrogeol J 18(8):1797-1810.

Gisbert J, Vallejos A, González A, Pulido-Bosch A, 2009. Environmental and hydrogeological problems in karstic terrains crossed by tunnels: a case study. Environmental Geology 58(2): 347–357.

Goodman R.E, Moye D.G, Van Schalkwyk A, Javandel I, 1965. Groundwater inflows during tunnel driving. Engineering Geology 1(1): 39-56.

Ionita, M, Lohmann G, Rimbu N, Chelcea S, 2011. Interannual variability of Rhine River streamflow and its relationship with large-scale anomaly patterns in Spring and Autumn. J. Hydrometeorol 13(1): 172–188.

Jiao Y, 1995. Formalising the system approach to rock engineering. Phd Thesis. Imperial College of Science. Technology and Medicine. University of London.

Karlsrud K, 2001. Water control when tunneling under urban areas in the Olso region. NFF Publ 12(4): 27–33.

Lei S, 1999. An analytical solution for steady flow into a tunnel. Groundwater. 37: 23-26.

Marinos P, Kavvadas M, 1997. Rise of the groundwater table when flow is obstructed by shallow tunnels. In: Groundwater in the urban area: problems processes and management. 27th Cong. Int. Assoc.Hydrogeologists (IAH). Nottingham. UK pp 21–27

Merrick N, Jewell M, 2003. Modelling of the groundwater impact of a sunken urban motorway in Sydney. Australia. Mater Geoenviron 50:229–232.

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. TRITA-KUT 91:1061.

Park K.H, Owatsiriwong A, Lee J.G, 2008. Analytical solution for steady-state groundwater inflow into a drained circular tunnel in a semi-infinite aquifer: a revisit. Tunn. Undergr. Space Technol. 23 (2). 206–209.

Pujades E, Lopez A, Carrera J, Vazquez-Suné E, Jurado A, 2012. Barrier effect of underground structures on aquifers. Eng Geol 145–146:41–49.

RCE (Rahsaztarh conculting engineers), 2018. Geotechnical and Hydrogeological Report of Tehran Metro Line 6 Southern Extension.

Ricci G, Enrione R, Eusebio A, 2007. Numerical modelling of the interference between underground structures and aquifers in urban environment: the Turin subway–Line 1. In: Barták J. Hrdine I. Romancov G. Zlámal D (eds) Underground space. Taylor and Francis. London. pp 1323–1329.

Serrano-Juan A, Pujades E, Vázquez-Suñè E, Velasco V, Criollo R, Jurado A, 2018. Integration of groundwater by-pass facilities in the bottom slab design for large underground structures. Tunn. Undergr. Space Technol. 71: 231–243.

Souza Filho F.A, Lall U, 2003. Seasonal to interannual en-semble streamflow forecasts for Ceara. Brazil: Applications of a multivariate. semiparametric algorithm. Water Resour. Res.39(11):1307.

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 17(1):135–150.

Walton WC, 1970. Groundwater resources evaluation. Mc Graw Hill Book Co. New York 664p.

Yoo C, 2004. Interaction between tunnelling and groundwater. Tunnelling and Underground Space Technology 19: 523–524.

Yoo C, Lee Y, Kim S-H, Kim H-T, 2012. Tunnelling-induced ground settlements in a groundwater drawdown environment: a case history. Tunn Undergr Space Technol 29:69–77.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019511]

Effect of Tunnel Excavation of Tehran Metro Line 6 on Groundwater and Ali Spring in Shahr-e-Rey

Hamidreza Nassery[1], Koosha Tamimi*[2], Farshad Alijani[3], Sadegh Tarigh Azali[4]

1. Professor, Mineral and Groundwater Resources Departmen, Faculty of Earth Science, Shahid beheshti University, Tehran, Iran
2. PhD Candidate, Department of Applied Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Mineral and Groundwater Resources Department, Faculty of Earth Science, Shahid beheshti University, Tehran, Iran
4. PhD, Executive Director at Line 6 Project, Tehran Metro and Suburban Railway Group of Companies, Tehran, Iran

Received: 23 Sep 2023 Accepted: 16 Dec 2023

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019511]

Abstract

The development of underground transportation activities in cities, such as tunnel boring, may exert short-term or long-term effects on the groundwater and springs of such areas. The construction of the tunnel of Tehran Metro Line 6 (TML6) through alluvium and carbonate rocks of Ali Spring has aroused concern due to the caused fluctuations in discharge and temporary dryness of the spring. The hydrochemical properties of the groundwater and catchment area were investigated to find a connection between the aquifers around the spring and determine the major aquifer feeding it. The estimated volume of water penetrated to the tunnel and the most greatly affected area by the water leakage into the tunnel was determined using analytical methods of water leakage into the tunnel and the DHI method. The statistics for precipitation with the changes in the discharge of the spring before and after the excavation of the metro tunnel were compared to evaluate the changes in the discharge of the spring with the precipitation in the area. The results showed that the metro tunnel excavation has dramatically affected the hydrological system of the area and discharge of the Ali Spring. Moreover, continuing the extraction may produce adverse effects on the discharge of other springs and wells and alter the flow system of the area temporarily or forever.

Keywords: Ali Spring, Tunneling, TBM, Tehran metro line 6, Karst, Hydrochemistry, DHI.

*Corresponding author: kooshatamimi007@gmail.com

DOI: http://doi.org/10.22034/JEG.2023.17.3.1019511

Introduction

The underground human activities, such as excavation of tunnels and galleries in urban areas, can affect the hydrogeological and hydrochemical conditions of groundwater in such areas in the short or long term (Dassargues 1997; Marinos and Kavvadas 1997; Merrick and Jewell 2003; Bonomi and Bellini 2003; Ricci et al. 2007; Chae et al. 2008; Deveughèle et al. 2010; Font-Capo et al. 2011; Pujades et al. 2012; Butscher 2012; Yoo et al. 2012; Boukhemacha et al. 2015; Attard et al. 2016; Colombo et al. 2017; Serrano-Juan et al. 2018; Fiorillo et al. 2019). Consequently, the changes in the groundwater can exert effects on the quality and quantity of surface water, as well as the water of flow wells, springs, and qanats (Vincenzo et al. 2009). Furthermore, the presence of water can be considered a serious challenge in the construction of underground structures concerning civil or mining engineering (Gisbert et al. 2009). Investigating the interactions of underground structures and groundwater resources from various aspects is of crucial importance in planning for the construction of underground structures. The Tehran Metro Line 6 (TML6) is one of the lines of Tehran urban and suburban railway, which is under construction. Given its transportation capacity of 1019000 passengers per day, the construction and operation of this line can significantly reduce the traffic of the northern and southern transportation routes of Tehran and facilitate the access to its north and south. The TML6 tunnel, with a length of 35 km, will have 30 stations after completion of construction and become the longest underground metro line of the Middle East (RCE 2018). Around the tunnel excavation path of TML6, is one of the most important natural assets of Iran, namely Ali Spring of Shahr-e-Rey, located in UTM coordinates of X= 540302 and Y= 3940487. When there was no running water in Tehran, a portion of the water of this karstic spring was allocated to drinking. Over time, the provision of running water obviated the need for consumption of its water in drinking. Nevertheless, the Ali Spring still plays its influential role as a vital artery of southeast Tehran in the cultivation of the farms and gardens (more than 400 hectares of vegetable gardens) and as a monument (Rey Castle and Qajari embossment) and a place for recreation (RCE 2018; Bavarsad et al. 2016). The construction of the TML6 tunnel through alluvium and carbonate rocks of Ali Spring has aroused concern due to the caused fluctuations in discharge and temporary dryness of the spring. The discharge of the spring affects the lives of the people both directly and indirectly. Thus, this paper is aimed at estimating the effects of tunnel excavation of TML6 on the Ali Spring. Prediction of such effects can be considered a critical step for planning and providing a solution to mitigate the adverse effects caused by the tunnel excavation.

There are three scenarios for the effects of tunnel excavation of TML6 on the Ali Spring of Shahr-e-Rey:

- First scenario: The Ali Spring originates from a karstic aquifer and has no connection with the surrounding alluvial aquifers. The tunnel excavation of TML6, which passes mostly through the alluvium, has no effect on the fluctuations of the spring. Thus, the dryness and fluctuations of the spring are attributed to climate change and a reduction in precipitation in recent years.

- Second scenario: The reason for the dryness and fluctuations of the Ali Spring is a part of the tunnel excavation path of TML6 with an approximate length of 1000 km passing through the karstic carbonate rocks, which feeds the spring. This issue is temporary, and the leakage of water into the

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019511]

tunnel causes it so that it will be resolved immediately after completion of tunnel excavation in the rocky area (segment installation and tunnel sealing), and the spring will obtain the previous discharge.

- Third scenario: The discharge of Ali Spring in Shahr-e-Rey is totally and permanently affected by the tunnel excavation of TML6. The tunnel excavation has caused substantial damages to the resources feeding the spring, including karstic and alluvial aquifers. Consequently, even after completion of the tunnel excavation, segment installation, and sealing, or an increase in the precipitation in the area, the spring will not attain its natural discharge and will get dried out probably forever.

Materials and Methods

Subtitle

The preliminary step in identifying the hazards caused by the construction of structures of the metro tunnel on the dominant hydraulic regime, discovering the area, and evaluating the water resources is effective in determining the domain (Bobylev 2009). The feeding aquifer(s) should be determined to detect the effect of excavation on the water flow of the spring. For this purpose, by using the chemical data of the water of the wells and Ali Spring (Table 1), the connections between the karstic and alluvial aquifers, as well as their connection with the Ali Spring were investigated at first. As a result, valuable information was acquired about the geological and petrological state of the area, along with the groundwater recharge, discharge, and storage indexes (Walton 1970). The results of analyses of water samples from the alluvial aquifer (Momtaz northern well and Alaeen southern well) and the Ali Spring were plotted in the forms of hydrogeochemical evolution charts (Box and Whisker, Gibbs, and Triangular chloride - bicarbonate - sulfate) and the charts defining water type and hydrogeochemical process (Piper diagram). The software programs of Aquachem 4.0, Rock AqQA and Water Stability were used to plot the charts. The ionic equilibrium for all samples was less than 5%. Therefore, the results of the analyses were assessed as acceptable.

It is always critical to predict the volume of water penetration into the tunnel due to the importance of estimating its environmental effect. The more the water leakage into the tunnel, the more likely the aquifer will be damaged. Groundwater penetrates a tunnel through the discontinuities and joints existing in the rock mass. However, it is difficult to precisely estimate the groundwater flow into rock tunnels (Park 2008). The analytical methods play a key role in a quick and primary estimation of the volume of the flow penetrating a tunnel (Gattinoni 2010). The flow volume can be approximately calculated employing analytical methods (Goodman et al. 1965; Freeze and Cherry 1979; Lei 1999; El tani, 1999; Karlsrud 2001) based on studies on the water flow considering factors, such as the permeability of rock mass, radius of the tunnel, and height of overburden. The tunnel path was divided into 11 (ten alluvial and one rocky) zones based on permeability and groundwater level. The volume of water leakage in each zone was computed using analytical methods (Table 2).

Researchers have extensively discussed the effect of groundwater on tunnels, but the effect of tunnel excavation on aquifers has been considered in design projects only over recent years (Cesano 2001; Olofsson 1991). The effect of tunnel excavation on water resources, as well as the most highly affected area by the excavation, can be predicted using the Drawdown Hazard Index (DHI) method (Yoo 2004; Dematteis and Kalmaras 2001). The main objective of DHI is to evaluate the behavior of the system when the tunnel collides with the groundwater flow. This practical method is based on rock mechanics and the fundamental variables in the tunnel-aquifer system, obtained from a cause

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019511]

and effect plotting method in a binary model (Jiao 1995). For this purpose, the required information and layers were collected at first, made isometric to integrate, and turned into benchmark maps. Eventually, the information layers were integrated based on the weight of each of them in the final zoning, and the final hazard map was prepared and plotted using the ArcGIS 10.2 software.

The volume of water income to each aquifer depends on climatic conditions. The climatic conditions are widely varied in the seasonal, annual, and decadal time series. The evidence of hydrological information records indicates that today's hydrological anomalies are repeats of the past's climatic anomalies. The conditions and anomalies of an area can be predicted by investigating its long-term climatic conditions and anomalies (Arnell et al. 1993; Souza Filho et al. 2003; Croley et al. 2003; Ionita et al. 2011). In order to evaluate the changes in the discharge of the spring with the precipitation level in the study area, the Mora gaugestation, which is the closest weather station to the Ali Spring, was selected, and its precipitation levels against the changes in the discharge of the spring were compared in similar periods.

The area of catchment can be calculated by using the infiltration percentage and the parameters of average annual precipitation around the spring and its discharge in a definite period (Bonacci 1999; Bonacci et al. 2006). The major aquifer feeding the spring can be determined by estimating the area of the catchment of the spring based on chemical information.

Results and Discussion

Chemical Properties of the Groundwater and Spring's Water

According to the box and whisker plots, sodium is the dominant cation in all three water resources in the study area. Bicarbonate is the dominant anion in the alluvial wells of Momtaz (north of the spring) and Alaeen (south of the spring), while sulphate is the dominant anion in the water of the Ali spring. As can be seen, the concentration of ions increases from the upstream flow (Momtaz well) to the downstream flow (Alaeen well), which is caused by the movement of water from the interior of the plain to the exterior, passing through the formations in its path and further dissolving the formations. The amount of sodium, chloride and sulphate in the south of the area (Ali spring and Alaeen well) is much higher than in the northern Momtaz well, due to the presence of evaporitic minerals such as gypsum and halite. In general, geological and human factors influence the chemistry of groundwater in the study area. The position of the water samples in the water-rock reaction section of the Gibbs diagram confirms the importance and effective role of the formations of the area in determining the chemistry of the water. According to the chloride-bicarbonate-sulfate triangular diagram, most of the samples from the wells in the study area were in the karst water range (high amounts of bicarbonate and the ions calcium and magnesium), which is to be expected given the extensive outcrop of carbonate rock formations in the study area. The placement of most of the samples from Ali Spring in the middle area of the triangular diagram (sulfate water range) may be caused by the evaporitic layers, the use of chemical sulfate fertilizers and contamination by sewage, which have increased the sulfate content of the water samples. By plotting the Piper diagram of all water resources in different years, it was found that the chemical compositions of the alluvial wells and Ali Spring are almost the same in similar dates of each year. The water type of Ali Spring is mainly sulfate and its facies is mainly sodic. The type and facies of Momtaz and Alaeen wells are sodic bicarbonate.

Estimation the Volume of Groundwater Inflows into the Tunnel

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019511]

In calculating the volume of groundwater inflow into the TML6, the results of the analytical methods were very close, with the Freeze and Cherry method being the closest to the mean. In alluvial zones 1 and 10, the groundwater level is below the tunnel, so no water will enter the tunnel. The maximum soil permeability, 7.41 μm/s, belongs to alluvial zone H4, which is located to the south of karst zone R on the alluvial surface of the Tehran plain, with a length of 348 m, consisting of gravelly sand, sandy gravel, silty clay and clayey silt layers. In this zone, the tunnel is located at a distance of 10 m from the ground surface and 20 m from the bedrock. The distance of the water table from the center of the tunnel is 10 m, and the maximum probable water infiltration in this zone was 116.2 l/s. In total, approximately 0.66 l of water per second leaked from the alluvium and surrounding rocky environment at every meter of the tunnel in the southern development plan of TML6. With a tunnel length of 6481 m, 0.25 m3, or 257 liters of water, entered the tunnel every second.

Determination of the Area with the Highest Drawdown Hazard caused by the Excavation

According to the results obtained from the DHI formula and software method, it can be concluded that the discharge of the Ali Spring of Shahr-e-Rey and groundwater of the entire area (especially the karstic aquifer) will be completely affected by the excavation of TML6. Illustrates the drawdown hazard index map. Mount Bibi-Shahrbano, due to its limestone lithology and the frequency of faults and lineaments, and the alluvial areas, due to their low urban density, are the most and least affected, respectively, by the TML6 tunnel excavation.

Time Series of Precipitation versus Discharge

Before excavation of the TML6 tunnel began, there was a direct relationship between the monthly discharge of the Ali spring and the monthly rainfall at the Mora gauge. The interval between the highest rainfall and the highest discharge of the spring after rainfall was almost two months. After the start of the excavation of the TML6 tunnel, the direct relationship between the monthly discharge of the Ali spring and the monthly precipitation of the Mora station, with a delay of a few months, ceased to exist, considerable fluctuations occurred and the spring dried up in the long term. The first phases of excavation, carried out in the alluvium of the north-eastern part of the area, caused fluctuations in the flow of the spring. With the continuation of the operations, the excavation of the rocky section of the tunnel, with a length of approximately 1000 m, through carbonate rocks, started in October 2017 and ended in July 2018. The excavation in the rocky area caused obvious anomalies in the discharge of the spring and eventually led to its drying up. After the completion of the tunnel excavation in the rocky area (segment installation and tunnel sealing), the dryness of the spring ended and it reached a discharge of 30 l/s.

Determination of the Catchment Area

Using the geological maps in ArcGIS 10.2 software, it was found that the Ali Spring originates from a catchment area of 14 km2. The area of carbonate formations in the area (Cretaceous limestone units and Mount BibiShahrbano) matches the calculated area of the catchment. This can confirm that the carbonate rock formations (the karstic aquifer) in the area are the main aquifer feeding the Ali spring and the main container of the spring.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019511]

Conclusions

Water chemistry and catchment area analyses indicate that the water of the Ali Spring in Shahr-e-Rey originates from a karstic aquifer. Based on the hydrogeochemical evidence, the water of the karstic aquifer feeding the spring has many similarities with that of the surrounding alluvial aquifer, and the two aquifers are probably connected. Contrary to the assumptions of the first scenario, most of the TML6 tunnel passes through the alluvial aquifer around the spring, and part of the excavation path cuts through the karstic carbonate rocks that feed the spring. By investigating and comparing the rainfall conditions with the spring discharge, it was found that the excavation in the rocky area has caused obvious anomalies in the discharge of the spring, eventually causing it to dry up. The main factor responsible for such an anomaly in the discharge of the spring during the excavation was the leakage of water into the tunnel. The more water that leaks into the tunnel, the more likely it is that the aquifer will be damaged. Evaluation of the volume of water leaking from the aquifer into the tunnel indicated that 257 liters of water per second was entering the tunnel along its entire length. Investigation of the drawdown hazard index showed that the carbonate rock of Mount Bibi-Shahrbano, which forms an important part of the aquifer feeding the spring, was most affected by the tunnel excavation. The evidence showed that after the completion of the tunnel excavation in the rocky area (segment installation and tunnel sealing), the dryness of the spring ended, and it reached a discharge of less than 30 l/s. This discharge is low compared to the aquifer that feeds the spring. This discharge is very low compared to the long-term average discharge of the spring (81 l/s). In fact, despite the completion of the tunnel construction, the discharge of the spring has not returned to its initial state; therefore, the assumption of a return to the initial state in the second scenario is not correct either. In the long term, the assumptions of the third scenario are more accurate than the others. The excavation of the TML6 tunnel has significantly affected the hydrogeological system of the area, may have a negative impact on the discharge of other springs and wells, and may alter the flow system temporarily or forever.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019511]