جایگاه مطالعات آب‌های زیرزمینی در پروژه‌های تونلی در ایران

مسعود مرسلی[۱*]

۱. استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۰

چکیده

حفر تونل در محیط اشباع و نفوذ جریان آب زیرزمینی به تونل‌های در حین حفاری یکی از مشکلات جدی در پروژه‌های تونلی است. نفوذ آب به تونل می‌تواند منجر به وارد شدن خساراتی به تجهیزات ساخت تونل، پرسنل، روند اجرای کار و ... شود. این موضوع نیاز فعلی و ضروری صنعت تونل سازی از پژوهش‌های کاربردی زمین‌شناسی است. همچنین با مطالعات هیدروژئولوژی چشمه‌های مسیر تونل و برآورد آب ورودی به تونل، احتمال خشک‌شدگی و یا کاهش آبدهی چشمه‌های مسیر تونل بررسی می‌شود. از طرفی، پیچیدگی‌های ورود آب به تونل و نبود یک روش دقیق و مناسب بر اهمیت این مطالعات می‌افزاید. روش‌های تجربی و تحلیلی جهت پیش‌بینی آب ورودی به تونل وجود دارد. در این مقاله علاوه بر معرفی روند کلی انجام مطالعات هیدروژئولوژی مسیر تونل‌ها به مقایسه درصد وزنی مطالعات هیدروژئولوژی و مشکلات مرتبط با آن پرداخته می‌شود. به طور متوسط بیش از ۳۰ درصد تمامی مشکلات تونل‌ها به آب‌های زیرزمینی مرتبط است اما کمتر از ۵ درصد مطالعات در این زمینه انجام می‌شود. عدم تناسب وزنی دو موارد فوق و علل آن از دیگر موارد مطرح‌شده در این مقاله است.

کلید واژه‌ها: آب‌های زیرزمینی، تونل، مسائل حفاری، تفکیک مطالعات.

مقدمه

امروزه با کاهش پروژه‌های سدسازی، تونل سازی در ایران به یکی از بزرگ‌ترین پروژه‌های عمرانی ملی تبدیل‌شده است. با توجه به شرایط اقلیمی کشور پیش‌بینی می‌شود که در سال‌های آتی تونل سازی رونق بسیار بیشتری خواهد یافت. یکی از مهم‌ترین مسائل در تونل سازی، بحث اندرکنش آب‌های زیرزمینی توده سنگ و حفر تونل‌ها است. علیرغم آنکه تاکنون روش‌های مختلفی جهت برآورد آب ورودی به تونل ارائه‌شده، اما تخمین صحیح این مسئله همواره یکی از اصلی‌ترین مشکلات تونل سازی است. با توجه به گسترش نیازهای کشور، ساخت تونل‌ها در زمین‌های مختلف و با شرایط پیچیده رو به گسترش است. لذا این موضوع یکی از به‌روزترین و مهم‌ترین مباحث موردنیاز صنعت از پژوهش‌های کاربردی زمین‌شناسی است. یکی از مواردی که همواره تحلیل‌ها را با عدم قطعیت همراه می‌کند وجود آب زیرزمینی است. از آنجا که نفوذ آب به تونل‌ها منجر به وارد شدن خساراتی به تجهیزات ساخت تونل، کارکنان، روند اجرای کار و .... می‌شود، مهندسان و طراحان تونل می‌بایست

* نویسنده مسئول: m.morsali@sci.ui.ac.ir
DOI: http://doi.org/10.22034/JEG.2023.17.3.1019231

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019231]

قبل از آغاز حفاری مشخص کنند که انتظار ورود چه میزان آب زیرزمینی به درون تونل را دارند و به پیمانکاران و اجراکنندگان اطلاع دهند. آگاهی از میزان نفوذ و ورود آب زیرزمینی می‌تواند در انتخاب روش حفاری مناسب و همچنین طراحی و اندازه پمپ مورد نیاز برای خروج آب از تونل مؤثر باشد. همچنین افت سطح آب زیرزمینی در اثر ورود آب به تونل منجر به کاهش آبدهی و خشک شدن منابع آبی سطح زمین می‌گردد که در نهایت منجر به مشکلات زیست محیطی خواهد شد. باید توجه داشت که عدم مطالعات و یا اشتباه در تخمین آب ورودی به تونل، منجر به وارد شدن هزینه‌های غیرضروری و خارج از برنامه به پروژه خواهد شد. مطالعات هیدروژئولوژی در پروژه‌های حفاری تونل، جزو اساسی‌ترین مطالعات بوده و به لحاظ عوامل تأثیرگذار و یا تأثیرپذیر از حفاری تونل حائز اهمیت است. پیچیدگی‌های ورود آب به تونل و نبود یک روش دقیق و مناسب بر اهمیت این مطالعات می‌افزاید. علیرغم اهمیت این مسئله، نسبت تخصیص وزنی مطالعات هیدروژئولوژی تناسبی با مشکلات ناشی از آب‌های زیرزمینی ندارد.

مواد و روش‌ها

مشکلات ورود آب زیرزمینی به تونل

در حین حفاری تونل در سنگ، آب زیرزمینی از طریق شکستگی‌ها و درزه‌ها به تونل نفوذ می‌کند ولی ازآنجاکه تعیین کلیه پارامترها و عوامل مؤثر بر نفوذ آب امکان‌پذیر نیست، پیش‌بینی دقیق نفوذ آب به تونل هم مشکل است. یکی از دلایل اصلی پرداختن به این موضوع، اهمیت فوق‌العاده‌ای است که می‌تواند در طی اجرای پروژه، چه به لحاظ اقتصادی و چه به لحاظ فنی (مشکلات اجرایی و زیست‌محیطی و تأخیر در اجرا) موجب مشکلات فراوانی شود.

ورود آب به تونل منجر به کاهش نرخ حفاری و حتی توقف آن در بسیاری از تونل‌ها شده است. این مسئله علاوه بر خطرات مالی خطرات جانی نیز به همراه داشته است. در واقع یکی از دلایل اصلی کاهش نرخ حفاری در تونل‌ها، هجوم آب زیرزمینی است. کاهش نرخ حفاری به معنای تحمیل هزینه‌های بسیار زیادی به پروژه‌ها است. لذا شناسایی و جلوگیری از این مسئله یکی از ضروری‌ترین موارد تونل سازی است. تأثیر هجوم آب زیرزمینی به تونل انتقال آب سد کرج به تهران را در کاهش نرخ حفاری روزانه نشان می‌دهد (نخعی و همکاران، ۱۴۰۰). ورود آب و گاز به تونل نوسود منجر به توقف حفاری تونل به مدت چندین ماه و کشته شده تعدادی از کارکنان تونل شد (مرسلی و همکاران، ۱۳۸۶) (Mirmehrabi et al 2008, Morsali and Rezaei, 2017). تونل البرز نیز مشکلاتی را در رابطه با ورود آب و گاز همراه با آب زیرزمینی به تونل تجربه نمود(Dieter, 2010) (اکبری و همکاران، ۱۳۹۹). با استفاده از هیدروژئوشیمی محدوده می‌توان تحلیل‌هایی در رابطه با شرایط آب ورودی به تونل نمود (Saberinasr et al., 2019). ورود آب زیرزمینی به تونل و افت سطح آب زیرزمینی منجر به افت سطح آب زیرزمینی و خشک شدن چشمه‌ها و منابع آبی محدوده شده و پروژه‌ها را با مشکلات جدی اجتماعی و زیست‌محیطی مواجه کرده است (Milanovic, 2007, Hassanpour et al., 2021). هجوم آب به تونل کوهرنگ مشکلات بسیاری را در حفاری تونل فوق ایجاد نموده است. هجوم آب باعث بروز مشکلاتی در چندین مقطع از تونل سمنان شده است(Zarei, 2010). ورود آب زیرزمینی به تونل‌های انتقال آب کرج و کرمان منجر به افت سطح آب زیرزمینی و درنهایت کاهش آبدهی در چشمه‌های روستاهای مسیر تونل شده است. این کاهش آبدهی با شکایات مکرر روستاییان مواجه گردید. (مرسلی و همکاران، ۱۳۸۹، جعفر زاده، ۱۴۰۱، احمدی، ۱۴۰۲). تخمین صحیح نشت آب زیرزمینی، می‌تواند تمامی طراحی‌ها

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019231]

را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ایجاد محیط نامناسب کار، ریزش تونل و مدفون یا غرقاب شدن ماشین حفار و تجهیزات حفاری از مشکلاتی است که ارتباط مستقیم با مقدار و مکانیسم ورود آب دارد. این مخاطرات باعث کاهش سرعت حفاری، افزایش هزینه‌ها و زمان ساخت می‌شوند (Dematties, 2005, Lachassagne et al., 2015, Coli and Pranzini, 2013, Sharifzadeh and Javadi, 2017, Jinfeng et al., 2023). برآورد بار آب زیرزمینی بر روی تونل در تونل کرج از مشکلات اصلی طرح تزریق و آب‌بندی تونل است. مفاهیم زمین‌شناسی مهندسی نقش بسزایی در روش‌های برآوردهای مرتبط با آب ورودی به تونل‌ها دارد (Zolfaghari et al., 2011 مرسلی و همکاران، ۱۳۹۷، احمدی ۱۴۰۲). همچنین فشار بار آبی بر روی تونل‌ها در تونل‌های مختلفی همچون کانی سیب مشکل‌ساز شده و طرح‌های خشک اندازی اجرا شد (یزدخواستی، ۱۴۰۱). در بسیاری از مواقع برآورد صحیح بار آبی ناشی از آب‌های زیرزمینی بر روی تونل‌ها محل بحث است چراکه نبایستی ستون آبی را به‌طور مستقیم بر روی تونل در نظر گرفت (Morsali et al., 2017). بار آبی با استفاده از گمانه‌هایی که در مسیر تونل حفر می‌شود، به صورت ادواری پایش می‌گردد. همچنین آزمایش‌های لوژان در برآورد آب مقدار نفوذپذیری بکار می‌آید. آنالیزهای هیدروشیمی و ایزوتوپی نیز در بسیاری از تونل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر موارد فوق از نتایج عملیات ژئوفیزیک نیز می‌تواند در پیش‌بینی آب ورودی به تونل و مناطق پر پتانسیل استفاده نمود.

برآورد آب زیرزمینی به تونل

تأثیر آب‌های زیرزمینی بر روی حفاری و اجرای تونل از دو دیدگاه تأثیر بار هیدرولیکی (Head) آب زیرزمینی بر روی تونل و میزان آب‌های ورودی به داخل تونل قابل‌بحث است. جهت برآورد آب ورودی به تونل نیاز به شناسایی سطح ایستابی است. با توجه به اینکه در روش‌های تجربی و تحلیلی، ارتفاع سطح ایستابی(Head) و نفوذپذیری(k) توده سنگ‌های اطراف تونل نقش اساسی در محاسبات دارند و از سوی دیگر این پارامترها در طول مسیر حفاری تونل متغیر هستند، طول مسیر تونل به زون‌هایی با شرایط یکسان از نظر ارتفاع سطح ایستابی و نفوذپذیری تقسیم می‌شود. در تفکیک و تعیین این زون‌ها معیارهایی همچون تغییرات لیتولوژیک (تغییر نوع واحد زمین‌شناسی مسیر تونل)، تغییرات نفوذپذیری، تغییرات ارتفاع هیدرواستاتیکی آب زیرزمینی، تعداد و دبی چشمه‌ها و تکتونیک منطقه مدنظر قرار می‌گیرد (نخعی و همکاران، ۱۴۰۰). از مهم‌ترین روابطی که برای تخمین میزان آب به درون تونل‌ها استفاده می‌شود، می‌توان به تحلیلی و تجربی اشاره نمود (جدول ۱) (Liu, 2022). علاوه به روابط تحلیلی، مدلسازی EPM که بر پایه و اطلاعات شرایط زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی در پیش‌بینی آب ورودی به تونل مؤثر هستند (Golian et al., 2018). روش‌های پیش‌بینی جریان آب ورودی به داخل تونل با استفاده از مدل‌سازی پیوسته (تحلیلی و عددی) با پارامترهای ورودی قطعی همواره با محدودیت‌هایی در ارتباط با شرایط ناهمگن و ناهمسانگردی شدید محیط و تعیین پارامترهای ورودی (با استفاده از آزمایش‌های میدانی) هستند. همچنین، در این روش‌ها تأثیر شکستگی‌ها به عنوان مهم‌ترین عارضه هیدرولیکی توده سنگ به‌طور مناسبی در نظر گرفته نمی‌شود. اهمیت این موضوع برای جریان آب ورودی به تونل‌ها را می‌توان با استفاده از توزیع پراکندگی نقاط تخلیه آب به داخل تونل مشاهده کرد. مدل‌سازی آب ورودی به تونل در سازندهای سخت نیازمند اطلاعات دقیق و جامعی است. در غیر این صورت تخمین آب ورودی به تونل با فرض‌های زیادی مواجه خواهد شد که نتیجه را با خطاهای بسیاری همراه خواهد کرد. عملاً در مطالعات

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019231]

تونلی محدودیت‌ها و واقعیت‌های ریالی-زمانی مانع از کسب اطلاعات جامع می‌گردد. لذا مدل‌سازی در این زمینه عموماً با عدم قطعیت‌های بسیاری روبرو است. بنابراین بایستی دیدگاه هیدروژئولوژی آب ورودی به تونل و جایگاه آن بیشتر موردتوجه قرار بگیرد (نخعی و همکاران، ۱۴۰۰).

جدول ۱- فهرست روابط پیش‌بینی آب ورودی به تونل (Liu, 2022)

Table 1- List of formulas for predicting water inflow into tunnel (Liu, 2022)

Method	Scope of application	Formula and Definition of the symbols
Kosgakov formula	Tunnels through phreatic aquifers	$Q=(2\alpha KH0/lnR-lnr)\ \ \alpha=(\pi/2)H0/R$ *Q s*—predicted stable-state water influx through the tunnel through the aquifer (m3/d); *K*—permeability coefficient of the rock (m/d); *H*0—distance from the original static-state water level to the center of the equivalent circle of the cave-body cross section (m); *S*—depth of groundwater level drop (m); *L*—tunnel through the length of the aquifer (m); *R*—tunnel surge radius of influence (m); *r*—equivalent circle radius of tunnel cross section (m); (single tunnel application to take the value of 3.5 m, double tunnel application to take the value of 7 m).
Goodman's empirical formula	Trans-ridge and adjacent mountain tunnels through submerged water bodies	$Q0=L2\pi kH/ln⁡[(4H/d)]$ *Q* 0—predicted maximum surge into a tunnel through the aquifer (m3/); *L*—tunnel through the length of the aquifer (m); *K*—permeability coefficient of the rock (m/d); *H*—vertical distance from the original static-state water level to the equivalent circle center in the tunnel cross section (m); *d*—diameter of the equivalent circle of the tunnel body cross section (m), $d = 2r$.
Oshima Yoshi formula	Submerged aquifers	$Qmax=(2\pi mK(H-r)L/ln⁡[4(H-r)/d])$ *Q* max—predicted maximum possible water surge through the tunnel within the aquifer (m3/d); *K*—permeability coefficient of the rock (m/d); *H*—vertical distance from the original static-state water level in the aquifer to the tunnel floor (m); *L*—length of the tunnel through the aquifer (m); *d*—equivalent circle diameter of the tunnel cross section (m), $d = 2r$; *m*—conversion factor, generally taken as 0.86.

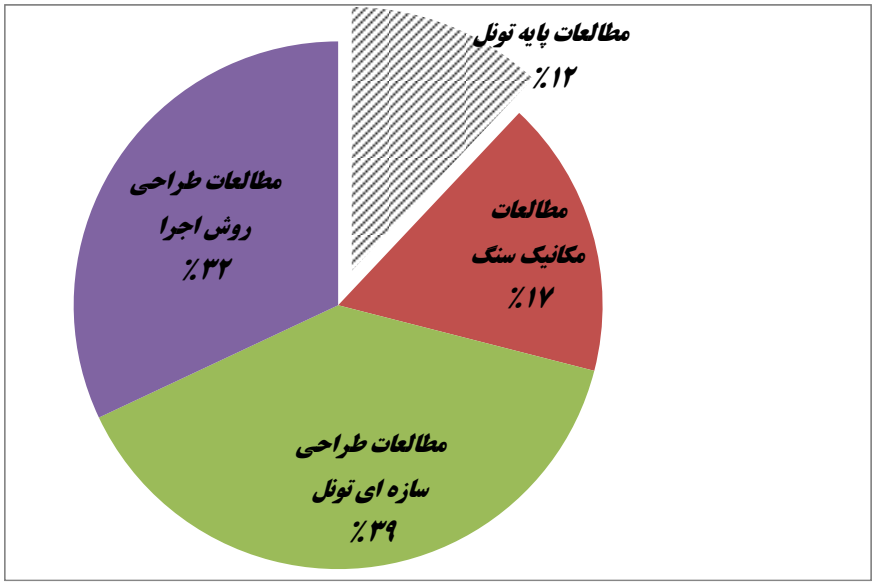
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019231]

Empirical formula for railway survey procedures	Submerged aquifers	$q0=0.0255+1.9224KHqs=KH(0.676-0.06K$ $q0$—maximum surge predicted for the tunnel through the aquifer (m3/d); qs—normal surge predicted for the tunnel through the aquifer (m3/d); K—permeability coefficient of the rock (m/d); H—vertical distance from the original static-state water level to the bottom of the tunnel distance (m).

نتایج و بحث

درصد مطالعات هیدروژئولوژی در تونل‌ها همواره کمتر از ۵ درصد کل مطالعات است. وضعیت جایگاه مطالعات هیدروژئولوژی در بخش مطالعات پایه (زمین‌شناسی) و کل مطالعات (تونل) در شکل‌های ۱ و ۲ نمایش داده شده است. چنانکه ملاحظه می‌شود، مطالعات پایه ۱۲ درصد از کل مطالعات تونلی پروژه‌های ایران را تشکیل می‌دهد. همچنین مطالعات هیدروژئولوژی که درون مطالعات پایه تقسیم‌بندی می‌شود، ۱۹ از مطالعات پایه به خود اختصاص داده است.

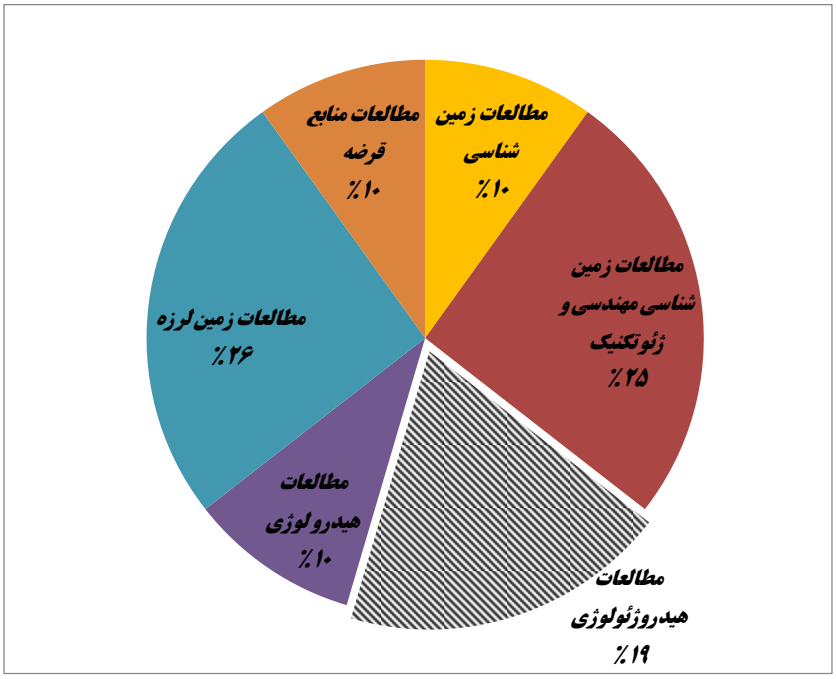


شکل ۱. وضعیت مطالعات پایه در مقایسه با سایر مطالعات تونلی در ایران

Fig. 1. The conditions of basic studies in comparison with other tunnel studies in Iran

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019231]



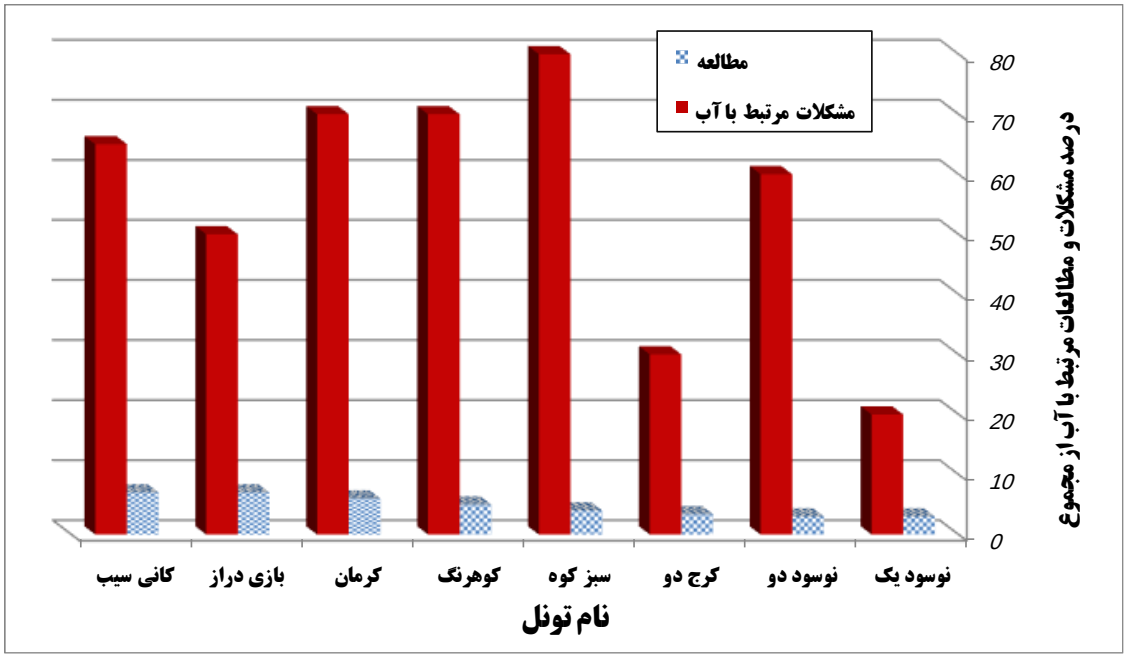
شکل ۲. وضعیت مطالعات هیدروژئولوژی در مقایسه با سایر مطالعات پایه زمین‌شناسی در ایران

Fig. 2. The conditions of hydrogeological studies in comparison with other basic geological studies in Iran

چنانکه مشاهده می‌شود همواره کمتر از ۵ درصد کل مطالعات به هیدروژئولوژی اختصاص داده‌شده است. اما مسئله مهم این است که مشکلات ناشی از ورود آب زیرزمینی به تونل در حین اجرا، بخش قابل‌توجهی از مشکلات ناشی از تونل سازی را شامل می‌شود. این میزان با توجه به مدارک مرتبط با پروژه‌ها در شکل ۳ نمایش داده‌شده است. درواقع به‌طور متوسط بیش از ۳۰ درصد از کل مشکلات حفاری تونل مرتبط با ورود آب زیرزمینی است. بنابراین یک ناهمخوانی و عدم تناسب بین وزن مطالعات هیدروژئولوژی و وزن مشکلات ناشی از آن در پروژه‌های تونل صورت گرفته در کشور وجود دارد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019231]



شکل ۳. نسبت مطالعات هیدروژئولوژی و مشکلات مرتبط با هیدروژئولوژی در پروژه‌های تونلی

Fig. 3. Comparison of hydrogeology studies and problems related to hydrogeology in tunnel projects

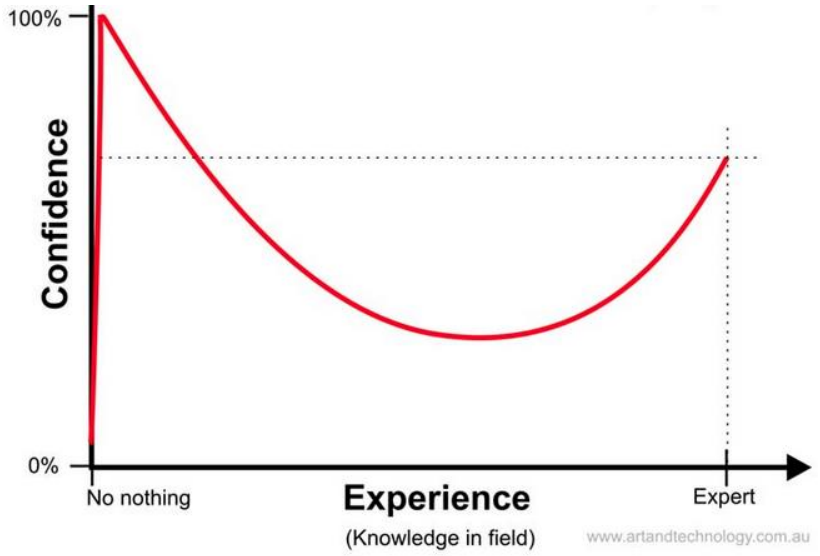
دلایل عدم تناسب مطالعات و مشکلات هیدروژئولوژی در تونل‌ها را می‌توان به موارد زیر تفکیک نمود:

- ماهیت پدیده و پیچیدگی‌های آن
- کمبود زمان مطالعات قبل از آغاز پروژه
- کمبود امکانات و ابزارها و آزمایش‌های لازم
- ضعف علمی متخصصان و عدم آموزش دانشگاهی لازم به‌عنوان یک مبحث روز

هر یک از موارد مطرح‌شده می‌تواند به‌تنهایی و یا همراه با سایر علت‌ها منجر به نقص مطالعات و شناخته نشدن جایگاه آن داشته باشد.

اثر دانینگ کروگر (Kruger and Dunning, 1999) را به وضوح در نحوه معضلات پیش‌بینی آب ورودی به تونل‌ها توسط متخصصین کشور، بکار برد (شکل۴). بر اساس این اثر، برخی از افراد، توانایی خود را بسیار بیش از اندازه واقعی ارزیابی می‌کنند. در حالی که تجربه و تخصص کافی را در این زمینه ندارند. در واقع پس به دست آوری اندک تجربه‌ای، اعتماد به نفس به بالاترین حد خود می‌رسد، اما با افزایش تجربه و دانش و درگیر شدن با چند پروژه واقعی، به مرور اعتماد به نفس کاهش یافته و مجدداً با تکمیل تجربه و دانش، اعتماد به نفس افزایش می‌یابد. بایستی توجه شود که چه متخصصی و در چه سطحی، مطالعات را انجام داده و نظر می‌دهد. لذا با توجه به این بستر بایستی مطالعات هیدروژئولوژی تونل‌های کشور را مدنظر قرار داد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019231]



شکل ۴. اثر دانینگ کروگر
Fig. 4. Dunning–Kruger effect

راهکارهای پیشنهادی جهت توجه بیشتر به مطالعات هیدروژئولوژی در پروژه‌های تونلی به شرح زیر معرفی می‌شود:

- تغییر نگرش کارفرمایان پروژه‌ها
- تغییر نگرش مدیران ارشد مهندسان مشاور
- افزایش نقش مطالعات هیدروژئولوژی در مطالعات انتخاب مسیر قبل از آغاز عملیات اجرایی
- برگزاری نشست‌های تخصصی هیدروژئولوژی تونل و دعوت از متخصصان خارجی
- تحقیق و توسعه پایان‌نامه‌های تحصیلات تکمیلی مرتبط
- ارائه طرح‌های پژوهشی به دانشگاه‌ها

درهرحال نقش متخصصان هیدروژئولوژی در معرفی جایگاه واقعی مطالعات هیدروژئولوژی بسیار حیاتی بوده و نیازمند تلاش بیشتر متخصصان در این زمینه است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای اولین بار جایگاه مطالعات هیدروژئولوژی در پروژه‌های تونلی به‌عنوان یک مبحث جدید و به‌روز نیاز در صنعت موردتوجه قرارگرفته است. آب‌های زیرزمینی یکی از اصلی‌ترین مطالعات در طراحی پروژه‌های تونلی است. این در حالی است که وزن مطالعاتی این مبحث در مقایسه با سایر مطالعات، کم بوده و اهمیت کافی به آن داده نمی‌شود. متأسفانه عدم توجه به این موضوع منجر به افزایش معضلات و هزینه‌های پروژه‌های تونلی به دلیل مشکلاتی همچون هجوم آب زیرزمینی به تونل، ناپایداری سگمنت‌ها به دلیل بار آبی، خشک شدن چشمه‌ها و مسائل زیست‌محیطی و غیره شده است. بنابراین توجه کافی به مطالعات آب‌های زیرزمینی قبل و حین اجرای پروژه‌های تونلی، توجه پژوهشی و دانشگاهی به این

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019231]

موضوع و افزایش و به‌روزرسانی آزمایش‌ها و ابزارهای لازم و درنهایت تغییر نگرش مدیران، جهت کاهش مشکلات در پروژه‌های تونلی بسیار محسوس است.

قدردانی

از مهندسین مشاور ساحل امید ایرانیان به دلیل قرار دادن داده‌ها و اطلاعات لازم تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

احمدی، فاطمه، ۱۴۰۲. هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی مهندسی کرمان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.

اکبری، علی رضا، زارع، شکرالله، عطایی، محمد، ۱۳۹۹. رتبه‌بندی ریسک احداث مکانیزه تونل‌های بزرگ مقطع با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی در تونل غربی البرز آزادراه تهران شمال، نشریه مهندسی منابع طبیعی، سال ۱۳۹۹، دوره ۵، شماره ۲، صفحات ۶۵-۴۳.

جعفرزاده، احمد، صابری نصر، امیر، هاشم نژاد، آرش، مرسلی، مسعود، ۱۴۰۱. تحلیل عدم قطعیت شبیه‌سازی عددی هجوم آب به تونل انتقال آب صفا رود کرمان، نشریه مدیریت آب و آبیاری دانشگاه تهران، سال دوازدهم، شماره ۴ (زمستان ۱۴۰۱)، صفحات ۶۷۵ تا ۶۹۴.

مرسلی، م.، حسن‌پور، ج.، شمسی، غ.، ۱۳۸۶. بررسی نشت گاز و هجوم آب به داخل تونل در حال حفر تاقدیس اسپر، بیست و ششمین همایش علوم زمین و معدن، سازمان زمین‌شناسی کشور.

مرسلی، مسعود، ۱۴۰۱. تکمیل روش SGR با داده‌های واقعی در برآورد آب ورودی به تونل‌های سنگی، نشریه علمی پژوهشی مکانیک سنگ، دوره پنجم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱، صفحه ۶۲-۵۳.

مرسلی، مسعود، ۱۴۰۱. معرفی طبقه‌بندی ژئوموفولوژیکی مقاومت توده سنگ به‌عنوان معیاری در برآورد آب ورودی به تونل‌ها، نشریه علوم زمین، زمستان۱۴۰۱. دوره ۳۱، شماره ۴.

مرسلی، مسعود، ۱۳۸۹. ارزیابی احتمال خشک شدن چشمه‌ها در اثر حفر تونل انتقال آب سد کرج به تهران، بیست و هشتمین همایش علوم زمین و معدن و چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه ارومیه.

مرسلی، مسعود، نخعی، محمد، رضایی، محسن، ناصری، حمیدرضا، حسن‌پور، ج.، ۱۳۹۷. مقایسه روش‌ها و متغیرهای مؤثر در آب ورودی به تونل‌های سازندهای سخت، تونل انتقال آب سد کرج به تهران، نشریه علوم زمین، بهار ۱۳۹۷. سال بیست و هفتم، شماره ۱۰۷ ، صفحه ۱۱۳ تا ۱۲۲.

نخعی، محمد، مرسلی، مسعود، طریق ازلی، صادق، ۱۴۰۰. هیدروژئولوژی تونل در محیط‌های سنگی، ۱۸۹ صفحه، انتشارات جنگل.

یزدخواستی، عطیه، ۱۴۰۱. بررسی خشک اندازی و زمین‌شناسی مهندسی تونل کانی سیب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.

Coli, N., Pranzini, G., 2013. Tunneling and hydrogeological issue: A short review of the current state of the art, Rock Mechanics and rock engineering, Doi:10.1007/s00603-012-0319-x.

Dieter, W., 2010. Alborz Service Tunnel in Iran: TBM Tunnelling in Difficult Ground Conditions and its Solutions, Amberg Engineering Ltd., 1st Regional and 8th Iranian Tunneling Conference, Tehran, Iran.

El Tani, M., 2003. Circular tunnel in a semi-infinite aquifer, Tunnelling and Underground Space Technology 18, 49–55.

Golian, M., Teshnizi, E.S. & Nakhaei, M., 2018. Hydrogeology Journal, Doi: 10.1007/s10040-018-1835-x.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019231]

Goodman, R.E., Moye, D.G., Van Schalkwyk, A., Javandel, I., 1965. Ground water inflows during tunnel driving. Bull. Ass. Eng. Geologists 2, 35–56.

Hassanpour, J., Lotfipoor, A. & Morsali, M., 2021. Introduction of an empirical classification system for evaluating tunneling impact on the discharge of springs (TIS) in the surrounding areas. Bull Eng Geol Environ (2021). https://doi.org/10.1007/s10064-021-02268-5.

Heuer, R. E. 2001. Estimating Rock tunnel water inflow. Geotechnical consulting McHenry.

Jinfeng Bi, Hong Jiang, Wenqi Ding, 2023. Analytical solution for calculating the flow rate in a lined tunnel with drainage systems, Tunnelling and Underground Space Technology, https://doi.org/10.1016/j.tust.2023.105132.

Liu, Xialin, 2022. Predicting Tunnel Groundwater Inflow by Geological Investigation Using Horizontal Directional Drilling Technology, Advances in Civil Engineering Volume, 2022, Article ID 6578331, 12 pages https://doi.org/10.1155/2022/6578331.

Milanovic, P., 2007. Nowsoud water conveyance tunnel project, Mission Report, Iran Water & Power Resources Development Company.

Mirmehrabi, H., Hassanpour, J., Morsali M. and Tarigh azali S., 2008. Experiences Gained from Gas and Water Inflow Toward the Tunnel, Case Study: Aspar Anticline, Kermanshah, Iran, 5th Asian Rock Mechanics Symposium, 24-26 November 2008, Tehran. Iran.

Morsali, M., Nakhaei, M., Rezaei, M., Nasery, H., and Hassanpour, J., 2017. A New Approach of Water head estimation based on water inflow into the tunnel (Case study: Karaj water conveyance tunnel), Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology. DOI: 10.1144/qjegh2016-015, (IF: 1.263).

Morsali, Massoud, Rezaei, Mohsen, 2017. Assessment of H2S emission hazards into tunnels: The Nosoud tunnel case study from Iran, journal of Environmental Earth Sciences, DOI: 10.1007/s12665-017-6493-0, (IF: 1.765).

Saberinasr, A., Morsali, M., Hashemnejad, A., Hassanpour, J., 2019. Determining the groundwater elements origin using Hydrochemical data (Case study: Kerman water conveyance tunnel), Environ Earth Sci, 78: 198. DOI: 10.1007/s12665-019-8182-7, (IF: 1.765).

Sharifzadeh, M., Javadi, M., 2017. Groundwater and Underground Excavations: from Theory to Practice [Series: Rock Mechanics and Engineering, volume 3, Chapter 10, Editor: Xia-Ting Feng; CRC Press]

Zarei, H.R., Uromeihy, A., Sharifzadeh, M., 2010. Evaluation of high local groundwater inflow to a rock tunnel by characterization of geological features, Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 26, Issue 2, March 2011, Pages 364-373.

Zolfaghari, M., Mokhtari, E., Morsali, M., 2011. Geological evidences of collapse zones in TBM tunneling; a case study of Ghomroud water conveyance tunnel, IRAN, ATS11-02113.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019231]

The position of groundwater studies in tunnel projects in Iran

Massoud Morsali*[1]

1. Assistant professor, Department of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Received: 26 Sep 2023 Accepted: 01 Dec 2023

Abstract

Tunneling in a saturated environment and the intrusion of groundwater flow into tunnels during excavation is one of the most serious problems in tunneling projects. Water ingress into the tunnel can lead to damage to tunnel construction equipment, personnel, the excavation process, etc. The hydrogeological studies of the springs along the tunnel route and the estimation of the water entering the tunnel also investigate the possibility of drying up or reducing the water level of the tunnel route. The hydrogeological studies of the springs along the tunnel route and the estimation of the water inflow into the tunnel will also examine the possibility of drying up the springs or reducing the water level of the tunnel route. On the other hand, the complications of water ingress into the tunnel and the lack of an accurate and appropriate method increase the importance of these studies. Experimental and analytical methods are available to predict water inflow into a tunnel. In this article, in addition to presenting the general process of carrying out hydrogeological studies of tunnels, the weight percentage of hydrogeological studies and the problems associated with them are discussed. On average, more than 30% of all tunnel problems are related to groundwater, but less than 5% of studies are carried out in this field. The disproportionate weight of the above two cases and its causes are among the other cases discussed in this article.

Keywords: Groundwater, Tunnel, issue excavation, separation of studies.

Introduction

Today, with the reduction of dam projects, tunneling has become one of the largest national construction projects in Iran. Given the climatic conditions in the country, it is predicted that tunneling will become much more prosperous in the coming years. One of the most important issues in tunneling is the interaction of groundwater with the rock mass and the excavated tunnel. Although various methods have been proposed to estimate the water inflow into the tunnel, the correct estimation of this problem has always been one of the main problems of tunnel construction. Due to the expansion of the country's needs, the construction of tunnels in different areas and under complex conditions is increasing.

For this reason, this problem is one of the most current and important topics that the industry requires from applied geological research. One of the things that always causes uncertainty in the analysis is the presence of underground water. Since the ingress of water into tunnels can cause damage to tunneling equipment, workers, operations, etc., engineers and tunnel designers should determine how

*Corresponding author: m.morsali@sci.ui.ac.ir

DOI: http://doi.org/10.22034/JEG.2023.17.3.1019231

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019231]

much water to expect before excavation begins. Knowing the amount of infiltration and ingress of groundwater can be effective in selecting the appropriate drilling method, as well as the design and size of the pump needed to remove the water from the tunnel. In addition, the lowering of the groundwater table caused by the ingress of water into the tunnel will lead to a reduction in flooding and the drying up of surface water resources, which will ultimately lead to environmental problems. It should be noted that the lack of studies or an error in estimating the water entering the tunnel will lead to the introduction of unnecessary and unplanned costs into the project. Hydrogeological studies in tunneling projects are among the most fundamental studies and are important in terms of influencing or affecting the tunneling process. The complications of groundwater inflow into the tunnel and the lack of an accurate and appropriate method increase the importance of these studies. Despite the importance of this issue, the weighting of hydrogeological studies is not proportional to the problems caused by groundwater.

Materials and Methods

Problems of underground water entering the tunnel

As human societies progress and the population increases, the use of underground spaces becomes more widespread and diverse. One of the most widely used types of underground spaces are tunnels, which are built for various purposes such as transportation and transfer of water and sewage. The safe and economical design of tunnels requires knowledge of rock and soil mechanics, geology, economics, statistics and other related sciences, and the variety of specialities makes the design of these spaces difficult and complicated.

One of the main reasons for addressing this issue is its extreme importance, which can cause many problems during the implementation of the project, both economic and technical (executive and environmental problems and delays in implementation). The presence of groundwater has many implications in civil engineering projects such as tunnels. Correct estimation of underground water leakage can affect all designs. Creation of an unsuitable working environment, tunnel collapse and burying or flooding of the drill and drilling equipment are problems directly related to the amount and mechanism of water inflow. These risks reduce the excavation speed and increase the construction cost and time (Dematties, 2005, Lachassagne et al., 2015, Coli and Pranzini, 2013, Sharifzadeh and Javadi, 2017, Jinfeng et al., 2023). The effect of groundwater on tunnel excavation and execution can be discussed from two perspectives: the effect of the hydraulic head (head) of groundwater on the tunnel, and the amount of water entering the tunnel. In order to estimate the amount of water entering the tunnel, it is necessary to determine the stagnation level. Since, in experimental and analytical methods, the height of the stability level (Head) and the permeability (k) of the rock mass around the tunnel play an important role in the calculations, and, on the other hand, these parameters are variable along the tunnel excavation route, the length of the tunnel is divided into zones with the same conditions in terms of height of the stagnation level and permeability.

Results and Discussion

The percentage of hydrogeological studies in tunnels is always less than 5% of all studies. However, it is important to note that the problems caused by the ingress of groundwater into the tunnel during construction represent a significant proportion of the problems caused by tunneling.

In fact, on average, more than 30% of all tunneling problems are related to the ingress of groundwater. There is therefore an inconsistency and disproportion between the importance of hydrogeological

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019231]

studies and the importance of the problems they cause in tunnel projects carried out in the country. The work of Dunning-Kruger (Kruger and Dunning, 1999) has been clearly applied by the country's experts in the way of predicting problems of water inflow in tunnels.

Proposed solutions for giving more attention to hydrogeological studies in tunnel projects are presented below:

Changing the attitude of project employers

- Changing the attitude of senior managers and consulting engineers
- Increasing the role of hydrogeological studies in route selection studies prior to the start of operations
- Organizing specialist tunnel hydrogeology meetings and inviting foreign experts
- Research and development of related postgraduate theses
- Presentation of research projects to universities

Conclusions

This study is the first to consider the place of hydrogeological studies in tunnel projects as a new and current need in the industry. Groundwater is one of the most important studies in the design of tunnel projects. This is despite the fact that the study weight of this topic is low compared to other studies and it is not given enough importance.

Unfortunately, the lack of attention to this issue has led to an increase in the problems and costs of tunnel projects due to problems such as the influx of groundwater into the tunnel, instability of segments due to water load, drying up of springs and environmental issues, etc. It is therefore very important to pay sufficient attention to underground water studies before and during the implementation of tunnel projects, to devote research and academic attention to this issue and to increase and update the necessary tests and tools, and finally to change the attitude of managers in order to reduce problems in tunnel projects.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.3.1019231]