

## تخمین نشت تونل انتقال آب امیرکبیر با بهره‌گیری از روش‌های تحلیلی و مقایسه آن با روش SGR

هادی فرهادیان<sup>۱</sup>، میثم سلوکی<sup>۲</sup>، همایون کتیبه<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر farhadian@aut.ac.ir

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرمسار

۳- استادیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۶/۲۶ تاریخ تصویب: ۱۳۹۰/۱۲/۵

### چکیده

در این تحقیق، با استفاده از روش‌های تحلیلی، میزان نشت آب زیرزمینی در ۱۱۰ مقطع مختلف از مسیر تونل انتقال آب امیرکبیر (کیلومتر ۳/۱ تا ۱۴/۱) تخمین زده شده است. آنگاه، نتایج حاصله با نتایج حاصل از روش رده‌بندی ساختگاه تونل (SGR) مقایسه گردید. مسیر تونل انتقال آب امیرکبیر در کیلومترهای ۳/۹، ۴/۷، ۷/۸ و ۱۰/۱ در مناطق خرد شده و گسله قرار دارد که بر اساس روش SGR و نیز محاسبات تحلیلی، نشت آب زیرزمینی به تونل، در این مناطق متمرکز شده است و در فواصل ۸/۷ - ۱۰ و ۱۰/۲ - ۱۴/۱ کیلومتر از مسیر تونل به دلیل زیاد بودن فاصله درزه‌ها و شکستگی‌ها در ساختگاه تونل، کم بودن اندازه دهانه درزه و پایین بودن مقدار نفوذپذیری، کمترین مقادیر نشت آب زیرزمینی به تونل محاسبه شده است. نتایج بدست آمده از رده‌بندی ساختگاه تونل به کمک روش SGR تطابق خوبی را با مقادیر بدست آمده از روش‌های تحلیلی در محاسبه میزان نشت آب زیرزمینی به تونل نشان می‌دهد. بر طبق روش SGR، بیش از ۶۰ درصد از مسیر تونل انتقال آب امیرکبیر در رده بی خطر قرار گرفته است که با نتایج حاصل از معادلات تحلیلی که مقدار جریانی در حدود ۰/۰۲۶ لیتر بر ثانیه در هر متر را نشان می‌دهد، همخوانی دارد. از سوی دیگر بر طبق روش SGR در حدود ۵ درصد از تونل در منطقه بحرانی قرار گرفته است که عمدتاً منطبق بر مناطق گسله و زون خرد شده است که بر طبق نتایج حاصل از معادلات تحلیلی مقدار جریانی در حدود ۰/۴۶ لیتر بر ثانیه در هر متر خواهد داشت.

واژگان کلیدی: تونل امیرکبیر، آب زیرزمینی، معادلات تحلیلی، SGR

### مقدمه

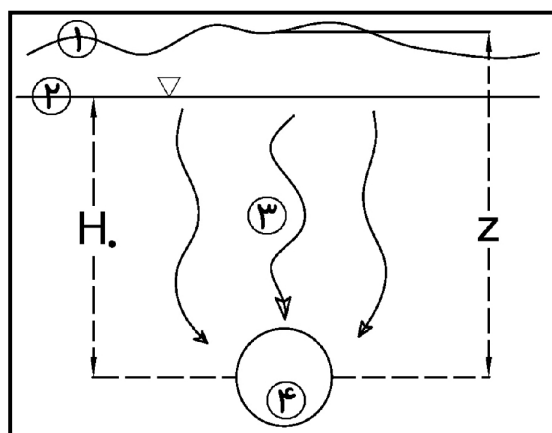
قبل از عملیات اجرایی تونل، تخمینی از میزان نفوذ آب زیرزمینی به آن به دست آید تا قبل از شروع عملیات، راه کارهایی مناسب برای مقابله با مشکلات ناشی از نفوذ آب اندیشیده شود. به علت عدم امکان شناسایی و تعیین دقیق کلیه عوامل تأثیرگذار بر جریان

گسترش روزافزون صنعت تونل سازی در کشور ایران را در زمره کشورهای پرکاربرد در این زمینه در جهان قرار داده است. از آن جا که مقادیر بالای فشار و دبی آب زیرزمینی ورودی به تونل در حین اجرا مشکلات عمده ای را موجب می شود، لازم است که

## معرفی روابط تحلیلی جریان نشت آب به تونل و حدود اعتبار آن ها

روش های تحلیلی با تکیه بر معادلات حاکم بر جریان آب به سمت تونل ها با در نظر گرفتن پارامترهایی نظیر نفوذپذیری توده سنگ، ارتفاع سطح ایستابی شعاع تونل و غیره به تخمین میزان نفوذ آب به تونل ها می پردازند. جدول ۱ برخی از معادلات تحلیلی حاکم بر جریان آب به سمت تونل ها را نشان می دهد. در این معادلات  $h$ ، فاصله مرکز تونل تا سطح ایستابی،  $Z$ ، ضخامت روباره  $r$  شعاع تونل  $K$ ، ضریب نفوذپذیری معادل محیط سنگ در امتداد جریان نشت و  $Q$ ، میزان نفوذ آب در واحد طول تونل است [14]. شکل ۱ نشان دهنده کلیاتی در ارتباط با پارامترهای مورد استفاده در روابط ارائه شده در جدول ۱ است. معادلات تحلیلی ارائه شده در شرایط زیر معتبر نیستند: (۱) جریان عبوری از توده سنگ اطراف تونل به صورت قائم باشد، (۲) لایه بندی در توده سنگ اطراف تونل بسیار متغیر باشد و (۳) نفوذپذیری توده سنگ به طور دقیقی مشخص نشده باشد [15].

آب به درون تونل، به ویژه هنگام اجرای عملیات حفاری در سنگ، پیش بینی دقیق مقدار نفوذ آب زیرزمینی به درون تونل های حفر شده در محیط سنگی، مشکل است، بر همین اساس روش ها و معادلات تحلیلی به دلیل بهره گیری از ساده سازی ها و فرضیات عملی، کاربرد زیادی در محاسبه میزان نشت آب به تونل ها دارند. از مهم ترین تحقیقات در خصوص محاسبه ی نشت آب به درون تونل می توان به تحقیقات گودمن ( Goodman et. ) (Al., 1965) [5] فریز و چری ( Freeze & Cherry, ) (1979) [6]، هیوور (Heuer, 1995) [7]، لئی (Lei, 1999) [8]، و کارلسرود (Karlsrud, 2001) [9] لومباردی (Lombardi, 2002) [10] و التانی (EL-Tani, 1999, 2003) [11, 12] اشاره نمود. همچنین، کتیبه و انوری (۱۳۸۸) رده بندی ساختگاه تونل از نظر خطر نفوذ آب زیرزمینی به تونل را براساس مطالعات اولیه ساختگاه ارائه کرده و نام آن را SGR گذاشتند [13]. در این رده بندی ساختگاه از نقطه نظر خطر نفوذ آب به شش رده مختلف تقسیم به صورت کمی و کیفی ارزیابی می گردد [13].



شکل ۱- وضعیت تونل در رابطه گودمن و همکاران (۱۹۶۵) و معرفی پارامترهای آن. تونل در ناحیه ی اشباع قرار دارد. (۱) سطح زمین (۲) سطح ایستابی آب زیرزمینی که این سطح ممکن است فراتر از روباره باشد. (۳) محیط حرکت آب. پارامتر نفوذپذیری معادل را می توان در این محیط محاسبه و تعیین نمود، (۴) محیط درون تونل [۱]

توضیحات	رابطه	مرجع
این معادله دارای سه پیش‌فرض اساسی و اولیه‌ی ذیل است؛ جریان شعاعی، عدم تغییرات قابل توجه لایه‌بندی و اعمال صحیح نفوذپذیری معادل محیط.	$Q = 2\pi K \frac{h}{\ln\left(\frac{2z}{r}\right)}$	گودمن (۱۹۶۵)
در این رابطه روش گودمن با اعمال دقیق تر شرایط واقعی تصحیح شده است.	$Q = 2\pi K \frac{h}{\ln\left(\frac{h}{r} + \sqrt{\left(\frac{h}{r}\right)^2 - 1}\right)}$	لی (۱۹۹۹)
با استفاده از رابطه (۱) به منظور کاهش خطا در مورد تونل‌های عمیق و کم عمق (زیر سطح ایستابی) بر اساس مشاهدات میدانی تدوین شده است.	$Q = 2\pi K \frac{h}{\ln\left(\frac{2h}{r} - 1\right)}$	کارلسرود (۲۰۰۱)
در این رابطه روش کارلسرود با اعمال شرایط دقیق تر تصحیح شده است.	$Q = 2\pi k \frac{h}{\ln\left(\frac{2h}{r} \left(1 + 0.4\left(\frac{r}{h}\right)^2\right)\right)}$	لومباردی (۲۰۰۲)
در این رابطه $\lambda = (h/r) - ((h^2/r^2) - 1)^{1/2}$ می باشد.	$Q = 2\pi k \frac{\lambda^2 - 1}{\lambda^2 + 1} \frac{h}{\ln \lambda}$	التانی (۲۰۰۳)

بر طبق این روش، امتیاز کلی ساختگاه، SGR، از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$SGR = [(S_1 + S_2 + S_3 + S_4) + S_5] S_6 \cdot S_7 \quad (۱)$$

که  $S_1$  امتیاز فراوانی درزه‌ها و بازشدگی آنها،  $S_2$  شیب‌توزیته،  $S_3$  مناطق خرد شده و گسله،  $S_4$  کارستی شده،  $S_5$  ضریب نفوذپذیری خاک،  $S_6$  موقعیت تونل نسبت به سطح ایستابی یا پیژومتریک و  $S_7$  میزان بارش منطقه می باشد. بدیهی است که در ساختگاه سنگی پارامترهایی نظیر شکستگی و درزه و شکاف فراوانی درزه‌ها و کارستیفیکاسیون مطرح می‌باشد که در ساختگاه خاکی مطرح نمی‌باشد. بالعکس در ساختگاه خاکی پارامتر ضریب نفوذپذیری مطرح می‌باشد که در ساختگاه سنگی، این عامل، در فراوانی درزه‌ها و بازشدگی آن‌ها و سایر عوامل نهفته است. میزان و شدت بارش منطقه نیز هنگامی مطرح می‌شود که تونل در زون غیر اشباع حفر گردد و هنگامی که تونل در زون اشباع حفر گردد امتیاز این عامل خود

### رده‌بندی ساختگاه تونل‌ها از نظر خطر نشت آب به کمک روش SGR

کتیبه و عالی انوری در سال ۱۳۸۸ برای اولین بار سیستم رده بندی SGR (Site groundwater rating) را به منظور تقسیم بندی مسیر تونل از نقطه نظر خطر نشت آب زیرزمینی با دید کیفی و کمی، براساس مطالعات اولیه ساختگاه، ارائه دادند [13]. در این سیستم رده بندی، با در نظر گرفتن پارامترهایی نظیر فراوانی و بازشدگی درزه‌ها، شیب‌توزیته، زون‌های خرد شده و گسله، کارستیفیکاسیون، ضریب نفوذپذیری خاک، موقعیت تونل نسبت به سطح ایستابی یا پیژومتریک و میزان و شدت بارش منطقه و امتیازدهی به این پارامترها، مسیر تونل از نقطه نظر نشت آب زیرزمینی به ۶ رده بی خطر، کم خطر نسبتاً خطرناک، خطرناک، خطر بالا و شدیداً بحرانی تقسیم بندی می شود.

به خود صفر منظور می‌گردد.

موجب شود که تا باطراحی مناسب سیستم های زهکشی و حتی انتخاب مناسب ترین روش حفاری تمهیدات لازم برای جلوگیری از خطرات احتمالی لحاظ گردد. هر چه ضریب SGR بزرگتر باشد حجم آب نفوذی به تونل (حداقل در کوتاه مدت) نیز بیشتر خواهد بود و لذا ابزار و روش های زهکشی بایستی قویتر و پرهزینه تر باشد. حتی گاه در روش حفر تونل نیز بایستی تجدید نظر نمود به گونه های که از احتمال رخداد حوادث ناگهانی و زیان بار کاسته شود.

پس از محاسبه ضریب SGR برای مقطع مورد نظر در تونل، بایستی ملاکی جهت ارزیابی میزان و بزرگی این ضریب وجود داشته باشد تا بتوان بر آن اساس خطر نشت آب را (با یک دید کمی) ارزیابی نمود. از طرفی دیگر، مقدار جریان ورودی آب زیرزمینی به داخل تونل می تواند پیش بینی شود تا با طراحی مناسب سیستم های زهکشی و حتی انتخاب مناسب ترین روش حفاری، تمهیدات لازم برای جلوگیری از خطر نشت لحاظ گردد. این کار براساس مقادیر جدول ۲ پیشنهاد می‌گردد [13]. پیش بینی مقدار جریان ورودی آب زیرزمینی به داخل تونل می تواند

جدول ۲- رده بندی کیفی و کمی ساختگاه تونل ها از نظر خطر نشت آب بر حسب ضریب SGR [13]

ضریب SGR	رده	خطر هجوم آب	مقدار جریان پیشنهادی به تونل توسط SGR (L/sec/m)
۰-۱۰۰	I	بی خطر	۰-۰/۰۴
۱۰۰-۳۰۰	II	کم خطر	۰/۰۴-۰/۱
۳۰۰-۵۰۰	III	نسبتاً خطرناک	۰/۱-۰/۱۶
۵۰۰-۷۰۰	IV	خطرناک	۰/۱۶-۰/۲۸
۷۰۰-۱۰۰۰	V	خطر بالا	$Q > 0/28$
$> 1000$	VI	شدیداً خطرناک و بحرانی	—

و در حال اجرا می‌باشد. محدوده ای آن ارتفاعات شرق کرج شروع و تا کوه های غرب دهکده المپیک (غرب تهران) و شمال شهرک راه آهن ادامه دارد. این محدوده در واقع محل عبور تونل انتقال آب در حد فاصل کندر تا خروجی تونل به طول ۱۶ کیلومتر می‌باشد که مرز جنوبی آن حد کوه و دشت کرج شهریار و مرز شمالی آن گسل رورانده وردیج پورکان است. این محدوده در مختصات زیر واقع شده است:

UTMX: 508000-522000

UTMY: 3958000-3967000

یکی از مشکلاتی که در اجرای پروژه تونل انتقال آب امیرکبیر وجود دارد احتمال هجوم آب های زیرزمینی به تونل در هنگام انجام عملیات حفاری است. در این مقاله به بررسی نتایج معادلات تحلیلی ارائه شده و رده بندی نشت آب زیرزمینی (SGR)، در طول ۱۱ کیلومتر از این تونل پرداخته شد.

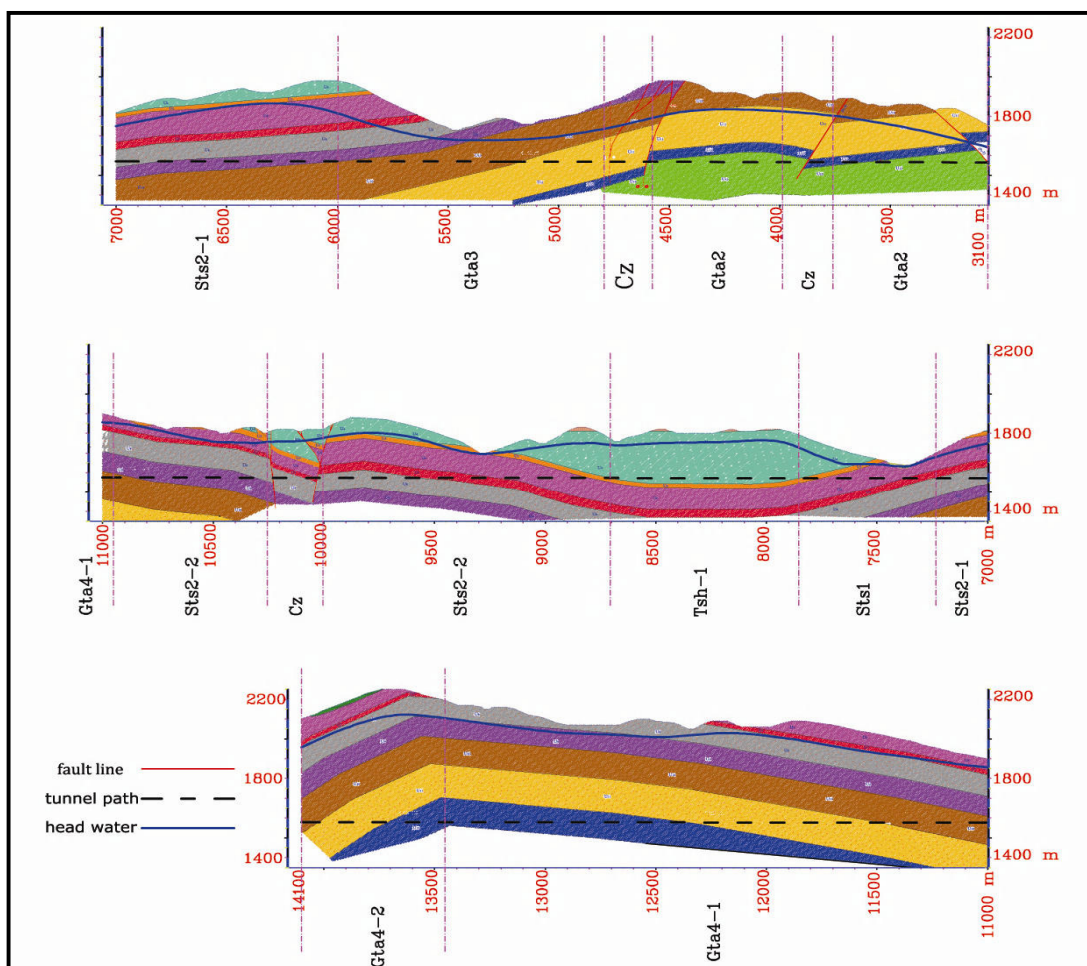
#### موقعیت تونل انتقال آب امیرکبیر

تونل انتقال آب امیرکبیر واقع در شمال غرب تهران به منظور انتقال آب از سد امیرکبیر به تهران طراحی

### سازندها و زمین شناسی منطقه

سازندهای زمین شناسی منطقه شامل واحدهای مختلف سازند کرج باسن ائوسن می‌باشد که بطور کلی و بر روی هم به نام "توف های کرج" معروف هستند. این واحدها تمامی ارتفاعات منطقه را پوشانده و اغلب توپوگرافی ملایم و فرسایش پذیری نسبتاً زیادی دارند. اغلب واحدهای سنگی این سازند به علت بافت دانه ریز از تراوایی ضعیفی برخوردارند و در کل از نظر تشکیل مخازن آب زیرزمینی ارزش هیدروژئولوژیکی چندانی ندارند [۲]. در مطالعات زمین‌شناسی صورت گرفته، تونل به ۱۴ واحد زمین‌شناسی مهندسی تقسیم شده که به طور کلی در برگیرنده مجموعه های رسوبی - آتشفشانی مختلفی از سازند کرج است (گروه زمین شناسی مهندسی یونسکو بر اساس هدف و مقیاس مطالعات طبقه بندی ای را برای تفکیک و تعریف واحدهای زمین شناسی مهندسی ارائه داده است که در این پروژه نیز از آن استفاده شده است، در این طبقه بندی در مقیاس های متوسط از واحدی به نام گونه لیتولوژیکی استفاده می شود). سنگ شناسی مسیر تونل به طور کلی شامل تناوبی از توف، ماسه سنگ کنگلومراهای ریز دانه و بخش‌های سیلت سنگ و گدازه و آگلومرای است [۳]. در این مطالعه به بررسی امکان نفوذ آب از کیلومتر ۳/۱ تا ۱۴/۱ تونل پرداخته می‌شود که به لحاظ زمین‌شناسی مهندسی در ۹ بخش، Gta2 (لایه های ماسه سنگ، توف)، Gta3 (لایه های ماسه سنگ، توف و میکروکنگلومرا) Gta4-1 (ماسه سنگ، توف)، Gta4-2 (توف، در بخش هایی ماسه سنگ و میکروکنگلومرا)، Sts1 (توف، سیلتستون، لایه هایی از ماسه سنگ و میکروکنگلومرا)، Sts2-1 (توف، سنگ آهک)

Sts2-2 (توف، سنگ آهک، سیلتستون، لایه هایی از ماسه سنگ و میکروکنگلومرا)، Tsh-1 (ماسه سنگ، شیل و سیلتستون) و Cr (توف، ماسه سنگ و میکروکنگلومرا) تقسیم بندی شده است (شکل ۲) [۳].



شکل ۲- نیمرخ زمین شناسی مهندسی تونل انتقال آب امیرکبیر - ۳/۱ تا ۱۴/۱ [۳]

نشان داده شده است. با مشاهده نتایج به دست آمده از محاسبه ضریب SGR، از ۱۱۰ مقطع زده شده در مسیر تونل، ۶۳ درصد از تونل در رده بی خطر قرار گرفته است که با نتایج حاصل از معادلات تحلیلی (جدول ۳) که مقدار جریانی در حدود ۰/۰۲۶ لیتر بر ثانیه بر متر را نشان می دهد همخوانی دارد. از سوی دیگر بر طبق روش SGR در حدود ۵ درصد از تونل در منطقه بحرانی قرار گرفته است که عمدتاً منطبق بر مناطق گسله و زون خرد شده است که طبق نتایج حاصل از معادلات تحلیلی مقدار جریانی در حدود ۰/۴۷ لیتر بر ثانیه بر متر خواهد داشت. با توجه به

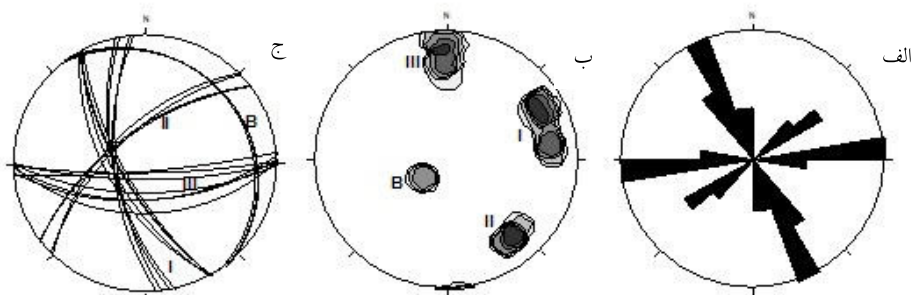
رده بندی ساختگاه تونل امیرکبیر از نظر خطر نشت آب بر حسب ضریب SGR و مقایسه آن با نتایج تحلیلی

برداشت های صحرائی انجام شده در کیلومتر ۳/۱ تا ۱۴/۱ تونل امیرکبیر نشان دهنده ۲ دسته درزه در این توده سنگ هاست (شکل ۳) [۴]. با در نظر گرفتن پارامترهایی نظیر بازشدگی درزه ها، عمق حفر تونل عرض زون های خرد شده و گسله و ارتفاع سطح ایستابی آب زیرزمینی در بالای محور تونل ضرایب SGR در ۱۱۰ مقطع زده شده از مسیر تونل محاسبه شده که خلاصه این نوع طبقه بندی در جداول ۳ و ۴

## تخمین نشت تونل انتقال آب امیرکبیر با بهره‌گیری از روش‌های تحلیلی و مقایسه .....

۱/۰۲۸، ۱۱۵۴۹/۸، ۸۹۸۴/۲ و ۱۱۵۵۳/۸ می‌باشد که در رده شدیداً خطرناک و بحرانی جای می‌گیرند. در هنگام حفر این تونل این مناطق می‌بایست مورد توجه بیشتری قرار بگیرند. همچنین همبستگی خوبی که بین میزان نفوذ آب زیرزمینی به تونل امیرکبیر به کمک روش تحلیلی و ضریب SGR در ۱۱۰ مقطع از مسیر تونل در شکل ۴ نشان داده شده، صحت محاسبات در روش تحلیلی و رده بندی خطر نشت آب به تونل را تأیید می‌کند.

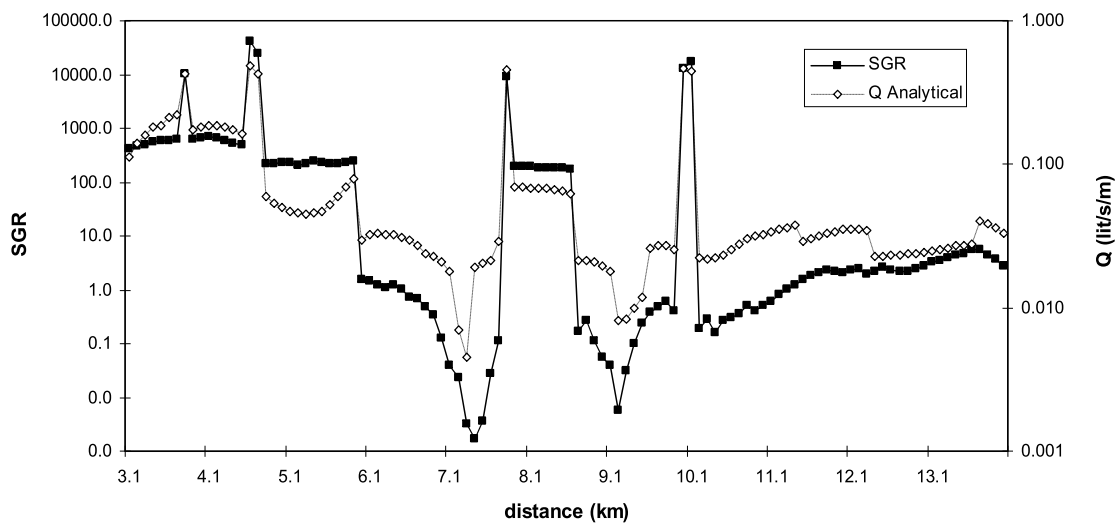
ساختار زمین شناسی و جنس سنگ ها که عمدتاً توده سنگ‌هایی با ضریب نفوذپذیری پایین هستند می‌توان چنین ادعا کرد که خطر اصلی در هنگام حفر تونل به زون‌های خرد شده‌ای مربوط می‌شود که بر طبق رده بندی SGR در منطقه بحرانی قرار گرفته‌اند. چنانچه در جدول ۴ نشان داده شده است در محل زون‌های خرد شده (فواصل ۳۹۲۰-۳۸۶۰ متر-۴۷۷۰-۴۶۱۰ متر، ۷۸۵۰-۷۷۷۰ متر و ۱۰۲۴۰-۱۰۰۲۰ متر) ضریب SGR به ترتیب برابر



شکل ۳- نمونه ای از: الف) نمودار گل سرخی، ب) نمودارهای هم تراز قطب لایه بندی و ج) میانگین یال‌ها و محور چین کیلومتر ۳/۱ تا ۱۴/۱ تونل امیرکبیر [۴]

جدول ۳- رده بندی ۱۱۰ مقطع زده شده در مسیر تونل امیرکبیر از کیلومتر ۳/۱ تا ۱۴/۱ براساس خطر نشت آب زیرزمینی به کمک روش SGR

خطر هجوم آب	تعداد مقطع	طول (m)	%	میانگین مقدار جریان ورودی معادلات تحلیلی (lit/s/m)
بی خطر	۷۰	۶۹۲۰	۶۳	۰/۰۲۶
کم خطر	۲۰	۲۱۱۰	۱۹	۰/۰۵۹
نسبتاً خطرناک	۳	۳۱۰	۳	۰/۱۳۹
خطرناک	۱۱	۱۱۴۰	۱۰	۰/۱۸۶
خطر بالا	۰	۰	۰	۰
شدیداً خطرناک و بحرانی	۶	۵۲۰	۵	۰/۴۷۷
مجموع	۱۱۰	۱۱۰۰۰	۱۰۰	۰/۸۷۷



شکل ۴- همبستگی بین میزان نفوذ آب زیرزمینی به تونل امیرکبیر به کمک روش تحلیلی و ضریب SGR در ۱۱۰ مقطع از مسیر تونل امیرکبیر از کیلومتر ۳/۱ تا ۱۴/۱

### نتیجه گیری

۰/۴۷ لیتر بر ثانیه بر متر خواهد داشت.  
 ۲- همبستگی خوبی بین میزان نفوذ آب زیرزمینی به تونل امیرکبیر به کمک روش تحلیلی و ضریب SGR در ۱۱۰ مقطع از مسیر تونل نشان داده شد که صحت محاسبات در روش تحلیلی و رده بندی خطر نشت آب به تونل را تأیید می کند.

رده بندی ساختگاه تونل به کمک روش SGR، میزان نشت آب زیرزمینی به تونل را برآورد نموده است که این میزان نشت، تطابق خوبی را با مقادیر بدست آمده از روش های تحلیلی نشان می دهد. بر اساس روش SGR و نیز محاسبات تحلیلی، نشت آب زیرزمینی به تونل، در نواحی گسل خورده متمرکز شده است. آنالیز نتایج نشان می دهد که:

۱- ۶۳ درصد از تونل امیرکبیر از نقطه نظر هجوم نشت آب زیرزمینی در رده بی خطر قرار گرفته است که با نتایج حاصل از معادلات تحلیلی که مقدار جریان در حدود ۰/۲۶ لیتر بر ثانیه بر متر را نشان می دهد همخوانی دارد. در حدود ۵ درصد از تونل در منطقه بحرانی قرار گرفته که عمدتاً منطبق بر مناطق گسله و زون خرد شده است که طبق نتایج حاصل از معادلات تحلیلی مقدار جریانی در حدود



تخمین نشت تونل انتقال آب امیرکبیر با بهره‌گیری از روش‌های تحلیلی و مقایسه .....  
 جدول ۴- خلاصه ای از رده‌بندی ساختگاه تونل امیرکبیر از نظر خطر نشت آب بر حسب ضریب SGR  
 و مقایسه ی آن با نتایج مقدار جریان ورودی به کمک روش تحلیلی

طول تونل (متر)	جنس توده سنگ	SGR	رده بندی SGR	مقدار جریان ورودی معادلات تحلیلی (lit/s/m)
۳۱۰۰-۳۳۰۰	Gta2	۴۳۴	نسبتاً خطرناک	۰/۱۲۶
۳۳۰۰-۳۸۶۰	Gta2	۵۸۳/۹۹	خطرناک	۰/۱۹۲
۳۸۶۰-۳۹۲۰	Gta2 زون خرد شده	۱۰۰۲۸/۱	شدیداً خطرناک و بحرانی	۰/۵۷۶
۳۹۲۰-۴۵۰۰	Gta2	۶۲۲/۱۰	خطرناک	۰/۱۸۱
۴۵۰۰-۴۶۱۰	Gta2	۴۹۲/۳۶	نسبتاً خطرناک	۰/۱۶۴
۴۶۱۰-۴۷۷۰	زون خرد شده Cr	۱۱۵۴۹/۸	شدیداً خطرناک و بحرانی	۰/۴۵۹
۴۷۷۰-۶۰۲۰	Gta3	۲۲۸/۸۳	کم خطر	۰/۰۵۵
۶۰۲۰-۷۲۵۰	Sts2-1	۰/۸۳	بی خطر	۰/۰۲۸
۷۲۵۰-۷۷۷۰	Sts1	۰/۰۳	بی خطر	۰/۰۱۷
۷۷۷۰-۷۸۵۰	Sts1	۸۹۸۱/۲۵	شدیداً خطرناک و بحرانی	۰/۰۴۵۶
۷۸۵۰-۸۷۱۰	Tsh-1	۱۸۶/۹۵	کم خطر	۰/۰۶۷
۸۷۱۰-۱۰۰۲۰	Sts2-2	۰/۲۳	بی خطر	۰/۰۱۹
۱۰۰۲۰-۱۰۲۴۰	Sts2-2 زون خرد شده	۱۱۵۵۳/۸	شدیداً خطرناک و بحرانی	۰/۴۶۰
۱۰۲۴۰-۱۰۷۸۰	Sts2-2	۰/۳	بی خطر	۰/۰۲۵
۱۰۷۸۰-۱۳۴۰۰	Gta4-1	۲/۰۳	بی خطر	۰/۰۳۰
۱۳۴۰۰-۱۴۱۰۰	Gta4-2	۳/۶۳	بی خطر	۰/۰۳۳

5- Goodman, R., D. Moye, A. Schalkwyk, and I. Javandel. (1965). "Groundwater inflow during tunnel driving", Engineering Geology vol.1 , pp.150-162.  
 6- Freeze, R.A.; Cherry, J.A. (1979) "Groundwater Englewood", New Jersey, Prentice-Hall Inc, TIC 217571, pp.123-154.  
 7- Heuer, R.E. (1995). "Estimating rock-tunnel water inflow". Proceeding of the Rapid Excavation and Tunneling Conference, June pp.18-21.  
 8- Lei, S., (1999). An analytical solution for steady flow into a tunnel. Ground Water 37, pp. 23-26.  
 9- Karlsrud, K.; (2001), "Water control when tunneling under urban areas in the Oslo region". NFF publication No. 12, 4, pp. 27-33.  
 10- Lombardi, G., (2002). Private communication. pp.۸۹-۹۵.

منابع

۱- عالی انوری، ع.، کتیبه، ه.، محمودآبادی، ح.، (۱۳۸۷) تخمین نفوذپذیری معادل در امتداد محور تونل امیرکبیر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی دومین کنفرانس مهندسی معدن، دانشگاه تهران، ص ۲۳۲ تا ص ۲۳۸.  
 ۲- مؤسسه مهندسی مشاور ساحل، (۱۳۸۴)، مطالعات هیدروژئولوژی مسیر تونل، پروژه تونل انتقال آب از سد امیرکبیر به تصفیه خانه شماره ۶ تهران، ص ۱ تا ص ۸۳.  
 ۳- مؤسسه مهندسی مشاور ساحل، (۱۳۸۴)، گزارش زمین شناسی مهندسی مسیر تونل، پروژه تونل انتقال آب از سد امیرکبیر به تصفیه خانه شماره ۶ تهران، ص ۱ تا ص ۱۱۱.  
 ۴- مؤسسه مهندسی مشاور ساحل، (۱۳۸۳)، زمین شناسی و نوزمین ساخت، پروژه تونل انتقال آب از سد امیرکبیر به تصفیه خانه شماره ۶ تهران، ص ۱ تا ص ۱۷۰.

- 11- El Tani, M., (1999), "Water inflow into tunnels", Proceedings of the World Tunnel Congress ITA-AITES 1999, Oslo, pp. 61-70, Balkema.
- 12- El Tani, M.; (2003), "Circular tunnel in a semi-infinite aquifer", J. of Tunneling and Underground Space. Technology, Vol. 18, PP. 49-55.
- 13- Katibeh, H., Aalianvari, A.; (2009). "Development of a new method for tunnel site rating from groundwater hazard point of view", Journal of Applied Sciences, Vol 9, pp.1496-1502.
- 14- Aalianvari, A; katibeh, H.; (2009). "Estimation of equivalent permeability in Amirkabir tunnel alignment with neural network", 21<sup>st</sup> International Mining Congress and Exhibition of Turkey May 6-8 , Antalya. pp.1002-1113.
- 15- Hwang, J.; (2007). "A semi-analytical method for analyzing the tunnel water inflow", J. of Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 22, PP. 39-46.