



Estimating of seismicity parameters in Golab 2 conveyance water tunnel with preliminary Gutenberg - Richter Method

Mohammad Azarafza*¹, Shahrzad Nikoobakht ², Ebrahim Asghari Kaljahie³ & Mirali-Akbar Nogol Sadat⁴

1) Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Yazd, Iran, m.azarafza.geotech@gmail.com

2) Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Yazd, Iran

3) Faculty of Natural Science, University of Tabriz, Iran

4) Geological and exploration survey of Iran, I.R. Iran

*) Correspondence Author

Received: 9. Jul. 2014; revised: 1. Jan. 2015; accepted: 1. Feb. 2015; available online: 6.Dec. 2015

Abstract

Generally, one of the most problematic tunnel drilled, are water transfer tunnels. These tunnels in terms of risk such as a particularly important constructs is considered and Calculation of strength parameters on seismic movements of earth must be done carefully and based on designed criteria. Due to the high sensitivity of the transfer of water in underground, study of engineering geology, seismicity tunnel, tunnel safety and stability control is critical and essential. In this study, try to study of seismotectonic and seismicity of Golab 2 water transfer tunnel located at Koron plain in Isfahan province. The aim of this study was to identify the faults, structural trends and estimation of seismicity parameter using Gutenberg - Richter primary method for 150 Km area of around the tunnel entrance by moment magnitude (M_w).

Key words: Seismicity parameters, preliminary Gutenberg - Richter method, Golab 2 Tunnel, return period in terms of moment magnitude (M_w), annual incident rate.



برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی تونل انتقال آب گلاب ۲ توسط روش مقدماتی گوتنبرگ - ریشر

محمّد آذرافزا^{۱*}، شهرزاد نیکوبخت^۱، ابراهیم اصغری کلجاهی^۲ و میرعلی اکبر نوگل سادات^۳

۱) گروه زمین شناسی مهندسی، دانشگاه یزد، m.azarafza.geotech@gmail.com

shahrzad.nikoobakht@gmail.com

۲) گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، e-asghari@tabrizu.ac.ir

۳) گروه زمین شناسی - تکتونیک، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، maanogole@yahoo.com

* (عهدہ دار مکاتبات)

دریافت: ۹۳/۴/۲۰؛ دریافت اصلاح شده: ۹۳/۱۰/۱۲؛ پذیرش: ۹۳/۱۱/۱۳؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۴/۹/۱۵

چکیده

به طور کلی یکی از مشکل سازترین نوع تونل های حفر شده، تونل های انتقال آب می باشند که از نظر خطرپذیری از جمله سازه های خاص و با اهمیت محسوب می شود و محاسبه مقاومت آن در مقابل جنبش های لرزه ای زمین باید با دقت و بر اساس معیارهای تدوین شده صورت گیرد. با توجه به حساسیت بالای انتقال آب بصورت زیرسطحی، بررسی دقیق زمین شناسی مهندسی، لرزه خیزی مسیر تونل، کنترل پایداری و ثبات ایمنی مسیر تونل، امری حیاتی و ضروری است. در این مطالعه، به بررسی لرزه زمین ساختی و لرزه خیزی محدوده مسیر تونل انتقال آب گلاب ۲ واقع در دشت کرون در استان اصفهان، پرداخته شده است. هدف از این مطالعه، شناسایی گسل ها، روندهای ساختاری و برآورد پارامترهای لرزه خیزی تونل توسط روش مقدماتی Gutenberg - Richter در گستره ۱۵۰ Km پیرامون ورودی تونل برحسب بزرگای گشتاوری (M_W) می باشد.

واژه های کلیدی: پارامترهای لرزه خیزی، روش مقدماتی گوتنبرگ - ریشر، تونل گلاب ۲، دوره بازگشت، آهنگ رویداد سالیانه.

۱- مقدمه

این نوع سازه های مهندسی حساس یکی از مهمترین رویکردهای مهندسی زمین شناسی بشمار می آید. بطوریکه عدم توجه به مسائل ژئوتکنیکی می تواند خسارات جبران ناپذیری را بر سازه و متعاقب آن بر اهداف پیش روی پروژه وارد آورد (نیکوبخت ۱۳۹۲). با توجه به اینکه رخدادهای پدیده های زمین شناختی در سراسر دنیا یک امر طبیعی

تونل های انتقال آب به دلیل طویل بودن، یکی از مسئله سازترین نوع تونل های حفر شده به شمار می آیند. طول زیاد این تونل ها باعث می شود که در طول مسیر از شرایط متنوع لیتولوژیکی و اعماق مختلف عبور نمایند (یزدخواستی ۱۳۹۱). تامین پایداری ژئوتکنیکی

بشمار می آید، آگاهانه است که پایداری تحت پدیده‌های زمین‌شناختی نیز مورد بررسی قرار گرفته و اثرات آن (که عمدتاً ناپایدار کننده هستند) را بر روی سازه‌های مهندسی مطالعه نمود. زلزله مهمترین پدیده زمین‌شناختی است که خسارات عظیمی به سازه‌ها، شهرها، تاسیسات و مردم وارد می‌کند. لذا بررسی‌های لرزه خیزی و ریسک لرزه‌ای سازه‌های مختلف بر کسی پوشیده نیست. تحلیل پایداری دینامیکی تحت بارهای لرزه‌ای توسط محققین گوناگونی برای سازه‌های مختلف سطحی و زیرسطحی ارائه و انجام شده است.

وظیفه انتقال آب از انتهای قطعه اول تونل گلاب به دشت کرون را دارد. در تصویر (۱) موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است (نیکوبخت ۱۳۹۲). بررسی‌های لرزه‌زمین‌ساختی و لرزه خیزی گستره مورد مطالعه و بخصوص محدوده ساختگاه تونل با انجام مطالعات زمین‌شناسی، زمین‌ساخت و لرزه‌زمین‌ساخت مورد بررسی قرار گرفته است. مهم‌ترین هدف از این مطالعات شناسایی گسل‌ها، روندهای ساختاری و همچنین پیشینه لرزه خیزی گستره طرح و در نهایت ارائه یک مدل لرزه‌زمین‌ساخت مناسب از گستره طرح است.

۲- تونل انتقال آب گلاب ۲

۲-۱- موقعیت مکانی گستره مورد مطالعه

ناحیه مورد بررسی تونل انتقال آب گلاب ۲ در دشت کرون در استان اصفهان (۷۵ کیلومتری غرب شهر اصفهان) واقع شده است. این قطعه در ادامه تونل گلاب از محل تلمبه خانه زیرزمینی تونل گلاب به مختصات UTM $X=488630E$ و $Y=3624178N$ شروع و پس از طی ۱۷ کیلومتر در زیر دشت کرون در ۷۵ کیلومتری جنوب غرب روستای ورپشت به مختصات $X=505516E$ و $Y=3621469N$ به انتها می‌رسد. این تونل به منظور تامین بخشی از آب شرب اصفهان،

۲-۲- زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه

محدوده مورد بررسی در پهنه سندانج سیرجان واقع شده است و روند عمومی ساختارها مطابق با روند زاگرس، NW-SE می‌باشد (نیری و همکاران، ۱۳۷۵). گستره مورد بررسی از نظر چینه‌شناسی به دو بلوک قابل تقسیم است. مرز تقسیم‌کننده این دو بلوک گسل آبریزان کاماسون می‌باشد. بخش‌های غربی این گسل تحت عنوان بلوک دگرگونه و بخش شرقی به عنوان بلوک کرون نام‌گذاری شده است (Falcon 1969). بلوک دگرگونه در پهنه سندانج سیرجان واقع شده



تصویر ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه (نیکوبخت ۱۳۹۲)

۳-۱- جایگاه و ویژگی‌های لرزه‌زمین‌سافتی گسترده مورد مطالعه

در بررسی‌های ساختگاهی برای تمام پروژه‌های عمرانی باید دانست که شرایط حاکم بر منطقه توسط سیستم زمین‌شناختی و تکتونیکی ساختگاه کنترل می‌گردد، به عبارتی تمامی تمحیداتی که باید در ساخت سازه در ساختگاه باید اجرا گردد تماماً توسط سیستم زمین‌شناختی و ساختاری ساختگاه مشخص می‌گردد (آذرافزا ۱۳۹۲). به هر حال، ساختگاه مورد مطالعه در پهنه زمین‌شناسی سنندج - سیرجان قرار دارد (نیری و همکاران ۱۳۷۵). لذا از ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی این پهنه تأثیر می‌پذیرد (نیکوبخت ۱۳۹۲). از لحاظ لرزه‌خیزی، پهنه سنندج سیرجان منطقه‌ای به نسبت آرام‌تری بوده و فعالیت لرزه‌خیزی در محل، عمدتاً تحت تأثیر گسل‌های ناحیه زاگرس یا ایران مرکزی می‌باشد، به گونه‌ای که هیچ‌کانون سطحی در اطراف ساختگاه (شعاع ۳۰ کیلومتری) مشاهده نمی‌شود (Berberian 1976). توزیع مراکز سطحی زمین‌لرزه‌ها در اطراف ساختگاه، بیانگر وجود روندهای خطی به موازات گسل جوان زاگرس در غرب منطقه می‌باشد، در حالیکه در قسمت‌های شرقی ساختگاه مراکز سطحی به صورت پراکنده بوده و روند خاصی را دنبال نمی‌کنند. مهم‌ترین چشمه لرزه‌زا پیرامون ساختگاه، گسل برزه قلعه - قلعه

و کهن‌ترین سنگ‌های آن از نوع دگرگونی می‌باشد که متعلق به پالئوزوئیک می‌باشند. عمده مسیر تونل انتقال آب گلاب ۲ در زیر دشت آبرفتی کرون و در میان سنگ کف دشت که شامل واحدهای شیلی سازند خمیران می‌باشد، حفر شده است. سازند خمیران از لایه‌های شیلی و شیلی آهکی با میان لایه‌های آهکی و آهک مارنی تشکیل شده است. در گستره تونل گلاب ۲، سنگ‌های ژوراسیک، کرتاسه و پالئوژن گسترش وسیعی دارند (نیکوبخت ۱۳۹۲).

۳- جایگاه و ویژگی‌های لرزه‌زمین‌سافتی منطقه

بررسی‌های زمین‌لرزه‌ای در سرتاسر رویه کره زمین نشان می‌دهد که اغلب آنها در مناطقی ویژه و بیشتر در راستای نوارهای منطبق بر کمربندهای کوهزایی روی داده‌اند (نوگل سادات ۱۳۷۲). یکی از کمربندهای فعال و جوان کمربند کوهزایی آلپ-هیمالیا می‌باشد که با راستایی نزدیک به خاوری باختری از کناره‌های باختری اقیانوس آرام تا سواحل خاوری اقیانوس اطلس گسترش دارد (Jackson & McKenzie 1988). کشور ایران نیز در بخش میانی این کمربند فعال واقع شده است (تصویر ۲). جایگاه ویژه زمین‌ساختی ایران از نظر لرزه‌خیزی فعال و همواره شاهد زمین‌لرزه‌های مخرب و ویرانگر بوده است (Ambraseys & Moinfar 1973).



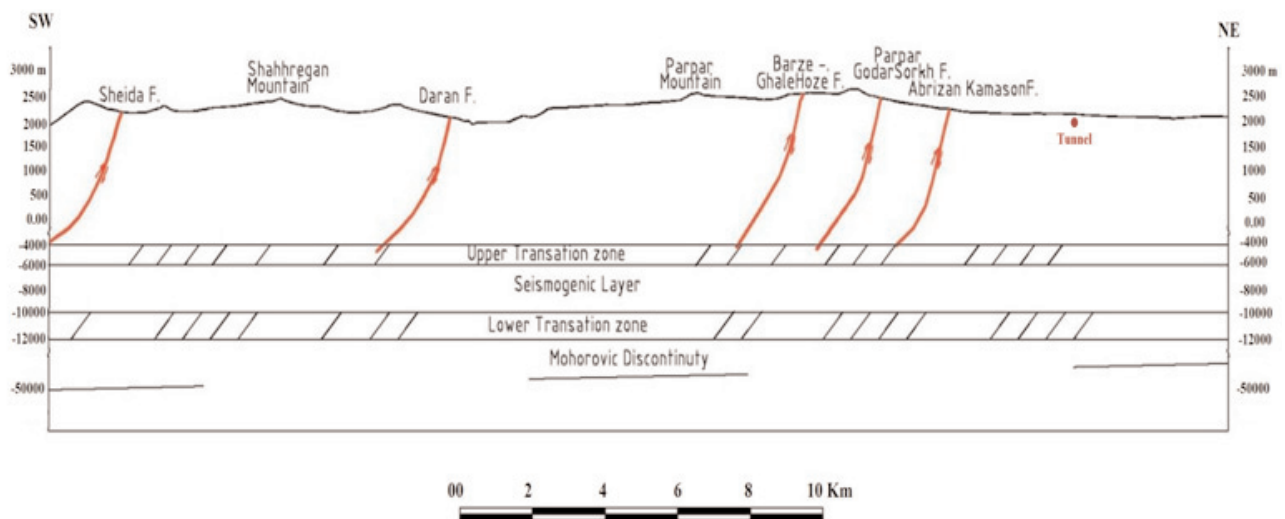
تصویر ۲- وضعیت زمین‌ساختی فلات ایران در کمربند کوهزایی آلپ-هیمالیا (Ambraseys & Moinfar 1973)

ساختگاه مانند گسل برزه قلعه - قلعه حوض، گسل آبریزان - کاماسون، گسل پریر - گذارسرخ و گسل اوزون آخر گنجگاه در عهد حاضر فاقد فعالیت لرزه ای بوده اند، لیکن به دلیل اهمیت بسیار زیاد سازه و نزدیکی بیش از حد این گسل ها به محل ساختگاه، به هیچ وجه نباید جنبش احتمالی آن ها را از نظر دور داشت و لازم است در مطالعات تحلیل خطر زمین لرزه به عنوان نقاط ضعف تلقی گردند. از لحاظ ساختاری در صورت فعالیت گسل های منطقه زاگرس یا ایران مرکزی، امکان رویداد زمین لرزه های با بزرگای بالا (بیش از $M_w 6$) وجود دارد که البته نسبت به ساختگاه تونل دارای فاصله قابل ملاحظه ای است و بر سازه تأثیر چندانی نخواهد داشت. در تصویر (۳) مدل لرزه زمین ساختی گستره ساختگاه آورده شده است.

۳-۲- استان لرزه زمین ساخت شمال باختر زاگرس

گستره ساختگاه تونل در استان لرزه زمین ساخت شمال باختر زاگرس قرار می گیرد. این استان به ترتیب از شمال خاوری، جنوب خاوری و جنوب باختری به راندگی اصلی و گسل جوان زاگرس، گسل قطر- کازرون، حد جنوب باختری چین خوردگی های زاگرس و راندگی بیتلیس محدود می شود (نیری و همکاران ۱۳۷۵). این استان شامل مجموعه ای از تاقدیس ها و ناودیس ها با امتداد شمال باختر جنوب خاور می باشد که عمدتاً از رخنمون های مزوزوئیک و سنوزوئیک تشکیل یافته اند. راستای تنش اصلی بزرگ در این استان ۱۸۹ درجه و تقریباً افقی می باشد. سازوکار چیره زمین لرزه ها در این استان از نوع رانده و بر روی گسل قطر- کازرون و گسل جوان زاگرس از نوع راستالغز

حوض می باشد، این گسل از نوع رانده با درازای حدود ۵۳ کیلومتر می باشد. حداقل فاصله این گسل از ورودی تونل ۴ کیلومتر بوده و در صورت فعالیت، بیشترین تأثیر را بر سازه خواهد داشت. لازم به ذکر است در ارتباط با این گسل هیچ فعالیت لرزه ای گزارش نشده است. علاوه بر گسل برزه قلعه - قلعه حوض، تعداد دیگری گسل در فاصله حتی نزدیک تر به ساختگاه وجود دارد. این گسل ها عمدتاً از نوع راندگی یا معکوس بزرگ زاویه بوده (زاویه شیب در سطح ۸۰ درجه) و در عمق از شیب شان کاسته می شود. با توجه به جهت شیب گسل ها (عمدتاً جنوب غرب)، در عمق از ساختگاه دور می گردند. توزیع مراکز سطحی زمین لرزه ها در اطراف ساختگاه بیانگر وجود روندهای خطی به موازات گسل جوان زاگرس در غرب منطقه می باشد، در حالیکه در قسمت های شرقی ساختگاه مراکز سطحی به صورت پراکنده بوده و روند خاصی را دنبال نمی کنند. تأثیرگذارترین زمین لرزه رویداده در گذشته و قرن حاضر که بیشترین تأثیر را بر ساختگاه داشته، زمین لرزه ۱۶۶۶ میلادی زاگرس با بزرگای $M_w 5.6$ می باشد (Ambraseys & Melville 1982)، این زمین لرزه در فاصله حدود ۸۳ کیلومتری ورودی تونل رخ داده و شدتی معادل ۷ درجه مرکالی اصلاح شده (MMI) در این محل ایجاد نموده است. این زمین لرزه در ارتباط با جنبش گسل اردل که قطعه ای از گسل زاگرس بلند می باشد، رخ داده است (حسامی و همکاران ۱۳۸۲). بر اساس مطالعات انجام شده و با توجه به زمین لرزه های رویداده در این محدوده، ژرفای کانونی زمین لرزه ها کم عمق بوده و در حدود ۱۴ تا ۱۶ کیلومتر برآورد می گردد. با وجودی که گسل های نزدیک به



تصویر ۳- مدل لرزه زمین ساخت گستره مورد مطالعه

۴-۲-۲-۴- گسل دنا

این گسل به درازای حدود ۱۱۰ کیلومتر با راستای تقریبی شمالی-جنوبی در شمال خاور ساختگاه واقع بوده و نزدیک‌ترین فاصله آن تا ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب حدود ۱۲۷، ۱۲۴ و ۱۲۱ کیلومتر می‌باشد، از سوی شمال به گسل چرو و از جنوب نیز به گسل کازرون می‌پیوندد. این گسل ساختار چند قطعه‌ای داشته و در برخی نقاط از چند گسل به موازات هم تشکیل شده است. سازوکار آن راستالغز راستالغز آن در غرب روستای وستگان و همچنین عملکرد معکوس بزرگ زاویه در نزدیکی روستای نصرآباد سبب خردشدگی شدید سنگ‌های آهکی کرتاسه ایلام-سروک و ایجاد چشمه‌های گسلی نظیر سنگدان و مال خلیفه گردیده است. گسل بنیادی دنا، از گروه گسل‌های زاگرس بلند (HZF) می‌باشد. بر اساس نقشه هوا مغناطیس چهارگوش سمیرم ژرفای پی سنگ زاگرس در دو سوی آن تفاوت بارز و قابل ملاحظه‌ای دارد (این گسل بر خطواره مغناطیسی T-11 منطبق می‌باشد). زمین لرزه‌های متعددی از جمله زمین لرزه ۱۳ مارس ۱۹۳۴ و ۲۱ سپتامبر ۱۹۷۵ میلادی سرپیر را در پیوند با آن دانسته‌اند (Ambraseys & Melville 1982).

۴-۳-۳-۴- گسل دوپلان

گسل دوپلان با روند شمال باختر-جنوب خاور و شیب بسوی شمال خاور و سازوکار معکوس (فشاری)، در شمال باختر از روستای دوپلان آغاز و در جنوب خاور به گسل دنا می‌رسد. این گسل، یک گسل کواترنری است (Ambraseys & Melville 1982).

۴-۴-۴-۴- گسل زاگرس بلند (HZF)

HZF مرز جنوبی راندگی زاگرس بلند است که آن را از نوار چین خورده ساده جدا می‌کند. این گسل با سازوکار چیره فشاری، دارای روند شمال باختر و شیب به سوی شمال خاوری است. زاگرس بلند بر روی قطعات مختلف این گسل به سوی جنوب، رو رانده می‌شود. شواهد زمین‌شناختی مانند موقعیت کنونی سازندهای پالئوزوئیک گواهی بر جابجایی شاقولی بر روی HZF به میزان بیش از ۶ کیلومتر است (Jackson & McKenzie 1984).

راستگرد می‌باشد (نوگل سادات ۱۳۷۲). از سایر ویژگی‌های این استان می‌توان به توزیع رومرکز زمین لرزه‌ها در سرتاسر آن، با تمرکز حول لبه خمش کوهستان و گسل جوان زاگرس و همچنین ختم ناگهانی آن‌ها به راندگی اصلی زاگرس و نبود سازند هرمز در چینه‌شناسی برجای استان اشاره نمود (Falcon 1974). بزرگترین زمین لرزه گزارش شده درون و یا بر مرزهای این استان، زمین لرزه ۲۳ ژوئیه ۱۹۰۹ سیلاخور با بزرگای $7.4 M_w$ می‌باشد که در اثر جنبش قطعه گسل درود از گسل جوان زاگرس رویداده است (حسامی و همکاران ۱۳۸۲).

۴-۵-۴-۴- گسل‌های نزدیک به ساختگاه

حرکت گسل مهم‌ترین عامل در ایجاد زمین لرزه‌های هر منطقه می‌باشد. شناسایی و تعیین طول، مشخصات و توان لرزه‌زایی گسل‌ها یکی از راه‌های برآورد خطر پذیری و ریسک منطقه مورد مطالعه می‌باشد (آذرافزا و مهرنهاد ۱۳۹۱). در ادامه به بیان شناسایی شده در محدوده سایت تونل پرداخته می‌شود.

۴-۱-۴-۴-۱-۴- گسل معکوس اصلی زاگرس (MZRF)

گسل معکوس اصلی زاگرس با طول حدود ۱۳۰۰ کیلومتر و راستای شمال باختر- جنوب خاور در شمال باختر ساختگاه قرار دارد (آقانباتی ۱۳۸۵). نزدیک‌ترین فاصله آن تا ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب حدود ۶۳، ۶۹ و ۷۴ کیلومتر می‌باشد. این گسل از قطعات مختلف با شیب و امتداد کم و بیش متفاوت تشکیل یافته است. سازوکار آن عمدتاً معکوس بوده که در بعضی جاها به صورت رورانده یا معکوس بزرگ زاویه در می‌آید. در دو طرف این گسل (شمال خاور و جنوب باختر آن) می‌توان تغییر عمده در تاریخچه رسوبگذاری، جغرافیای دیرینه، ساختار زمین شناسی، ریخت شناسی و لرزه‌خیزی را مشاهده نمود. این ساختار مشخصه زمین درز بین دو صفحه تکتونیکی ایران مرکزی و عربی است (Berberian 1995a). هیچگونه شواهد صحرائی از تشخیص نواحی کلان لرزه‌ای مربوط به زمین لرزه‌های بزرگ یا شکستگی ناشی از آن در امتداد این گسل گزارش نشده ولیکن دو سطح لغزشی تازه بر روی گسل توسط (Berberian 1995b) معرفی گردیده است. با توجه به موارد فوق، این گسل از نظر پتانسیل لرزه‌ای فعال در نظر گرفته شده و بیشینه بزرگای زمین لرزه حاصل از فعالیت مجدد آن $7.5 M_w$ محاسبه گردیده است.

۴-۵- گسل اردل

است و در صورت جنبش مجدد قادر به ایجاد زمین لرزه ای به بزرگای M_w ۶/۸ می باشد (Ambraseys & Melville 1982).

گسل اردل یک گسل مرزی و ژرف (پی سنگ) است که رسوبات فانروژئیک رانیز قطع می نماید. این گسل دارای آزیموت ۱۳۵ و شیبی به سوی شمال خاوری و ساز و کار معکوس (فشاری) است. گسل اردل بخشی از HZF است که از نزدیکی روستای اردل عبور می نماید. رومرکز حداقل ۶ زمین لرزه تاریخی و دستگاهی بر روی این گسل تعیین محل شده اند. گرچه طول این گسل بیش از ۱۰۰ کیلومتر گزارش شده است، ولی فقط ۸۰ کیلومتر از درازای آن در ناحیه کلان لرزه ای زمین لرزه های بالا قرار دارد. حداقل فاصله این گسل تا ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب حدود ۷۶، ۸۲ و ۸۹ کیلومتر می باشد (Ambraseys & Melville 1982).

۴-۸- گسل زدکوه

این راندگی کوتاه تر از جمله گسله های بنیادی گروه گسله های بلند زاگرس است که راستایی خم دار باروند NW-SE دارد و شیب آن به سوی شمال خاوری است درازای آن در حدود ۱۳۰ کیلومتر می باشد و نزدیک ترین فاصله آن تا ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب حدود ۱۰۳، ۱۱۳ و ۱۲۳ کیلومتر می باشد. سازوکار این گسل رانده و در راستای آن نهشته های پالئوژئیک بر روی رسوبات نئوژن رانده شده است. در صورت فعالیت مجدد این گسل زمین لرزه ای به بزرگای M_w ۷/۲ ایجاد خواهد نمود (Ambraseys & Melville 1982).

۴-۶- گسل جوان اصلی (MRF)

گسلی است با ساز و کار چیره راستالغز راست بر، روند شمال باختر- جنوب خاور (NW-SE) و شیب نزدیک به قائم، کم و بیش اثر MZRE را در سطح زمین تعقیب می کند. گسل جوان اصلی از دیدگاه لرزه زمین ساختی، یک گسل فعال و پر اهمیت است. این گسل، از چندین قطعه تشکیل شده است که در کنار هم یک روند فعال و لرزه خیز را می سازند (آقانباتی ۱۳۸۵). گسل های پیرانشهر، میوان، سرتخت، مروارید، دینور، صحنه، نهاوند و درود بخش های مختلف گسل اصلی جدید زاگرس هستند که نام های محلی یافته اند (Jackson & fitch 1981). این گسل از گسل اصلی و معکوس زاگرس جوانتر است و آنرا قطع نموده است. در بخش شمال باختری زاگرس، بر روی قطعات نهاوند و درود این گسل، جابجایی راست بر ۱۰-۶۰ کیلومتری گزارش شده است (Berberian 1995b).

۴-۹- گسل کوه رنگ

گسلی است رانده به درازای حدود ۵۰ کیلومتر و راستای شمال باختری جنوب خاوری. این گسل از دو سو به گسل های اردل و اشترانکوه که دنباله گسل درود است منتهی می گردد و جزئی از گسل جوان زاگرس می باشد. نزدیک ترین فاصله این گسل از ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب حدود ۷۰، ۷۹ و ۸۹ کیلومتر می باشد و در صورت فعالیت زمین لرزه ای به بزرگای M_w ۶/۵ ایجاد خواهد شد (Berberian & Yeats 1999).

۴-۱۰- گسل کوه سفید

گسلی است رانده و دارای روند عمومی شمال باختر- جنوب خاور به درازای حدود ۹۵ کیلومتر که در واقع جزئی از گسل معکوس اصلی زاگرس می باشد، در راستای این گسل نهشته های پریمین، ژوراسیک و کرتاسه زیرین بر روی نهشته های کرتاسه بالایی رانده شده اند. این گسل به ترتیب از فاصله ۳۱، ۳۷ و ۴۵ کیلومتری ورودی، مرکز و خروجی تونل عبور می نماید (Berberian & Yeats 1999).

۴-۷- گسل فرسانک (قلعه سرخ)

گسلی است با راستای شمال باختری جنوب خاور، شیب به سمت جنوب باختر و درازای نزدیک به ۷۵ کیلومتر که در واقع قطعه ای از معکوس اصلی زاگرس می باشد. ساز و کار آن به صورت معکوس می باشد و در راستای آن در شیل و آهک های مارنی و ماسه ای کرتاسه بر روی نهشته های جدیدتر قرار گرفته است. گسل فرسانک در منتهی الیه غربی به گسل اصلی زاگرس ختم می شود. نزدیک ترین فاصله آن به ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب حدود ۵۵، ۶۵ و ۷۵ کیلومتر

۴-۱۱- گسل شمالی رغ

گسل شمالی رخ در پای گردنه رخ و مرز میان دشت زرین شهر در شمال خاوری و کوه های پنجه، شاه لرا و بیدکان در جنوب باختری قرار گرفته است. اختلاف بلندای ناگهانی و شدید میان دشت

درجه به سمت جنوب غرب است. در راستای این گسل، سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک در کنار شیل‌های به سن ژوراسیک قرار گرفته‌اند درازای گسل حدود ۵۳ کیلومتر و فاصله آن تا نقاط ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب ۴، ۸ و ۱۲ کیلومتر است در صورت جنبش مجدد زمین لرزه‌ای به بزرگای $M_w 6/5$ ایجاد خواهد نمود (Berberian & Yeats 1999).

۴-۱۵- گسل آبریزان کماسون

این گسل دارای راستای شمال غرب جنوب شرق بوده و حداقل ارتفاعات کماسون و دشت کرون را تشکیل می‌دهد. طول گسل حدود ۳۲ کیلومتر و شیب آن به سوی جنوب باختر است. حداقل فاصله آن از ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب ۵/۰، ۶ و ۹ کیلومتر است در صورت فعالیت مجدد قادر به ایجاد زمین لرزه‌ای به بزرگای $M_w 6/2$ خواهد بود (Ambraseys & Melville 1982).

۴-۱۶- گسل اوزون آخار گنجه

گسلی است به درازای حدود ۲۰ کیلومتر که در شکل‌گیری انحراف‌های دره‌های اوزون آخار و گنجه تأثیر داشته است شیب گسل ۸۰ درجه به سوی جنوب باختری است. حداقل فاصله این گسل از ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب ۶، ۹ و ۱۵ کیلومتر است و در صورت فعالیت مجدد قادر به ایجاد زمین لرزه‌ای به بزرگای $M_w 5/9$ خواهد بود.

۴-۱۷- گسل جنوبی

گسلی است معکوس به طول حدود ۱۰ کیلومتر و شیب به سوی جنوب باختری. شیب لایه‌بندی در دو سوی آن کاملاً متفاوت است. حداقل فاصله این گسل از ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب ۳/۵، ۱۲ و ۱۸ کیلومتر است و در صورت فعالیت قادر به ایجاد زمین لرزه‌ای به بزرگای $M_w 5/4$ خواهد بود (Berberian & Yeats 1999).

۴-۱۸- گسل مهت آباد

راستای این گسل شمال باختر جنوب خاور و شیب آن به سمت جنوب باختر است. طول گسل حدود ۸ کیلومتر و فاصله آن از نقاط ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب ۹، ۱۵ و ۲۲ کیلومتر است. حداکثر زمین لرزه محتمل از فعالیت این گسل $M_w 5/2$ خواهد بود

زربین شهر و کوه شاهلرا نتیجه عملکرد این گسل است. گسل شمال رخ دارای راستای شمال باختر جنوب خاور و شیب به سوی جنوب باختری است. درازای شناخته شده آن دست کم ۱۱۰ کیلومتر بوده و خطواره مغناطیسی F-667 بر روی این گسل قرار دارد (سازمان زمین‌شناسی ۱۳۸۸). این همخوانی نشان‌دهنده ژرف بودن گسل شمالی رخ است. هیچ‌گونه داده لرزه‌خیزی و یا سنی از گسل شمال رخ در دست نیست (Ambraseys & Melville 1982). حداقل فاصله این گسل از ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب ۳۲، ۳۵ و ۴۱ کیلومتر است و در صورت فعالیت مجدد قادر به ایجاد زمین لرزه‌ای به بزرگای $M_w 7/1$ خواهد بود.

۴-۱۲- گسل جنوبی رخ

این گسل به موازات گسل شمالی رخ و در فاصله چند کیلومتری جنوب آن قرار دارد. گسل جنوبی رخ دارای راستای شمال باختری جنوب خاوری و شیب به سوی شمال خاوری و ساز و کار راندگی می‌باشد. در راستای این گسل سنگ‌های آهکی کرتاسه بر روی کنگلومرای ائوسن رانده شده‌اند. درازای شناخته شده این گسل دست کم ۱۱۰ کیلومتر است. هیچ‌گونه داده لرزه‌خیزی یا سنی از این گسل نیز در دست نیست. حداقل فاصله این گسل از ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب ۳۶، ۴۱ و ۴۷ کیلومتر است در صورت فعالیت مجدد قادر به ایجاد زمین لرزه‌ای بزرگای $M_w 7/1$ خواهد بود (Ambraseys & Melville 1982).

۴-۱۳- گسل الیگودرز

گسلی است رانده به درازای حدود ۹۳ کیلومتر و راستای شمال باختر جنوب خاور. در راستای این گسل سنگ‌های دولومیتی دگرگون شده و مرم‌های پرکامبرین بر روی سنگ‌های جوانتر (دگرگونی‌های تریاس) رانده شده‌اند. حداقل فاصله این گسل از ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب ۶۱، ۷۲ و ۸۳ کیلومتر است. در صورت فعالیت مجدد قادر به ایجاد زمین لرزه‌ای به بزرگای $M_w 6/9$ خواهد بود (Berberian & Yeats 1999).

۴-۱۴- گسل برزه قلعه قلعه موهض

این گسل از نوع فشاری با امتداد شمال غرب جنوب شرق و شیب ۸۰

(Berberian & Yeats 1999).

۲۱-۴- گسل کلاه قاضی

گسلی است تراستی به طول حدود ۴۴ کیلومتر و راستای عمدتاً شمال باختر جنوب خاور. در راستای این گسل آهک‌های اوریتولین دار کرتاسه بر روی شیل و مارن‌های آهکی کرتاسه رانده شده است. حداقل فاصله این گسل از ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب ۴۶، ۵۶ و ۶۸ کیلومتر است حداکثر بزرگای حاصل از فعالیت این گسل M_w ۶/۴ خواهد بود.

۲۲-۴- گسل دره بید

گسلی است تراستی به طول حدود ۳۰ کیلومتر و راستای شمال باختر جنوب خاور. در راستای این گسل شیل‌های ژوراسیک بر روی آهک‌های کرتاسه رانده شده است. حداقل فاصله این گسل از ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب ۱۳، ۱۴ و ۱۸ کیلومتر است. حداکثر بزرگای حاصل از فعالیت این گسل M_w ۶/۱ خواهد بود (Berberian & Yeats 1999).

۲۳-۴- گسل دالان

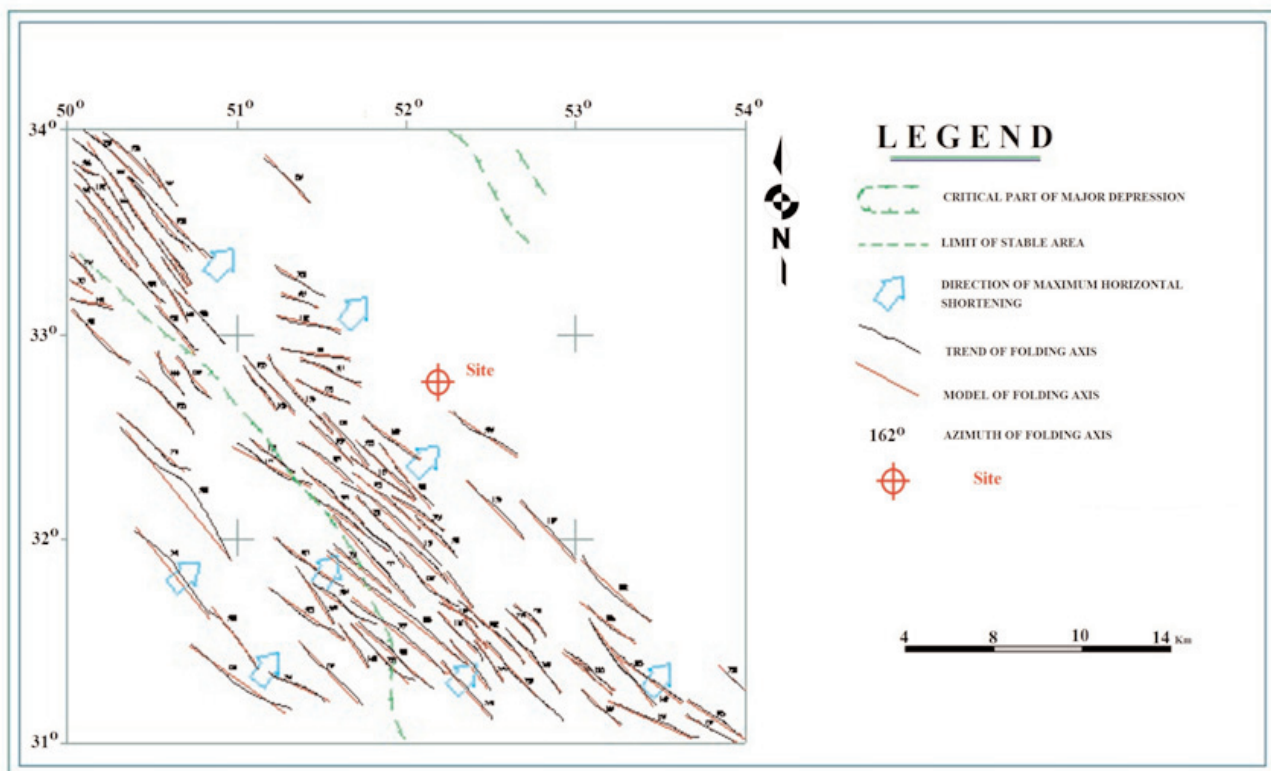
این گسل در حاشیه جنوبی کوه دالان قرار گرفته است، گسل دالان دارای ساز و کار راندگی و روند شمال باختر جنوب خاور می باشد و

۱۹-۴- گسل پیرپه گدارسرخ

گسلی است با راستای شمال باختر جنوب خاور و شیب به سوی شمال باختر درازای گسل حدود ۳۷ کیلومتر بوده و سبب مجاورت سنگ‌های ژوراسیک با سنگ آهک‌های کرتاسه شده است. حداقل فاصله این گسل از ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب ۲، ۶ و ۹ کیلومتر است و بزرگای زمین لرزه حاصل از فعالیت این گسل M_w ۶/۳ می باشد (Berberian & Yeats 1999).

۲۰-۴- گسل داران

گسلی است با راستای شمال باختر جنوب خاور به طول حدود ۹۰ کیلومتر که از جنوب شهرستان داران شروع شده و تا حوالی باغ بهادران ادامه پیدا می کند. این گسل عمدتاً داخل سنگ‌های تمامورف پهنه سنندج سیرجان اثر کرده است. هیچ داده لرزه خیزی از این گسل در دست نمی باشد. حداقل فاصله گسل داران از ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب ۱۴، ۲۲ و ۳۲ کیلومتر است و در صورت جنبش زمین لرزه‌ای به بزرگای M_w ۶/۹ ایجاد خواهد بود (Berberian & Yeats 1999).



تصویر ۴- نقشه گسل‌ها و همچنین روند چیره تنش میانگین زمین ساختی در منطقه مورد مطالعه

موجب همبری آهک‌های کرتاسه با رسوبات عهد حاضر شده است. گردید (Gutenberg & Richter 1956):

طول این گسل حدود ۳۰ کیلومتر بوده و حداقل فاصله گسل از

$$Ln Nc = Ln N_0 - \beta M \quad (4)$$

ورودی، مرکز و خروجی تونل به ترتیب ۱۱، ۲۰ و ۲۷ کیلومتر است.

گسل دالان در جنوب به گسل گذار سرخ می‌پیوندد و در صورت

جنبش مجدد قادر به ایجاد زمین لرزه‌ای به بزرگای $6/9 M_W$ خواهد

$$a = Ln N_0 \quad (5)$$

$$\beta = b Ln 10 \quad (6)$$

بود (Ambraseys & Melville 1982; Mirzaei et al. 1998).

گستره مطالعه شده می‌باشند. به منظور مقایسه بهتر نتایج،

زمین لرزه‌های رویداده در گستره شعاعی ۱۵۰ کیلومتری پیرامون

پایه گوتنبرگ - ریشتر برای گستره بیان شده محاسبه گردیده که نتایج

آن در جداول ۱، ۲، ۳ و تصویر (۵) ارائه شده است.

۵- برآورد پارامترهای لرزه فیزی

بر اساس فراوانی رویداد زمین لرزه‌ها بر حسب بزرگای آن‌ها که بر

حساب روابط مختلف Gutenberg - Richter بیان می‌گردد و استفاده

از روش‌های مختلف آماری، پارامترهای لرزه‌خیزی که همان ضرائب

ثابت رابطه Gutenberg - Richter می‌باشند محاسبه می‌شوند.

۵-۲- دوره بازگشت

دوره بازگشت بزرگای زمین لرزه‌ها بر حسب روابط زیر، برای

جدول ۱- نتایج رابطه پایه Gutenberg - Richter برای گستره ۱۵۰ کیلومتری

ورودی تونل

گستره شعاعی ۱۵۰ کیلومتر	زمین ساخت شمال باختر زاگرس استان لرزه
$\text{Log (NC)} = 6.00 - 0.95 M_W$	$\text{Log (NC)} = 6.90 - 0.95 M_W$
$a = 6.00$	$a = 6.90$
$b = 0.95$	$b = 0.95$
$r = 0.96$	$r = 0.99$

جدول ۲- مقادیر پارامترها و ضرائب ثابت رابطه Gutenberg - Richter

در گستره ۱۵۰ کیلومتری ورودی تونل، با روش کمینه مربعات

M_W		Data Results			G-R Results	
From	To	No.	Cum.No.	Log (NC)	Log (NC)	
4.5	4.7	23	64	1.81	1.72	
4.7	4.9	13	41	1.61	1.53	
4.9	5.1	18	28	1.45	1.34	
5.1	5.3	5	10	1.00	1.15	
5.3	5.5	0	5	0.70	0.96	
5.5	5.7	1	5	0.70	0.77	
5.7	5.9	1	4	0.60	0.58	
5.9	6.1	1	3	0.48	0.39	
6.1	6.3	2	2	0.30	0.29	

۵-۱- روش مقدماتی گوتنبرگ - ریشتر

تابع توزیع مقدماتی یا پایه Gutenberg - Richter در سال ۱۹۵۶

ارائه گردید. در این رابطه فراوانی تجمعی زمین لرزه‌ها (NC) به طور

خطی و با در نظر گرفتن رابطه ساده زیر به بزرگا (M) نسبت داده

می‌شود (Gutenberg & Richter 1956).

با توجه به محدودیت‌های این رابطه، که از یک طرف امکان استفاده

از زمین لرزه‌های تاریخی وجود نداشته و از سوی دیگر به دلیل

نداشتن حد بالا و پائین برای بزرگا، نتایج بدست آمده تنها تابع

$$\text{Log NC} = a - bM \quad (1)$$

$$a = \frac{\sum y - b \sum x}{n} \quad (2)$$

$$b = \frac{n \sum(xy) - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (3)$$

ماهیت ریاضی رابطه بوده و با واقعیت لرزه‌خیزی منطقه سازگار

نمی‌باشد، لذا نتایج تنها برای بازه‌های زمانی که اطلاعات لرزه‌ای

نسبتاً همگن و پیوسته باشند (زمین لرزه‌های دستگاهی ثبت شده در

سده بیستم) در بازه محدودی از بزرگا نسبتاً قابل قبول می‌باشند.

رابطه مقدماتی Gutenberg - Richter بر حسب لگاریتم طبیعی

(مبنای نمائی) به صورت زیر نوشته می‌شود (Gutenberg &

Richter 1956):

با مقایسه این دو رابطه تساوی زیر بین ضرائب آن‌ها برقرار خواهد

همگن و پیوسته باشند (زمین لرزه‌های دستگاهی ثبت شده در سده بیستم) در بازه محدودی از بزرگ‌نسبتاً قابل قبول می‌باشند. در برآورد پارامترهای لرزه خیزی استفاده از گستره‌های شعاعی به دلایل مختلف از جمله ساده‌تر بودن تعریف آن و پوشش یکنواخت‌تر زمین لرزه‌ها متداول‌تر می‌باشد. از جمله عوامل انتخاب گستره ۱۵۰ کیلومتری می‌توان به پوشش مناسب چشمه‌های لرزه‌زا در گستره مورد مطالعه، تعداد کافی زمین لرزه‌ها در بازه‌های زمانی مختلف و توزیع مناسب زمین لرزه‌ها نسبت به چشمه‌های لرزه‌زا که در نهایت منجر به برآوردی واقع‌گرایانه‌تر از پارامترهای لرزه خیزی و نسبت دادن آن به چشمه‌های لرزه‌زا گردید، اشاره نمود. بدلیل نداشتن حد بالا و خطی بودن رابطه پایه Gutenberg - Richter مقادیری برای دوره بازگشت بزرگای زمین لرزه‌ها حاصل می‌شود که از حد خاصی به بعد به دور از واقعیات لرزه خیزی منطقه و تنها تابع ماهیت ریاضی رابطه مورد استفاده می‌باشد.

مراجع

آقاباتی، ع.، ۱۳۸۵. زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران، ۷۰۸ ص.

آذرفزا، م.، ۱۳۹۲. بررسی مخاطرات ژئوتکنیکی ساختگاه فلرهای گاز فازهای ۷، ۸ و مجتمع گاز پارس جنوبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، یزد، ایران، ۳۸۲ ص.

آذرفزا، م.، مهرنهاد، ح.، ۱۳۹۱. برآورد لرزه خیزی منطقه تبریز - پلدشت با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS. ششمین همایش ملی زمین‌شناسی پیام نور، کرمان، ایران.

حسامی، خ.، جمالی، ف. و طیبی، ه.، ۱۳۸۲. نقشه گسل‌های فعال ایران، مقیاس ۱:۷۲۵۰۰۰. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ۱۳۸۸. نقشه‌های مغناطیس هوایی مناطق اصفهان، نجف‌آباد، چادگان. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

نیری، ع.، خادمی، م.، ه. بهنام، م. و حدادی، ح. ۱۳۷۵. استان‌های لرزه‌زمین ساخت ایران زمین. کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، انتشارات نشریه شماره ۱۲.

نیکوبخت، ش.، ۱۳۹۲. برآورد پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ‌های میزبان تونل گلاب ۲ به منظور پیشنهاد نگهدارنده. پایان‌نامه کارشناسی ارشد در زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

نوگل سادات، ع.، ا. ۱۳۷۲. نگرشی بر لرزه‌خیزی، زلزله زمین ساخت ایران. سازمان زمین‌شناسی کشور. دوازدهمین گردهمایی علوم زمین. تهران، ایران.

یزدخواستی، ن.، ۱۳۹۱. بررسی‌های ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی و ارزیابی پتانسیل لهیدگی در تونل آبرسانی اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد در زمین‌شناسی

Regression Output			
a	6.00	b	0.95
SD of b	0.09	r	0.96
Log (NC) = 6.00-0.95 Mw			

جدول ۳- مقادیر پارامترها و ضرایب ثابت رابطه Gutenberg - Richter در استان لرزه‌زمین ساخت شمال باختری زاگرس، با روش کمترین مربعات

M _w		Data Results			G-R Results	
From	To	No.	Cum.No.	Log (NC)	Log (NC)	
4.5	4.7	198	513	2.71	2.36	
4.7	4.9	123	315	2.50	2.44	
4.9	5.1	86	192	2.28	2.25	
5.1	5.3	45	106	2.03	2.06	
5.3	5.5	17	61	1.79	1.87	
5.5	5.7	15	44	1.64	1.68	
5.7	5.9	8	29	1.46	1.49	
5.9	6.1	5	21	1.32	1.30	
6.1	6.3	6	16	1.20	1.11	
6.3	6.5	5	10	1.00	0.92	
6.5	6.7	2	5	0.70	0.73	
6.7	6.9	1	3	0.48	0.54	
6.9	7.1	0	2	0.30	0.35	
7.1	7.3	1	2	0.30	0.16	
7.3	7.5	1	1	0.00	0.00	

Regression Output			
a	6.90	b	0.95
SD of b	0.09	r	0.99
Log (NC) = 6.00-0.95 M _w			

گستره شعاعی ۱۵۰ کیلومتری پیرامون ورودی تونل و استان لرزه زمین ساخت شمال باختر زاگرس محاسبه گردیده و نتایج حاصل از آن‌ها در جدول شماره ۴ ارائه شده است (Gutenberg & Richter 1944). که در آن: PR دوره بازگشت زمین لرزه بر اساس بزرگا، t دوره زمانی مورد بررسی، a و b ضرایب Gutenberg - Richter، M بزرگا

$$PR(M > m) = t \cdot \exp[a + b.M] / n10 \quad (7)$$

زمین لرزه می‌باشد.

۱۴- نتیجه گیری

از مجموع مطالعات انجام شده در بخش برآورد پارامترهای لرزه خیزی می‌توان بیان نمود که رابطه Gutenberg - Richter یکی از ابزارهای کاربردی بررسی آماری زلزله‌ها و ارزیابی خطر لرزه‌ای است و نتایج تنها برای بازه‌های زمانی که اطلاعات لرزه‌ای نسبتاً

- Ambraseys, N.N. Melville, C. P. 1982.** A History of Persian Earthquake. *Cambridge University Press.*
- Ambraseys, N.N. Moinfar, A.A. 1973.** The Seismicity of Iran: The Silakhor Lurestan Earthquake of 23 January 1909 *Annali di. Geophysical 1973, Vol. 26, No.4.*
- Berberian, M. 1976.** Contribution to the Seismotectonics of Iran (Part IV). *Geol. Surv, Iran, Rep. No. 40.*
- Berberian, M. 1995a.** Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics 241, 193-224.*
- Berberian, M. 1995b.** Natural Hazards and the First Earthquake Catalogue of Iran. vol. 1, Historical Hazards in Iran Prior to 1900, A UNESCO/ IIEES Publication during UN/IDNDR: *International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, 603 + 66 pp.*
- Berberian, M., & Yeats, R.S, 1999.** Patterns of Historical Earthquake Rupture in the Iranian Plateau. *Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 89, No. 1, pp. 120-139.*
- Falcon, N.L., 1974.** *Southern Iran: Zagros Mountains, Mesozoic- Cenozoic Organic Belts, Date for Orogenic Studies; Alpien - Himalayan Orogens. Geol. SOC. Spec. Pub. 4, PP 199-211.*
- Falcon, N.L., 1969.** Problems of the Relationship between Surface Structure and Deep Displacement Illustrated by the Zagros Renge. *in Time and Place in Orogeny.*
- Gutenberg, B. & Richter, C.F., 1956.** Earthquakes Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration. *Bulletin of the Seismological Society of American, Vol. 46, No2, and PP.105-145.*
- Gutenberg, B., & Richter, C. F., 1944.** Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seismol. Soc. Am., 34, 185-188.*
- Jackson, J. & fitch, T. J., 1981.** Basement Faulting and the Focal Depths of the larger Earthquakes in the Zagros Mountains (Iran). *Geophys. J.R.Aster. Soc. Vol. 64. PP 561-586.*
- Jackson, J. & McKenzie, D., 1984.** Active Tectonics of the Alpien Himalayan Belt between Western Turkey and Pakistan. *Geophys. J.R. AST. Vol. 77, PP. 185-264.*
- Jackson, J. & McKenzie, D., 1988.** The Relationship between plate Motions and Seismic Movement Tensur, and the Rates of Active the Formations in the Mediterranean and Middle-East. *Geophys, J. R. Astr. Soc. Vol. 93, PP. 45-73.*
- Mirzaei, N, Gao, M. & Chen, Y, 1998.** Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran major seismotectonic provinces. *J. Earthq. Pred. Res. 7, 465-495.*