

بررسی ناهمگنی‌های تنش با استفاده از ضریب b در زمین‌لرزه‌های القایی مخزن در گستره سد مسجد سلیمان (جنوب باختر ایران)

محمد رضا ابراهیمی^۱ و محمد تاتار^{*}

^۱ پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۶/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۱/۱۳

چکیده

رابطه Gutenberg & Richter (1942) یکی از روابط تجربی شناخته شده در زلزله‌شناسی است که ارائه دهنده بسامد وقوع زمین‌لرزه‌ها به عنوان تابعی از بزرگای است. $\log_{10} N = A - bM$ مقدار ضریب A به مدت زمان مشاهده، ابعاد محدوده مورد مطالعه و میزان لرزه‌خیزی منطقه بستگی دارد، در صورتی که ضریب b با نسبت زمین لرزه‌های دارای بزرگای کم به زمین‌لرزه‌های دارای بزرگای زیاد در ارتباط است. در این تحقیق با به کارگیری ضریب b به بررسی ناهمگنی‌های تنش پوسته در زیر مخزن سد مسجد سلیمان پرداختیم. قرار گرفتن سد مسجد سلیمان در زون لرزه‌زمین‌ساختی زاگرس که یکی از فعال‌ترین زون‌های لرزه‌زمین‌ساختی ایران است، ضرورت انجام بررسی‌های گسترده و بویژه بررسی اثر دریاچه سد آن (ارتفاع ۱۷۷ متر و حجم ۲۶۱ میلیون متر مکعب) بر تغییرات آهنگ لرزه‌خیزی منطقه را بیش از پیش آشکار می‌سازد. در حدود ۱۹۲۴ رویداد تعیین محل شده با دقت مطلوب برای انجام این بررسی‌ها در فاصله زمانی ۱۵ ماهه از ماه ژوئن ۲۰۰۶ تا اوت ۲۰۰۷ برای انجام محاسبات به کار گرفته شدند. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که در مناطقی که زمین‌لرزه‌های القایی مخزن رخ می‌دهند شاهد ضریب b بالاتری نسبت به دیگر مناطق هستیم. ضریب b برای منطقه سد در دو حالت سطحی و ژرفی به صورت دو بعدی مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر b بالا در جنوب دریاچه سد مسجد سلیمان، نشان‌دهنده ناهمگنی‌های شدید تنش در پوسته زیرین مخزن به علت ایجاد بار وزنی دریاچه و نفوذ آب در این مناطق هستند.

کلیدواژه‌ها: زمین‌لرزه‌های القایی، سد مسجد سلیمان، ضریب b، فشار منفذی، لرزه‌خیزی

* نویسنده مسئول: محمد تاتار

E-mail: mtatar@iees.ac.ir

۱- مقدمه

زمین‌لرزه‌های القایی اصولاً زمین‌لرزه‌های تحریک شده که ناشی از عوامل طبیعی هستند. در هر یک از انواع مختلف زمین‌لرزه‌های القایی، سطح لرزه‌خیزی منطقه، با تحریک در اثر نفوذ آب یا مایعات نفتی، و یا تحریک در اثر انفجارهای معدن کاری و یا انفجارهای هسته‌ای، افزایش می‌یابد. در تمامی این موارد با توجه به جمع شدن انرژی در گسل‌های منطقه، عملیات انسانی موجب تحریک گسل‌ها شده و به صورت تسریع کننده رویدادهای لرزه‌ای عمل می‌کند. رابطه Gutenberg & Richter (1942) یکی از بهترین روابط تجربی در زلزله‌شناسی است که ارائه دهنده بسامد رخداد زمین‌لرزه‌ها به عنوان تابعی از بزرگای است. بر مبنای بررسی‌های اولیه Gutenberg & Richter (1942) بر روی فراوانی زمین‌لرزه‌ها و بزرگای آنها، بررسی‌های ناحیه‌ای دقیقی بر روی مناطق مختلف صورت پذیرفت و مشخص شد که در حالت کلی پراکندگی فراوانی زمین‌لرزه‌ها را می‌توان با رابطه ساده زیر با بزرگای آنها مرتبط دانست:

$$\log_{10} N = A - bM \quad (1)$$

که در آن N تعداد زمین لرزه های دارای بزرگای بزرگ‌تر و یا مساوی M و A و b ضرایب ثابت هستند. مقدار ضریب A به مدت زمان مشاهده، ابعاد محدوده مورد مطالعه و میزان لرزه‌خیزی منطقه بستگی دارد، در صورتی که ضریب b با نسبت زمین‌لرزه‌های دارای بزرگای کم به زمین‌لرزه‌های دارای بزرگای زیاد در ارتباط است. Utsu (1965) به این نتیجه رسید که محاسبه ضریب b به روش بیشترین احتمال (Maximum Likelihood Method) تقریب بهتری برای این ضریب است:

$$b = \frac{\log_{10} e}{\bar{M} - M_c} \quad (2)$$

که در آن \bar{M} بزرگای میانگین و M_c کمترین بزرگای به کار رفته است. توضیحات مختلفی برای مقادیر متفاوت از ضریب b ارائه شده است: تنش‌های برشی زیاد و کم به ترتیب سبب زمین‌لرزه‌هایی با ضریب b کم و زیاد می‌شوند

به تنش آزاد شده نهایی بستگی دارد. Gupta et al. (1972) نشان دادند که برای زمین‌لرزه‌های القایی سدها مقادیر ضریب b پیش‌لرزه‌ها با مقادیر این ضریب در پس‌لرزه‌ها مشابه بوده و هر دوی آنها از مقادیر ضریب b ناحیه بیشتر هستند. به عنوان مثال مقادیر ضریب b پیش‌لرزه‌ها در کاریبا، کرماستا و کوینا به ترتیب برابر با ۱/۱۸، ۱/۴۱ و ۱/۸۷ بوده و این مقادیر برای پس‌لرزه‌ها برابر ۱/۰۲، ۱/۱۲ و ۱/۰۹ هستند. این دو سری اعداد از مقدار ضریب b ناحیه‌ای، که به ترتیب برابر ۰/۵۳، ۰/۸۲ و ۰/۴۷ در آفریقا یونان و هند بودند، بیشتر است. مشخص شد که اختلاف مقادیر ضریب b از لحاظ آماری معنی‌دار است. در سال‌های پس از آن، ضریب b برای تعداد زیادی از زمین‌لرزه‌های القایی ناشی از آبیگری مخازن سدها، تزریق سیال به درون مخازن هیدروکربنی و زمین‌گرمایی و نیز تولید از مخازن نفت و گاز توسط افراد مختلفی گزارش شد که با نظریه یادشده

Pickering et al. (1995) بر پایه شبیه سازی مونت کارلو بر روی اثر نمونه‌برداری از یک توزیع قانون توانی (power-law distribution) به دست آمده است:

$$\sigma = b \sqrt{\frac{1}{N}} b \leq 1, \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{b}{N}} b < 1, \quad (4)$$

که در آن σ انحراف معیار در برآورد ضریب b است و N تعداد زمین‌لرزه‌ها است. بر پایه معادلات (3) و (4) خطای ضریب b برای داده‌های مورد استفاده در محدوده ± 0.081 تا ± 0.167 برای b های به ترتیب کوچک‌تر و بزرگ‌تر از یک برآورد شده است.

۳-۱- محاسبه ضریب b در سطح

برای بررسی بهتر شیوه پراکندگی این ناهمگنی‌ها در منطقه سد، تلاش شد تا ضریب b را به صورت دو بعدی در سطح و ژرفای محاسبه نماییم. این کار به وسیله نرم‌افزار Zmap (Wiemer and Beniot, 1996) انجام گرفت. برای به تصویر کشیدن میزان ضریب b در سطح، منطقه سد به سلول‌هایی به ابعاد $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ در طول و عرض جغرافیایی تقسیم‌بندی شد. دایره‌ای در اطراف هر یک از نقاط این شبکه‌ها کشیده شد و شعاع آن افزایش یافت تا شامل ۵۰ رویداد شود که دست کم ۱۰ رویداد آن دارای بزرگی بیشتر از بزرگی تکمیلی M_c باشد (ابراهیمی، ۱۳۸۸). شعاع قابل قبول برای نمونه‌برداری‌های انجام شده در نقشه تفکیک‌پذیری رسم شده برای هر شکل با رنگ آبی مشخص شده است و نحوه پراکندگی رویداد زمین‌لرزه‌ها نیز در این نقشه به صورت نقاط سفید رنگ نمایش داده شده است. ضریب b با استفاده از روش بیشترین احتمالات (رابطه ۲) برای منطقه محاسبه شد. سپس تغییرات b در کل منطقه با انتخاب مقیاس رنگی مناسب (شکل ۴) نمایش داده شد. در نهایت همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، میزان ضریب b کلی منطقه در سطح بین ۲/۵-۰/۵ متغیر است. بر اساس شکل ۴ همان‌طور که انتظار می‌رفت ضریب b در بخش خاوری مکان سد یعنی جایی که دریاچه سد قرار دارد و در محدوده گسل اندکان و منتهی الیه شمالی گسل باغ ملک بیشترین مقادیر را داراست ($b \geq 1/0$). این امر به نوبه خود نمایش‌دهنده میزان بالای ناهمگنی پوسته در این منطقه است.

با مشاهده تغییرات ماهیانه ضریب b در سطح نیز می‌توان به میزان تغییرات شدید این ضریب در بخش خاور دریاچه سد در طی زمان پی‌برد و ناهمگنی شدید در پوسته زیر مخزن را دید. بدین منظور ضریب b سطحی، به صورت سه ماهه در بازه زمانی ۱۵ ماهه نصب شبکه از ماه ژوئن ۲۰۰۶ تا اوت ۲۰۰۷، رسم شد. به طوری که در شکل ۵ قابل مشاهده است، میزان این ضریب در سه ماهه اول (ژوئن، جولای و اوت ۲۰۰۶) در محدوده ۱/۶-۰/۸ است و در بخش خاوری سد و حوالی گسل اندکان و شمال گسل باغ ملک شاهد ضریب $b \geq 1/0$ (بالایی هستیم). اما در سه ماهه دوم (سپتامبر، اکتبر و نوامبر ۲۰۰۶) نوعی کاهش کلی در محدوده تغییرات ضریب b در ناحیه دیده می‌شود (شکل ۶) به طوری که ضریب b بین ۱/۲-۰/۸ در منطقه تغییر می‌کند و مناطق خاوری دریاچه سد و حوالی گسل‌های باغ ملک و اندکان به طور کلی کاهش در ضریب b نسبت به سه ماهه پیشین را نشان می‌دهند علت این امر را می‌توان به تغییرات شدیدتر سطح تراز آب در این سه ماهه و رخداد تعداد بیشتر زمین‌لرزه‌ها که با زمین‌لرزه‌ای با بزرگای $M_L = 3/9$ در تاریخ ۲۳ نوامبر ۲۰۰۶ همراه بوده است، نسبت داد (شکل ۷).

همان‌گونه که در شکل‌های ۸ و ۹ دیده می‌شود، برای سه ماهه سوم (دسامبر ۲۰۰۶، ژانویه و فوریه ۲۰۰۷) و سه ماهه چهارم (مارس، آوریل و می ۲۰۰۷) افزایش دوباره میزان ضریب b در منطقه دیده می‌شود، به طوری که در سه ماهه سوم محدوده تغییرات ضریب b بین ۲-۱ و در سه ماهه چهارم بین ۱/۶-۱ متغیر است.

در سه ماهه پنجم (ژوئن، ژوئیه و اوت ۲۰۰۷) دیده می‌شود که دوباره میزان ضریب b در سمت خاور دریاچه سد و بویژه در حوالی گسل باغ ملک نسبت به سه ماهه پیش

همخوانی خوبی داشت. در پژوهش حاضر سعی بر این شده است تا به بررسی ناهمگنی‌های تنش پوسته به کمک اندازه‌گیری ضریب b برای زمین‌لرزه‌های القایی رخ داده در گستره سد مسجد سلیمان پرداخته شود.

۲- منطقه مورد مطالعه و نحوه بررسی داده‌ها

سد مسجد سلیمان با ارتفاع از پی بالغ بر ۱۷۷ متر، عرض تاج ۱۵ متر، طول تاج برابر با ۴۹۷ متر و با دریاچه‌ای به حجم ۲۶۱ میلیون متر مکعب در سطح تراز نرمال، یکی از مرتفع‌ترین سدهای سنگ‌ریزه‌ای با هسته رسی قائم کشور به شمار می‌رود. سد یادشده در زون لرزه‌زمین‌ساختی زاگرس و در ۲۵ کیلومتری شمال خاور شهر مسجد سلیمان قرار دارد. با توجه به تأثیر آبرگیری مخزن در تغییر آهنگ لرزه‌خیزی منطقه مجاور و به منظور پایش لرزه‌ای منطقه، یک شبکه لرزه‌نگاری متشکل از ۵ ایستگاه کوتاه دوره در اطراف گستره سد یادشده نصب شد. همزمانی نصب شبکه یادشده با راه‌اندازی ۶ ایستگاه لرزه‌نگاری سد و نیروگاه گتوند علیا و نزدیکی یکی از ایستگاه‌های شبکه لرزه‌نگاری باند پهن پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله به منطقه مورد بررسی موجب شد تا در تحلیل زمین‌لرزه‌های روی داده در گستره سد مسجد سلیمان در مجموع از ۱۲ ایستگاه لرزه‌نگاری مستقر در منطقه استفاده شود (ابراهیمی، ۱۳۸۸). تعداد کل زمین‌لرزه‌های تعیین محل شده با دقت مطلوب در منطقه سد مسجد سلیمان در فاصله زمانی ۱۵ ماهه از ماه ژوئن ۲۰۰۶ تا ماه اوت ۲۰۰۷، ۳۶۰۹ زمین‌لرزه است. به منظور انجام بررسی‌های دقیق‌تر روی زمین‌لرزه‌های القایی، از آن جا که رومرکز چنین زمین‌لرزه‌هایی غالباً تا فاصله ۳۰ کیلومتری از محل تاج سد قرار می‌گیرند و ژرفای کانونی آنها نیز بین ۲۰ تا ۳۰ کیلومتری است (Gupta et al. 1972)، بنابراین زمین‌لرزه‌های خارج از محدوده ۳۰ کیلومتری تاج سد و زمین‌لرزه‌های بیشتر از ژرفای ۲۰ کیلومتر حذف شدند. تعداد رویدادهای باقیمانده به ۱۹۲۴ زمین‌لرزه کاهش یافت. شکل ۱ نمایش‌دهنده زمین‌لرزه‌های روی داده و نیز موقعیت ایستگاه‌های سد مسجد سلیمان تا شعاع ۳۰ کیلومتری تاج سد و تا ژرفای ۲۰ کیلومتر است. پس از اعمال تصحیحات انجام شده، بررسی‌های آماری بر روی داده‌های اصلاح شده صورت گرفت.

۳- تحلیل داده‌ها و نتایج به دست آمده

یکی از مهم‌ترین عوامل برای تحلیل ضریب b در زلزله‌شناسی بزرگای آستانه‌ای (M_c) داده‌ها است. به خاطر محدودیت‌های سیستم مشاهده یا سطح نوفه (نویز) در یک منطقه مشخص، تعداد رویدادهای گزارش شده با بزرگایی کمتر از یک بزرگای مشخص (که به عنوان بزرگای آستانه‌ای (M_c) شناخته می‌شود) کمتر از واقعیت است. با فرض یک توزیع قانون-توانی برای رابطه بسامد بزرگا (رابطه ۱) می‌توان M_c را در نقطه‌ای که منحنی رسم شده $\log(N)$ بر حسب M دچار شکستگی می‌شود به دست آورد. در این جا همان‌طوری که در شکل‌های ۲ و ۳ دیده می‌شود M_c برابر ۰/۹ در منطقه سد با استفاده از ۱۹۲۴ رویداد انتخابی، برآورد شده است.

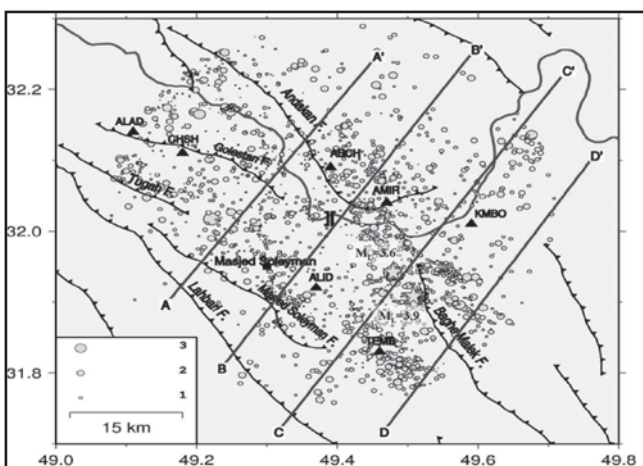
همان‌گونه که پیش‌تر نیز عنوان شد، در مناطقی که شاهد رویداد زمین‌لرزه‌های القایی مخزن هستیم، مقادیر بالاتری از ضریب b نسبت به دیگر مناطق را شاهد هستیم. ضریب b برآورد شده برای منطقه سد در شعاع ۳۰ کیلومتری از مخزن برابر ۰/۹۲۲۹ (شکل ۲) و در خارج از منطقه سد برابر ۰/۷۸۰۱ (شکل ۳) است. برای برآورد این ضرایب از رابطه (۲) (ارائه شده توسط Utsu, 1965) استفاده شده است. این رابطه نشان می‌دهد که احتمالاً بخش قابل توجهی از زمین‌لرزه‌های رویداده در نزدیکی سد و دریاچه آن، از نوع القایی هستند.

برآوردی از میزان خطای ضریب b با استفاده از فرمول تجربی

دریاچه سد مسجد سلیمان دلالت بر پراکنندگی ناهمگن تنش در بخش‌های مختلف پوسته دارند. این در حالی است که تنش‌های همگن ضریب‌های b کوچک‌تری را ایجاد می‌کنند (Mogi, 1962). Gupta et al. (1972) نشان دادند که ضریب b بالای دیده شده در زمین‌لرزه‌های القایی مخزن، ناشی از طبیعت ناهمگن تنش‌های القاشده توسط مخزن است. Simpson (1976) نیز نشان داد که افزایش تدریجی فشار منفذی می‌تواند مهم‌ترین عامل در ایجاد زمین‌لرزه‌های القایی باشد، چرا که این افزایش می‌تواند در نتیجه ضعیف شدن گسل‌های منطقه در نتیجه توزیع و افزایش نسبی فشار منفذی باشد و در نتیجه تنش‌های ناهمگن در منطقه که به ضریب‌های b بالا منجر می‌شود دیده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری تغییرات ضریب b در گستره سد مسجد سلیمان، به روشنی می‌توان اظهار داشت که بیشترین مقدار این ضریب چه در سطح و چه در ژرفا در بخش خاور دریاچه سد مسجد سلیمان و در حوالی گسل‌های اندکان و بویژه گسل باغ ملک دیده می‌شود که دلالت بر القایی بودن زمین‌لرزه‌های رخ داده در این مناطق دارد. ارتباط بسیار نزدیک میان تغییرات ناگهانی و قابل توجه سطح تراز آب دریاچه با رخداد دست کم دو زمین‌لرزه با بزرگای $M_L = 3/6$ و $M_L = 3/9$ (شکل ۷) که محل رویداد آنها همخوانی بسیار خوبی با مناطق دارای مقادیر b بالا دارند (اشکال ۴ و ۵)، همگی تأیید کننده القایی بودن دو زمین‌لرزه یادشده و دیگر رویدادهای رخ داده در مناطق همجوار آنها هستند

سپاسگزاری

پژوهش حاصل ثمره قرارداد پژوهشی منعقد میان پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله به عنوان مشاور و شرکت آب‌نیرو - طرح سد و نیروگاه مسجد سلیمان و سازمان آب و برق خوزستان - معاونت بهره‌برداری سد و نیروگاه به عنوان کارفرما است. به این وسیله از تمامی مسئولانی که امکان انجام پژوهش حاضر را فراهم نمودند صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. از آقای مهندس محسن دزواره که با دقت فراوان زحمت قرائت فاز و تعیین محل اولیه رویدادهای ثبت شده در شبکه لرزه‌نگاری سد و نیروگاه مسجد سلیمان را به عهده داشتند و از آقای مهندس حمیدرضا محمد یوسف که در تمامی مراحل نوبه سنجی، نصب ایستگاه‌ها و جمع‌آوری داده‌ها مشتاقانه ما را یاری نمودند، تشکر می‌شود.



شکل ۱- ۱۹۲۴ زمین‌لرزه ثبت شده در منطقه سد مسجد سلیمان تا شعاع ۳۰ کیلومتری تاج سد و تا ژرفای ۲۰ کیلومتر به همراه موقعیت ایستگاه‌ها و گسل‌های منطقه به همراه مقاطع عرضی موازی به پهنای ۲۵ کیلومتر که به صورت عمود بر روند کلی لرزه‌خیزی منطقه رسم شدند، مکان بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌های ثبت شده با ستاره در شکل مشخص شده است.

از آن کاهش می‌یابد (شکل ۱۰) که علت این امر نیز همانند سه ماهه نخست ناشی از تغییرات شدیدتر سطح تراز آب و وقوع تعداد بیشتر زمین‌لرزه‌ها در این سه ماهه است (شکل ۷) که بزرگای به نسبت بزرگ‌تری نیز داشته‌اند ($M_L = 3/6$ در تاریخ ۲۰۰۷/۸/۱).

۲-۳. محاسبه ضریب b در ژرفا

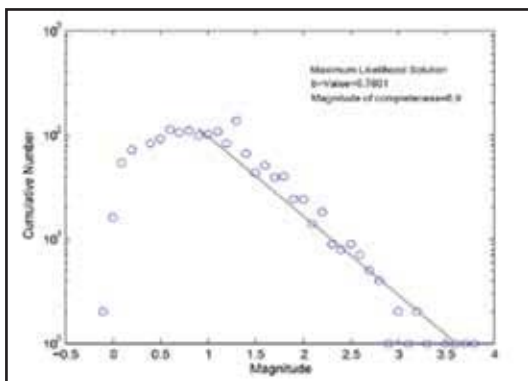
در گام پسین به منظور شناسایی میزان ناهمگنی پوسته در ژرفا و به دست آوردن ضریب b ژرفایی در منطقه برش‌های عرضی کم و بیش موازی به پهنای ۲۵ کیلومتر که به صورت عمود بر روند کلی لرزه‌خیزی و بویژه عمود بر گسل‌های اصلی منطقه چون گسل اندکان، مسجد سلیمان و گلستان رسم شدند (شکل ۱).

شکل ۱۱ میزان تغییرات ژرفایی ضریب b را در امتداد برش AA' نشان می‌دهد، همان‌طور که دیده می‌شود میزان این ضریب بین ۰/۷ تا ۱/۱ متغیر است و بیشترین مقدار خود را در زیر گسل‌های گلستان و اندکان و در ژرفای بین ۳ کیلومتری تا ۱۲ کیلومتری دارا است و علت این امر نیز به طور کامل مشخص است چرا که حضور دریاچه سد در بخش خاور تاج سد و نفوذ آب به منافذ سنگ‌ها باعث افزایش ناهمگنی پوسته در این منطقه و افزایش ضریب b گشته است. در نقشه ژرفایی، ضریب b زمین‌لرزه‌ها در امتداد برش BB' (شکل ۱۲) نیز دیده می‌شود که درست در زیر گسل اندکان و کمی پیش از آن که تاج سد قرار دارد، ضریب b بالایی بین ژرفاهای ۳ تا ۱۲ کیلومتری دیده می‌شود. برای بررسی ناهمگنی در زیر دریاچه سد مسجد سلیمان برش عرضی CC' بر اساس شکل ۱ به موازات دو برش پیشین با عرض مشابه ۲۵ کیلومتر عمود بر گسل لهری رسم شد. نقشه ژرفایی ضریب b برای این برش آشکارا، مقدار بسیار بالایی ($b \geq 1/4$) را درست در زیر گسل باغ ملک و محل دریاچه سد و در ژرفای ۷ تا ۱۲ کیلومتری نشان می‌دهد (شکل ۱۳). با توجه به میزان بالای ضریب b در این منطقه از گستره مورد بررسی، رویداد زمین‌لرزه‌های القایی دور از انتظار نیست. خاوری‌ترین برش عرضی (DD' در شکل ۱) با عرض مشابه و به موازات سه برش دیگر به صورت عمود بر لرزه‌خیزی مشاهده‌ای در خاور گستره مورد مطالعه رسم شد. نقشه ژرفایی ضریب b در این برش نیز همانند برش پیشین در فاصله ژرفایی ۳ تا ۱۲ کیلومتری و در زیر گسل باغ ملک و بالای آن مقادیر بالاتر از ۱/۰ را به نمایش می‌گذارد (شکل ۱۴).

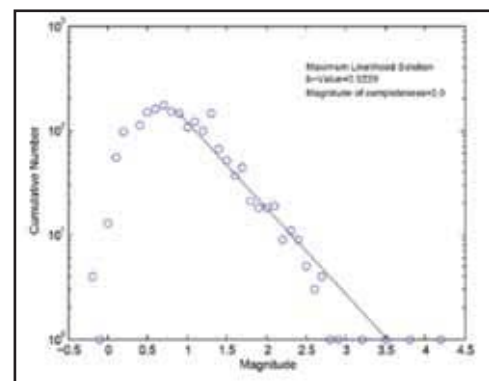
۶- بحث و نتیجه‌گیری

بررسی پراکنندگی فراوانی زمین‌لرزه‌های رویداده در گستره سد مسجد سلیمان نسبت به تغییرات سطح تراز آب دریاچه نشان می‌دهد هر زمان که سطح تراز آب افزایش قابل توجهی یافته، فراوانی زمین‌لرزه‌ها نیز افزایش چشم‌گیری از خود نشان می‌دهد. ارتباط مشخصی بین رویداد زمین‌لرزه‌های متعدد و تغییرات سطح تراز آب دیده می‌شود (شکل ۷).

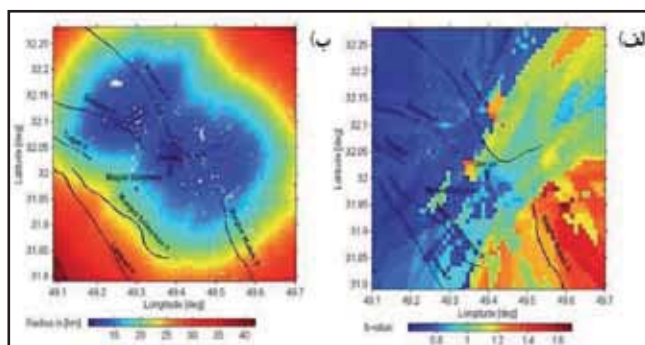
ضریب b برآورد شده برای منطقه سد در شعاع ۳۰ کیلومتری از مخزن برابر ۰/۹۲۲۹ (شکل ۲) و در خارج از منطقه سد برابر ۰/۷۸۰۱ (شکل ۳) است. در ضریب b سطحی محاسبه شده برای منطقه، مقدار این ضریب در ناحیه خاور دریاچه سد، در زیر مخزن سد و حوالی گسل‌های اندکان و باغ ملک همواره به نسبت بالا است (در بیشتر موارد $b \geq 1/0$)، که نشان‌دهنده میزان بالای ناهمگنی در این منطقه است. علت بالا بودن ضریب b در این نواحی نیز به خاطر ایجاد بار وزنی دریاچه و نیز نفوذ آب در این مناطق قابل توجه است که این امر باعث ایجاد ناهمگنی در پوسته زیر مخزن و اطراف آن می‌شود و می‌تواند سبب تحریک این گسل‌ها برای رویداد زمین‌لرزه شود. همان‌گونه که در همه برش‌های ترسیم شده دیده می‌شود، مقدار بالای ضریب b ($b \geq 1/0$) در ژرفاهای بین ۳ تا ۱۲ کیلومتری، آشکارا بالا بودن این ضریب را در ناحیه خاوری دریاچه سد و بویژه در محدوده دو گسل باغ ملک و اندکان نشان می‌دهد. مقادیر ضریب b بالا در منطقه سد (چه در ژرفا و چه در سطح)، بویژه در اطراف



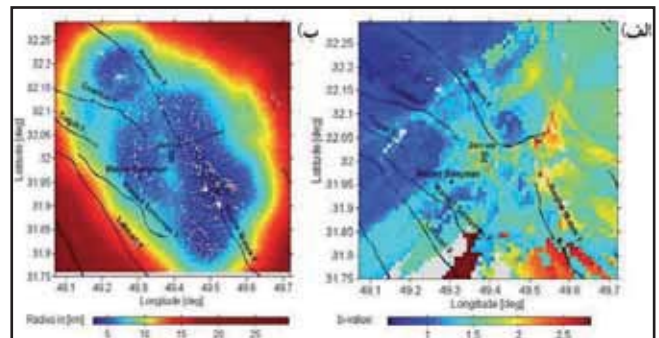
شکل ۳- ضریب b محاسبه شده برای خارج از منطقه سد



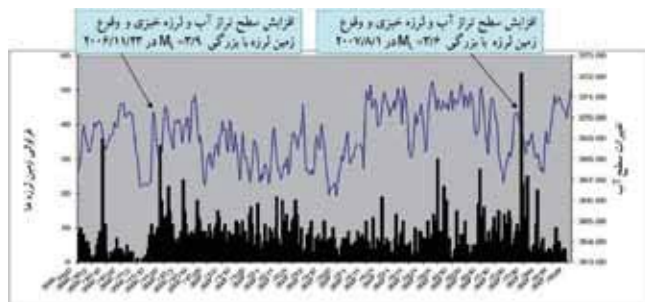
شکل ۲- ضریب b محاسبه شده برای گستره به شعاع ۳۰ کیلومتری از مخزن سد مسجد سلیمان



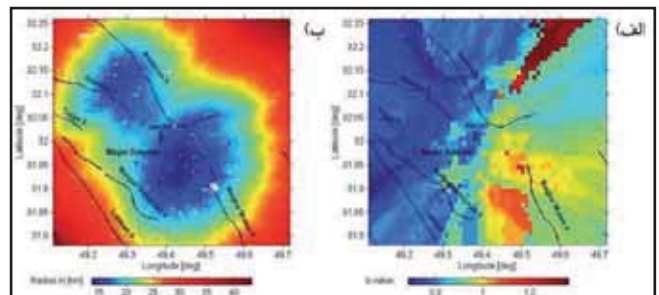
شکل ۵- الف) ضریب b سطحی در سه ماهه اول (ژوئن، ژوئیه و اوت ۲۰۰۶) در محدوده سد مسجد سلیمان ب) نقشه تفکیک‌پذیری



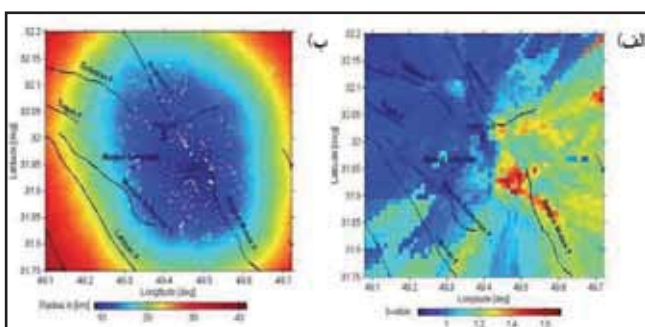
شکل ۴- الف) ضریب b کلی منطقه در سطح ب) نقشه تفکیک‌پذیری



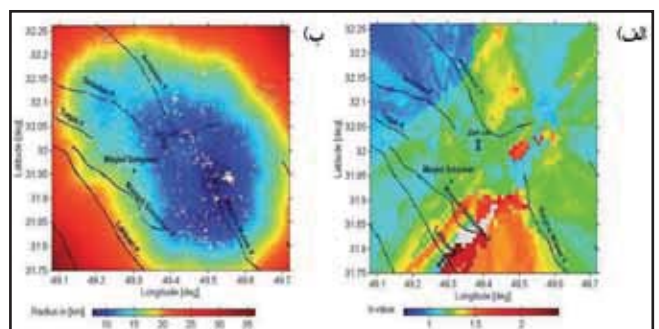
شکل ۷- منحنی تغییرات سطح آب به همراه لرزه‌خیزی منطقه در دوره ۱۵ ماهه نصب شبکه محلی در گستره سد مسجد سلیمان



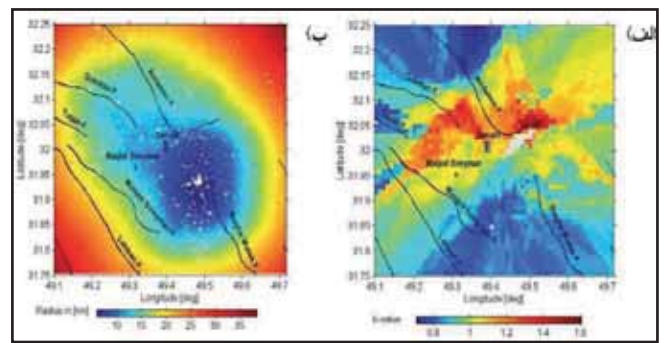
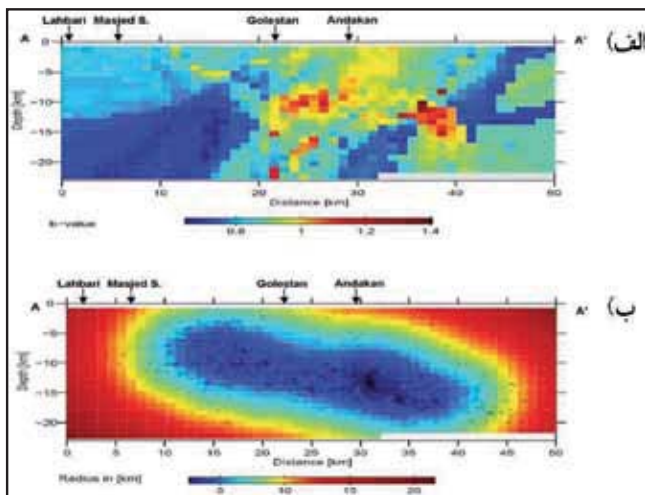
شکل ۶- الف) ضریب b سطحی در سه ماهه دوم (سپتامبر، اکتبر و نوامبر ۲۰۰۶) در محدوده سد مسجد سلیمان ب) نقشه تفکیک‌پذیری



شکل ۹- الف) ضریب b سطحی در سه ماهه چهارم (مارس، آوریل و می ۲۰۰۷) در محدوده سد مسجد سلیمان ب) نقشه تفکیک‌پذیری

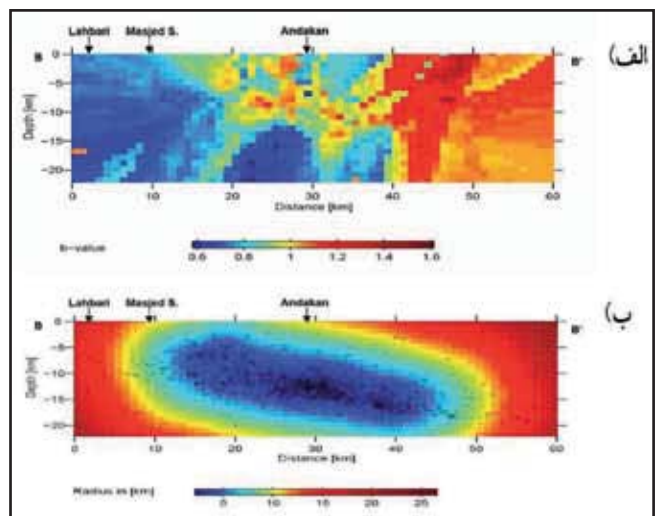
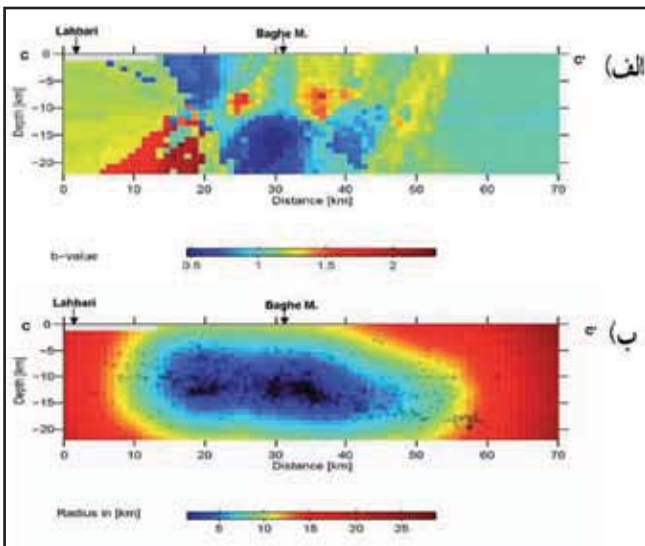


شکل ۸- الف) ضریب b سطحی در سه ماهه سوم (دسامبر ۲۰۰۶، ژانویه و فوریه ۲۰۰۷) در محدوده سد مسجد سلیمان ب) نقشه تفکیک‌پذیری



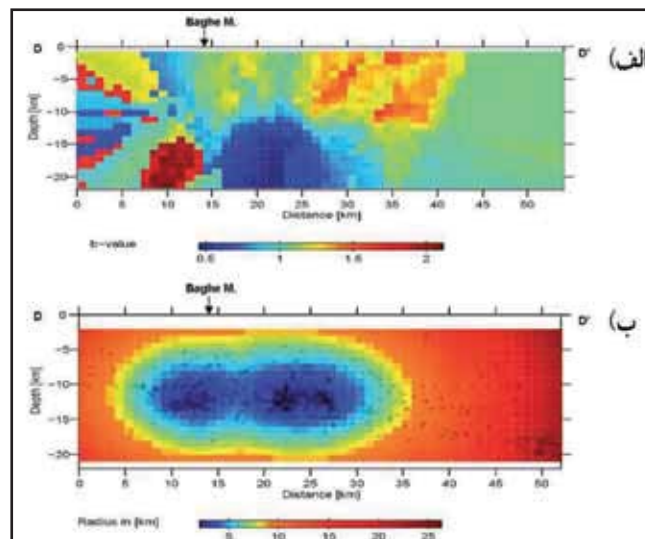
شکل ۱۰- الف) ضریب b سطحی در سه ماهه پنجم (ژوئن، ژوئیه و اوت ۲۰۰۷) در محدوده سد مسجد سلیمان ب) نقشه تفکیک پذیری

شکل ۱۱- الف) تغییرات ژرفایی ضریب b در امتداد برش AA' ب) نقشه تفکیک پذیری



شکل ۱۲- الف) تغییرات ژرفایی ضریب b در امتداد برش BB' ب) نقشه تفکیک پذیری

شکل ۱۳- الف) تغییرات ژرفایی ضریب b در امتداد برش CC' ب) نقشه تفکیک پذیری



شکل ۱۴- الف) تغییرات ژرفایی ضریب b در امتداد برش DD' ب) نقشه تفکیک پذیری

کتابخانه

ابراهیمی، م.، ۱۳۸۸- بررسی زمین‌لرزه‌های القایی در محدوده سد مسجد سلیمان، پایان نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک-گرایش زلزله‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

References

- Gupta, H. K., Rastogi, B., K. and Narain, H., 1972- Common features of the reservoir associated seismic activities , B. Seismol.Soc.Am.,62 , 481- 492.
- Gupta, H. K. and Rastogi, B. K., 1976- Dams and earthquakes, Elsevier, the Netherlands, 229pp.
- Gutenberg, R. and Richter C. F., 1942- Frequency of earthquakes in California, B.Seismol.Soc.Am., 34, 831–851.
- Hamilton, T. and McCloskey, J., 1997- Breakdown in power-law scaling in an analogue model of earthquake rupture and stick-slip, Geophys. Res. Lett., 24 , 465-468.
- Mogi, K., 1962- Magnitude-frequency relation for elastic shocks accompanying fractures of various materials and some related problems in earthquakes, Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ. 40, 831–853.
- Pickering, G., Bull, J. M. and Sanderson, D. J., 1995- Sampling power-law distributions, Tectonophysics 248, 1–20.
- Scholz ,C., H., 1968- The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes , B.Seismol.Soc.Am., 58 , 399-415.
- Simpson, D. W., 1976- Seismicity changes associated with reservoir impounding, Eng.Geol.10 , 371-85.
- Utsu, T., 1965- A method for determining the value of b in the formula $\log N=a-bM$, showing the frequency-magnitude relation for earthquakes , Geophy.Bull. , Hokkaido uni.13, 99-103.
- Warren, N. W. and Latham, G. V., 1970- An experimental study of thermally induced microfracturing and its relation to volcanic seismicity, J. Geophys. Res., 75, 4455-4464.
- Wiemer, S. and Beniot, J. P., 1996- Mapping the b -value anomaly at 100km depth in the Alaska and New Zealand Subduction Zones, Geophys. Res. Lett., 23 , 1557-1560.
- Wyss, M., 1973- Towards a physical understanding of the earthquake frequency distribution, Geophys. J. R. Astr. Soc. 31, 341–359.

Metalogenic Properties of Barik-Ab Pb-Zn (Cu) Ore Deposit with Acidic Tuff Host-Rock, west Central Alborz, Northwest of Iran

K. Bazargani-Guilani¹ & M. Parchekani^{1*}

¹ Department of Geology, University College of Science, University of Tehran, Iran

Received: 2009 April 13

Accepted: 2009 September 16

Abstract

Barik-Ab Pb-Zn (Cu) ore deposit located in 2 km for front Barik-Ab village in north of Abhar town, south eastern of Zanjan province. According to the geological classification of Iran, this area located in Taroum mountains and is a part of west Alborz range, Alborz-Azarbaidjan zone or west of central Alborz with the trend of NW – SE, located in Upper Cretaceous magmatic belt. In the Taroum Mountains, the main outcrops are volcanic and pyroclastic rocks which this sequence is comparable with Karaj Formation and divided into two members. The lower member is called Kordkand (2400 m) and the Upper member named Amand (1400 m). Amand member is divided to 6 submembers. Submembers are Ea1, Ea2, Ea3, Ea4, Ea5, and Ea6. Outcrops in the studied Area are Ea4, Ea5 and Ea6. Barik-Ab ore deposit occurred in Ea4 which is included andesite, rhyolite, breccia tuff, tuff and sandstone and tuffaceous mudstone rocks. Host rocks are rhyolitic, dacitic and rhyodacitic tuffs. Mineralization in Barik-Ab Pb-Zn (Cu) ore deposit divided in two stages: in the first stage mineralized hypogene ore minerals including sphalerite, galena, chalcopyrite, pyrite, bornite and, in second stage formed covellite, malachite, azurite hematite, goethite and limonite by enrichment processes. According to the increase of Cd and decrease of Zn/Cd in the sphalerite and galena and up value of Ag and Sb and decrease of Se/S*10⁻⁴ in the galena and the correlate with other Pb-Zn mineralization types, Barik-Ab Pb-Zn(Cu) ore deposit formed by influence of medium temperature? Hydrothermal fluids into tuff host rocks after the Eocene and mineralization occurred with veinlets and vein formed in the joints, fracture and faults with Silicification alteration in host rock.

Keywords: Pb-Zn (Cu), Barik-Ab Ore Deposit, Tuff, Taroum Mountains, Zanjan, Iran

For Persian Version see pages 97 to 104

* Corresponding author: M. Parchekani; E-mail: Parchekani@khayam.ut.ac.ir

Investigation of the Stress Heterogeneities Using b-value in Reservoir Induced Seismicity in the Masjed Soleyman Dam Area (South West of Iran)

M. R. Ebrahimi¹ & M. Tatar^{1*}

¹ International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran

Received: 2009 September 22

Accepted: 2010 February 02

Abstract

Masjed Soleyman reservoir is located in Zagros Mountain of western Iran, which is one of the most seismically active zones of the Alpe-Himalaya belt. So, it seems to be necessary to carry out widespread studies, especially on the impact of this reservoir with 177 m height and 261 million m³ capacity on occurrence of induced seismicity in the surrounding region. The Gutenberg-Richter relation is one of the well-fitted empirical relations in seismology: it represents the frequency of occurrence of earthquakes as a function of magnitude: $\log_{10} N = A - bM$, where N is the cumulative number of earthquakes with magnitude larger than M and A and b are constants. In this paper we used b-value to study the heterogeneities in the crust beneath and around the Masjed Soleyman reservoir. In order to better understanding of the impact of this reservoir on seismic activity, a local seismic network of 5 seismological stations was installed in the area on June 2006. About 1924 Seismic events recorded during a period of 15 month were used in this study. We mapped both surface and cross-section view of b-value in the region using the computer program ZMAP. The study area was divided into grids with spacing of 0.01° in latitude and longitude. A circle was drawn around each grid point and its radius was increased until it included N=50 earthquakes. The b-value was calculated by using a maximum likelihood method for the selected 50 earthquakes and the grid point was colored corresponding to the b-value. The results show high value of b-value due to reservoir induced earthquakes beneath the Masjed Soleyman lake. The most important factors known responsible for increased heterogeneity in this area, are reservoir loading and increased pore fluid pressure that cause occurrence of swarms and heterogeneous stresses in the area.

Keywords: Induced Earthquake, Masjed Soleyman Dam, b-value, Pore Fluid Pressure, Seismicity

For Persian Version see pages 105 to 110

* Corresponding author: M. Tatar; E-mail: mtatar@iiees.ac.ir