

## لرزه‌خیزی گستره ورزقان با تأکیدی بر زمین‌لرزه مخرب ۱۳۹۱

سیده ساره مظفرپور حسینی<sup>۱\*</sup> و زهره سادات ریاضی راد<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد ژئوفیزیک، دانشکده علوم پایه، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، البرز، ایران

۲- استادیار ژئوفیزیک، دانشکده علوم پایه، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، البرز، ایران

دریافت: مهر ۱۳۹۳، بازنگری: آذر ۱۳۹۳، پذیرش: دی ۱۳۹۳

**چکیده:** منطقه مورد مطالعه در شمال غرب ایران واقع شده است. با توجه به این که این منطقه در ایالت لرزه‌زمین‌ساخت البرز-آذربایجان قرار دارد، می‌توان گفت که در این پهنه کوچک با استفاده از داده‌های لرزه‌ای ثبت شده در شبکه‌های لرزه‌نگاری محلی، مناطق پرخطر و کم‌خطر را مشخص نمود. بنابراین، در این مطالعه با استفاده از کاتالوگ زمین‌لرزه‌های منطقه که شامل ۳۴۷ رویداد از دسامبر ۱۹۰۷ تا ژوئن ۲۰۱۴ میلادی جمع‌آوری شد. با استفاده از روش احتمالاتی، روابط خطی بین بزرگی موج سطحی و موج حجمی برای منطقه به‌دست آورده شد. پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه و بزرگای آستانه تعیین شد، ضریب لرزه‌خیزی و لرزه‌زمین‌ساخت و بزرگی آستانه برای منطقه محاسبه شد. در روش احتمالاتی با استفاده از نرم‌افزارهای مربوطه، نقشه خطر لرزه‌ای برای دوره بازگشت ۵۰، ۱۰۰ و ۴۷۵ سال و پی‌یود ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۱ ثانیه ترسیم شد. سپس نقاط پرخطر، خطر متوسط و کم‌خطر در منطقه مشخص شد. از لحاظ مهندسی، زمین‌لرزه ورزقان که خصوصیت حرکت زمین یک حادثه کمیاب را در منطقه آسیب دیده به‌وجود آورده است باید برای طراحی سازه‌های مقاوم در منطقه مدنظر قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** لرزه‌زمین‌ساخت، خطر زمین‌لرزه، اهر-ورزقان

### مقدمه

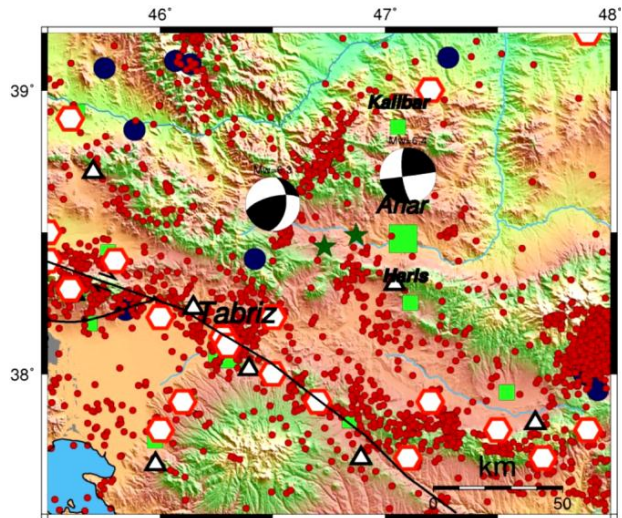
منطقه روی داد (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی). مرکز لرزه‌نگاری کشوری، مختصات جغرافیایی رومرکز زمین‌لرزه اول را ۳۸/۳۲ درجه عرض شمالی و ۴۶/۸۹ درجه طول شرقی و هم‌چنین مختصات جغرافیایی رومرکز زمین‌لرزه دوم را ۳۸/۳۲ درجه عرض شمالی و ۴۶/۷۶ درجه طول شرقی و عمق کانونی زمین‌لرزه‌ها را ۱۰ کیلومتر تعیین کرده است. شکل (۱) توزیع زمین‌لرزه‌های تاریخی (شش ضلعی)، به همراه زمین‌لرزه‌های دستگاهی گزارش شده در کاتولوگ‌های جهانی چون بولتن جهانی انگدال<sup>(۱)</sup> (دایره آبی)، رویدادهای گزارش شده توسط شبکه لرزه‌نگاری تبریز (دایره‌های قرمز) و موقعیت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری با مثلث نشان داده شده‌اند. دو زمین‌لرزه اصلی (ستاره‌ها) و سازوکار کانونی آن‌ها در شکل نشان داده شده‌اند [۱].

زوج زمین‌لرزه اهر-ورزقان در گستره آذربایجان شرقی در شمال غرب ایران و در ایالت لرزه‌زمین‌ساختی البرز-آذربایجان رخ داده است. زمین‌لرزه‌های ۲۱ مرداد ماه ۱۳۹۱ ناحیه اهر-ورزقان در استان آذربایجان شرقی به‌صورت دو زمین‌لرزه بزرگ با فاصله زمانی کمتر از ۹ دقیقه اتفاق افتادند. زمین‌لرزه اول با بزرگای گزارش شده ۶/۲ (مؤسسه ژئوفیزیک)، ۶/۴ (مرکز لرزه‌نگاری آمریکا) و ۶/۱ (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی) در ساعت ۱۶:۵۳ به وقت محلی، برابر با ۱۲:۲۳ به وقت بین‌المللی اتفاق افتاد. حدود ۹ دقیقه بعد از رویداد زمین‌لرزه اول، درحالی که پس‌لرزه‌ها در منطقه ادامه داشت، زمین‌لرزه دوم با بزرگای گشتاوری محاسبه شده از روی شتاب‌نگاشت‌ها برابر با ۶/۲ در

1. EHB Bulletin

\*عهده‌دار مکاتبات: sarehmozaferpoor@yahoo.com

سراب را تشکیل می‌دهد. گسل تسوج، گسلی است کوارترنر با راستای خم‌دار که از پنج کیلومتری شمال تسوج و دریاچه ارومیه می‌گذرد. بخش خاوری گسل دارای راستای شمال خاوری-جنوب باختری با شیب به سمت شمال باختری و بخش باختری آن دارای راستای باختر، شمال باختری-خاور، جنوب خاوری و شیب به سمت شمال، شمال خاوری است. گسل مذکور دارای سازوکار فشاری و درازای تقریبی ۶۱ کیلومتر است. گسل دشت مغان با طول حدود ۹۰ کیلومتر، دارای روند خاوری-باختری است. این گسل در بخش مرکزی دارای سازوکار راست گرد است [۴]. در بخش شمالی گردنه گویچه‌بل، در شمال کوه‌های قوشه‌داغ (رشته کوه‌های باختر کوه‌های سبلان) و جنوب شهر اهر (بخش پیشانی کوهستان) سازندهای شیلی پالتوسن (سنوزویک زیرین) توسط یک گسل وارون‌لغز با شیب زیاد روی سازندهای جوان‌تر که از کنگلومرا و سیلتستون تشکیل شده‌اند (به سن پلیوسن-سنوزویک بالایی) رانده شده‌اند. این رو راندگی به نام راندگی جنوب اهر معرفی شده است [۵].



شکل ۱- توزیع زمین‌لرزه‌های تاریخی (شش ضلعی)، به همراه زمین‌لرزه‌های دستگاهی گزارش شده در کاتالوگ‌های جهانی چون بولتن جهانی انگدال (دایره آبی) و رویدادهای گزارش شده توسط شبکه لرزه‌نگاری تبریز (دایره‌های قرمز). موقعیت ایستگاه‌های شبکه با مثلث و دو زمین‌لرزه اصلی (ستاره‌ها) و سازوکار کانونی آن‌ها در شکل نشان داده شده‌اند.

#### زمین‌شناسی و لرزه‌خیزی منطقه مورد مطالعه

منطقه شمال غرب ایران دارای ساختاری به شدت تغییر شکل یافته و گسل خورده است که در ناحیه‌ای بین غرب دریای خزر، جنوب کمربند رو راندگی قفقاز، شرق آناتولی و شمال رشته کوه‌های زاگرس واقع است [۲]. مقایسه داده‌های ژئوتکنیک و پارینه لرزه‌شناسی و همچنین الگوی پراکندگی تغییر شکل‌های فعال در گستره آذربایجان شرقی همگی گویای وجود پتانسیل لرزه‌زایی در این منطقه است [۳]. از جمله گسل‌های مهمی که در نواحی اطراف رومرکز زوج زمین‌لرزه اهر ورزقان وجود دارد، می‌توان به گسل شمال تبریز، گسل بزقوش، گسل تسوج، گسل دشت مغان و گسل جنوب اهر اشاره کرد. گسل فشاری شمال تبریز که از شمال شهر تبریز می‌گذرد، گسلی است با راستای شمال باختری-جنوب خاوری (N115) و شیب زیاد به سمت شمال خاوری که رسوبات جوان کوارترنری را می‌برد و دارای پیشینه لرزه‌خیزی است. درازای گسل شمال تبریز از بستان‌آباد تا صوفیان ۹۰ کیلومتر است. گسل بزقوش به درازای ۷۰ کیلومتر، راستای خاوری-باختری و شیب کلی به سوی شمال، یال جنوبی کوه‌های بزقوش جنوب

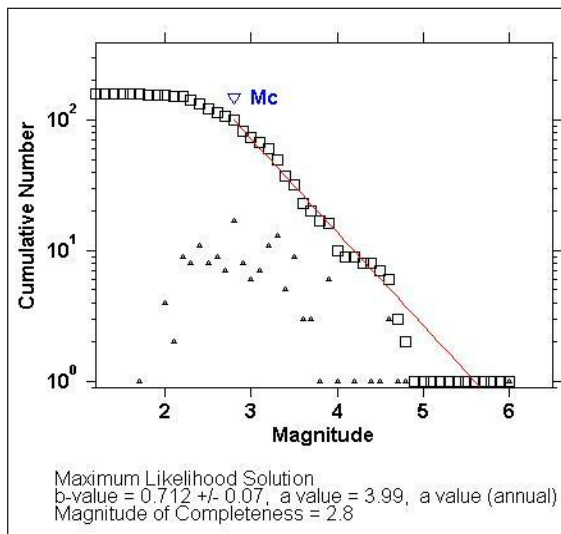
#### برآورد خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی

یک روش برآورد خطر زلزله استفاده از آمار زلزله‌های به وقوع پیوسته در منطقه است که در این حالت از مدل‌های ریاضی استفاده می‌کنند. پس در صورتی می‌توان از این روش استفاده نمود و نتیجه‌های به دست آمده از آن زمانی اعتبار دارند که آمار معتبر و کافی از زلزله‌های قبلی منطقه در دسترس باشند. این نوع تحلیل‌ها احتمال وقوع زلزله با بزرگی مشخص در یک محل را به دست می‌دهند [۶].

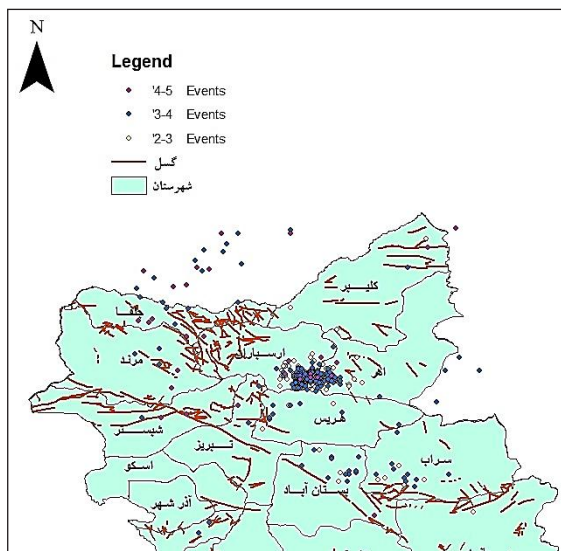
برآورد خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی شامل چهار مرحله اساسی است [۷ و ۸]:

- ۱- تعیین چشمه‌های لرزه‌ای
  - ۲- تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی در هر چشمه‌ی لرزه‌ای
  - ۳- انتخاب رابطه کاهندگی مناسب
  - ۴- برآورد خطر زمین‌لرزه
- برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه از نرم‌افزارهای Zmap و Crisis استفاده شده است. جهت برآورد خطر زمین‌لرزه شهرستان ورزقان به روش احتمالاتی مراحل زیر انجام شده است.

شکل (۴) بر مبنای زمین‌لرزه‌های گستره اهر-ورزقان و اطراف آن، توسط نرم‌افزار Zmap رسم شده است. منحنی تجمعی به‌دست آمده نشان می‌دهد که  $M_c$  را می‌توان از حدود ۲٫۸ به بالا لحاظ نمود. پس از به‌دست آمدن رابطه و تکمیل کاتالوگ نقشه لرزه‌خیزی منطقه به‌صورت شکل (۵) به کمک نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد.



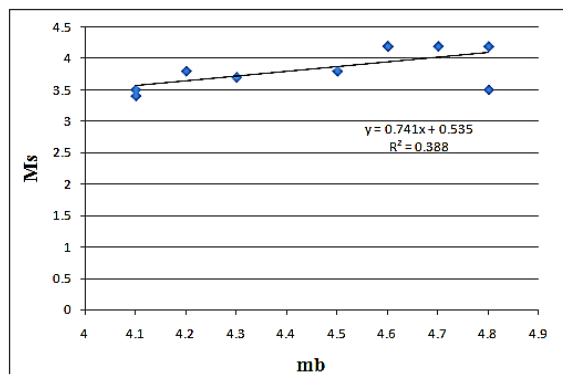
شکل ۴- پارامترهای لرزه‌خیزی و بزرگی آستانه منطقه ورزقان



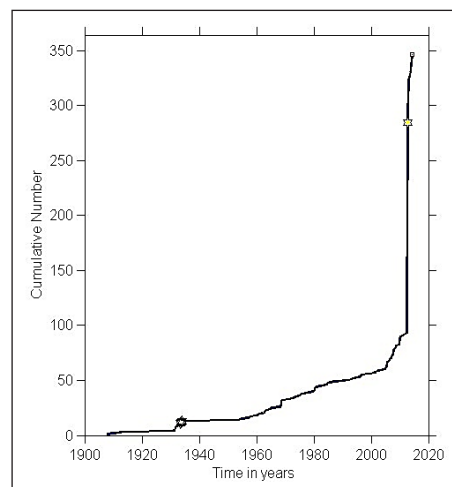
شکل ۵- نقشه لرزه‌خیزی منطقه

با استفاده از نرم‌افزار Crisis شتاب را برای دوره بازگشت زلزله در ۵۰ و ۱۰۰ و ۴۷۵ سال محاسبه می‌کنیم. با قرار دادن نقشه

کاتالوگ زمین‌لرزه‌ها شامل ۳۴۷ رویداد ثبت شده تاریخی و دستگاهی بزرگ‌تر از ۲٫۸ از دسامبر ۱۹۰۷ تا ژوئن ۲۰۱۴ میلادی در این محدوده با استفاده از داده‌های شبکه ملی لرزه‌نگاری باند پهن پژوهشگاه بین‌المللی لرزه‌شناسی و مهندسی زلزله فراهم شده است. بزرگی  $m_b$  برای مطالعات لرزه‌خیزی و برآورد خطر زمین‌لرزه مناسب نیست، بنابراین لازم است که با یافتن رابطه بین دو بزرگی  $m_b$  و  $M_s$  در گستره مورد مطالعه، برای کلیه زمین‌لرزه‌ها بزرگی یکسان  $M_s$  را تعیین کرد [۹]. برای گستره مورد مطالعه رابطه خطی  $M_s = 0.741 m_b + 0.535$  با  $R^2 = 0.388$  پیشنهاد شد (شکل ۲) و کاتالوگ زمین‌لرزه‌ها بر این اساس تکمیل شد. نمودار تجمعی با استفاده از نرم‌افزار Zmap تعیین شد که در شکل (۳) نشان داده شده است. برای کار پهنه‌بندی خطر ما از یک بزرگی آستانه ( $M_c$ )<sup>(۱)</sup> استفاده می‌کنیم، یا بزرگی آستانه، مقدار بزرگی است که زمین‌لرزه‌های بالاتر از آن، به‌طور کامل ثبت شده‌اند.



شکل ۲- رابطه خطی بین بزرگی موج حجمی و بزرگی موج سطحی برای ورزقان

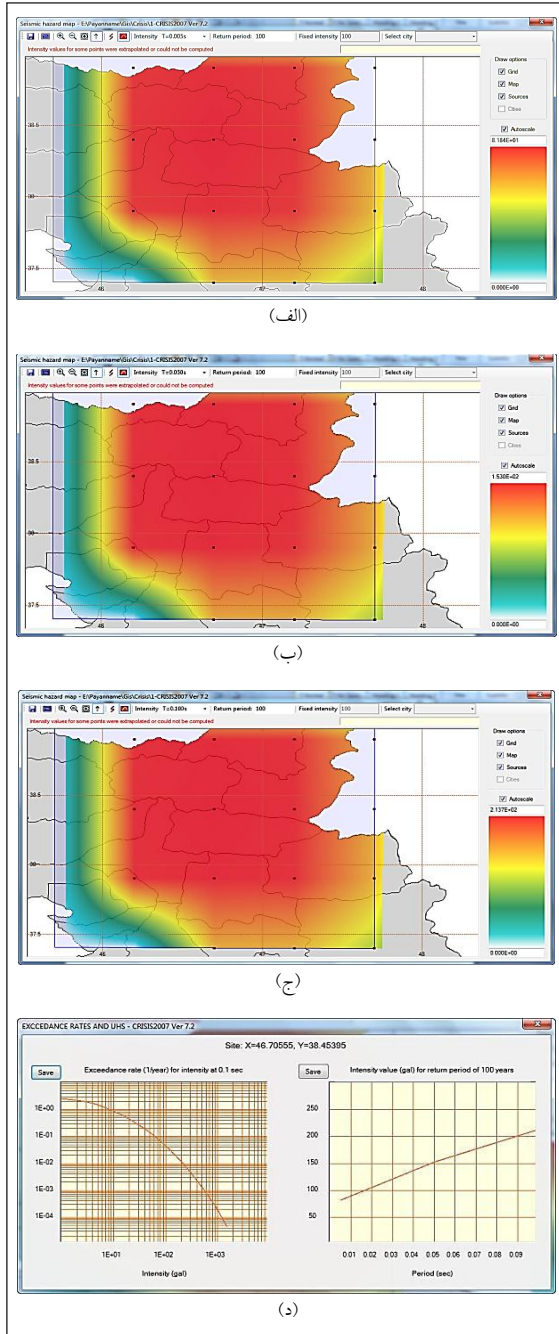


شکل ۳: نمودار تجمعی ۳۴۷ رخداد پواسونی

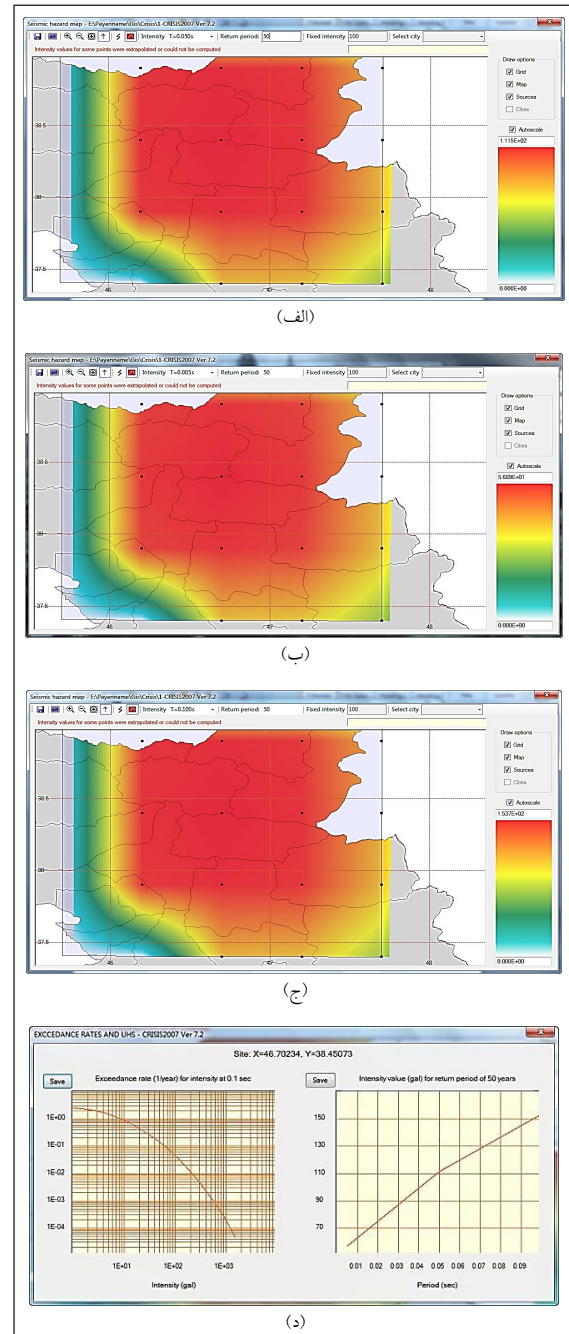
1. Completeness magnitude

در نرم‌افزار Crisis وارد می‌شود. نمودار شتاب برحسب گال برای دوره بازگشت‌های ۵۰ و ۱۰۰ و ۴۷۵ سال و همچنین نرخ شتاب<sup>(۱)</sup> در  $T=0.05$  و  $T=0.5$  و  $T=1$  محاسبه و در شکل‌های (۶) تا (۸) نشان داده شده است.

رسم شده در Crisis منطقه را با چندضلعی مشخص می‌کنیم و با تقسیم‌بندی منطقه، محاسبات در آن محدوده انجام می‌شود. این نتیجه‌ها در شکل‌های (۶) تا (۸) نشان داده شده است. سپس پارامترهای لرزه‌خیزی محاسبه می‌شوند که این مقادارها



شکل ۷- نقشه‌های خطر لرزه‌ای برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال و پریودهای (الف)  $T=0.05$ ، (ب)  $T=0.5$ ، (ج)  $T=1$  ثانیه و (د) نمودار شتاب برحسب گال برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال



شکل ۶- نقشه‌های خطر لرزه‌ای برای دوره بازگشت ۵۰ سال و پریودهای (الف)  $T=0.05$ ، (ب)  $T=0.5$ ، (ج)  $T=1$  ثانیه و (د) نمودار شتاب برحسب گال برای دوره بازگشت ۵۰ سال

1. Exceedance rate



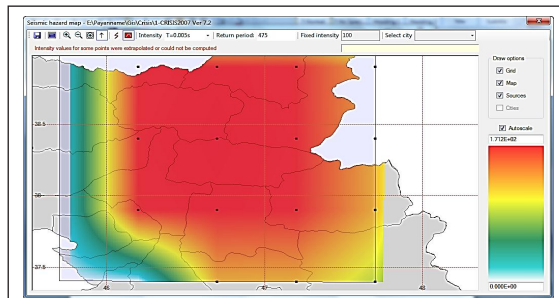
از جدول (۱) مشخص است با افزایش دوره بازگشت میزان شدت افزایش می‌یابد. همچنین روش احتمالاتی تأییدی بر فعالیت بالای لرزه‌ای منطقه است که لزوم توجه هرچه بیشتر به این منطقه را متذکر می‌شود.

جدول ۱- مقایسه شتاب (برحسب گال) روی نقشه خطر لرزه‌ای و روی نمودارها (به صورت جداگانه) برای دوره تناوب‌های ۰/۰۰۵، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱۰۰ سال بازگشت ۵۰، ۱۰۰ و ۴۷۵ سال

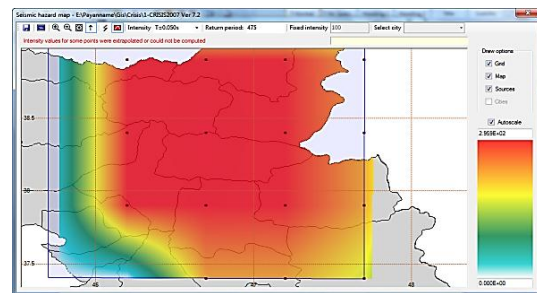
Return period	T	Intensity (gal) (Hazard map)
Return Period 50 years	T=0.005	a=5.674E+01 gal
	T=0.05	a=1.113E+02 gal
	T=0.1	a=1.536E+02 gal
Return Period 100 years	T=0.005	a=8.167E+01 gal
	T=0.05	a=1.528E+02 gal
	T=0.1	a=2.135E+02 gal
Return Period 475 years	T=0.005	a=1.711E+02 gal
	T=0.05	a=2.958E+02 gal
	T=0.1	a=4.140E+02 gal

### نتیجه‌گیری

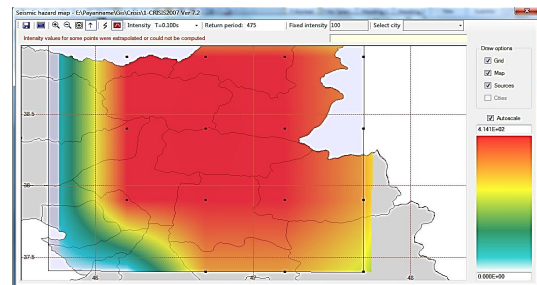
در این مطالعه پس از یکدست نمودن بزرگای زمین‌لرزه‌ها (تبدیل به  $M_c$ ) و یافتن  $M_c$  و  $a$ -value و  $b$ -value به تحلیل خطر زمین‌لرزه‌ای پرداخته شد که  $M_c$  به‌دست آمده در این مطالعه ۲/۸ است. در مطالعات لرزه‌خیزی و ارزیابی خطر لرزه‌ای رابطه گوتنبرگ-ریشتر یکی از ابزارهای کلیدی مورد استفاده است. پارامتر  $a$  در رابطه گوتنبرگ-ریشتر بیانگر توان لرزه‌خیزی است، که  $a$ -value به‌دست آمده در این مطالعه برای اهر-ورزقان ۳/۹۹ است گواهی توان لرزه‌خیزی بالای منطقه است. مقدار  $b$  محاسبه شده در این پژوهش  $0.7 \pm 0.1712$  است که بیانگر فعالیت گسل‌های امتدادلغز و راندگی در این گستره است. از نظر آماری بخش‌های دارای  $b$ -value بزرگ‌تر بیانگر وقوع بیشتر زلزله‌های کوچک‌تر و بخش‌های دارای  $b$ -value کوچک‌تر بیانگر وقوع بیشتر زلزله‌های بزرگ‌تر است. منحنی‌های خطر به‌صورت نقشه‌های پهنه‌بندی برای سه دوره بازگشت ۵۰، ۱۰۰ و ۴۷۵ ساله برای پریمدهای ۰/۰۰۵، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱۰۰ ثانیه، ارائه شد. منطقه شمال‌غرب ایران در منطقه برخورد قاره‌ای عربستان-اوراسیا واقع شده است. سازوکار



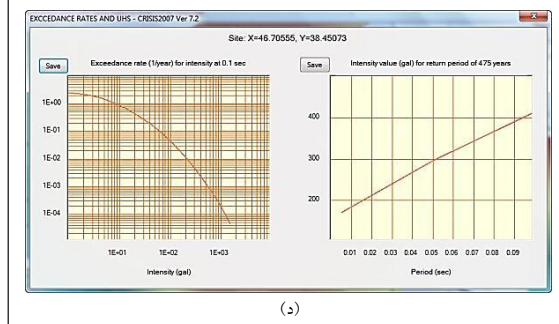
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۸- نقشه‌های خطر لرزه‌ای برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال و پریمدهای (الف)  $T=0.005$ ، (ب)  $T=0.05$ ، (ج)  $T=0.1$  ثانیه و (د) نمودار شتاب برحسب گال برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال

برای زمین‌لرزه ورزقان، برای دوره بازگشت ۵۰، ۱۰۰ و ۴۷۵ سال و پریمدهای ۰/۰۰۵، ۰/۰۵، ۰/۱ ثانیه مقادیر شتاب محاسبه شد که جدول (۱) این محاسبات را نشان می‌دهد. همان‌طور که

اغلب، در این ناحیه امتدادلغز راست‌گرد است. سازوکار به‌دست آمده برای زمین‌لرزه اول امتدادلغز و برای زمین‌لرزه دوم معکوس است. با توجه به زمین‌لرزه‌های رخ داده می‌توان نتیجه گرفت که در اثر رویداد دو زمین‌لرزه متوالی با بزرگی‌های گشتاوری ۶٫۴ و ۶٫۲ باعث فعال شدن گسل در ناحیه غربی شده است و عامل مسبب زمین‌لرزه‌های مذکور گسل جنوب اهر با راستای شرقی-غربی است. عامل اصلی و مؤثر بر شروع فعالیت گسل و ایجاد زلزله‌های اهر-ورزقان را باید، منشأ زمین‌ساخت دانست و بزرگای بالای زلزله‌ها و زمین‌ساخت فعال منطقه، مؤید این مطلب است.

## مراجع

- [۱] داودی، م.، کلاتری، آ. و مصطفی زاده، م.، ۱۳۹۱، گزارش فوری مقدماتی شناسایی مناطق زلزله‌زده ۲۱ مرداد ۹۱ اهر، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- [2] Hessami, K., Pantosti, D., Tabassi, H., Shabanian, E., Abbassi, M. R., Fegghi, K., and Solaymani, S., 2003, Paleoequakes and slip rates of the North Tabriz Fault, NW Iran: preliminary results: *Annals of Geophysics*, 64, 903-915.
- [۳] سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۱، گزارش مقدماتی زمین‌لرزه ۲۱ مرداد ورزقان-اهر.
- [۴] اسلامی، آ.، تقابنی، م. و اشعری، ع.، ۱۳۹۱، گزارش زمین‌لرزه‌های ۱۳۹۱/۰۵/۲۱ اهر-ورزقان، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- [۵] شریفی، ر. و زمانی، ب.، ۱۳۸۹، معرفی راندگی جنوب اهر و بررسی رژیم تنش تکتونیکی پهنه اطراف گسل، چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ارومیه.
- [۶] یغمایی، م. ع.، ۱۳۷۲، طرح مطالعه لرزه‌خیزی استان کرمان، جلد دوم، برآوردخطر زمین‌لرزه استان کرمان، وزارت معادن و فلزات، شرکت توسعه علوم زمین، صفحه ۲۲.
- [7] Reiter, L., 1990, *Earthquake hazard analysis: New York, Columbia University Press*, 254p.
- [8] Cornell, C.A., 1968, *Engineering seismic risk analysis: BSSA*, v. 58, p. 1583–1606.
- [۹] میرزایی و همکاران، ۱۳۸۱
- [۱۰] بخش جستجوی زمین‌لرزه‌های ایران، ۱۳۹۳، درگاه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله. [www.iiees.ac.ir](http://www.iiees.ac.ir)
- [۱۱] بخش جستجوی زمین‌لرزه‌های ایران، ۱۳۹۳، درگاه مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران. [www.ut.ac.ir](http://www.ut.ac.ir)
- [۱۲] بخش جستجوی زمین‌لرزه‌های ایران، ۲۰۱۴، درگاه سازمان زمین‌شناسی آمریکا [www.isc.ac.uk](http://www.isc.ac.uk)
- [۱۳] ماهنامه شبکه شتاب‌نگاری ایران، مرداد ۱۳۹۱، سال هشتم، شماره ۱۱، شماره پیاپی ۹۵. وزارت راه و شهرسازی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی شبکه شتاب‌نگاری ایران.
- [14] Ambraseys, N.N. and Melville, C.P., (1982) - "A history of Persian Earthquakes" Cambridge Earth. Science Services.

---

## **S**eismicity of Varzaghan region with emphasis on the 2012 destructive earthquake

---

S. Mozafarpour-Hosseini<sup>1,\*</sup> and Z. Riazi-Rad<sup>2</sup>

1. MSc in Geophysics, Faculty of Basic Sciences, Chalous Branch, Islamic Azad University, Alborz, Iran
2. Associate Prof. of Geophysics, Faculty of Basic Sciences, Chalous Branch, Islamic Azad University, Alborz, Iran

Received: September 2014, Revised: November 2014, Accepted: December 2014

**Abstract:** This study is located in the Seismotectonics Alborz-Azerbaijan province, that seismic data had been recorded by the local seismic network in the Northwest of Iran. In this study use a catalog of earthquake which includes 347 events since 1907 to 2014. The probabilistic method had been used, that linear relationship has been obtained between the magnitude of surface waves and body waves. Seismicity parameters and completeness magnitude had been calculated. The seismic risk maps had been drawing for returned periods of 50,100 and 475 years in the 0.005, 0.5 and 0.1 seconds. Maps had been shown high and low risk regions. From the engineering point of view, Varzaghan earthquake, which provided ground-motion characteristics of a rare large event in the affected area, was the controlling event for the design of structures with high safety requirement.

**Keywords:** Seismotectonics, Earthquake risk, Ahar-Varzaghan

---

\*Corresponding author Email: sarehmozafarpour@yahoo.com