

## بررسی لرزه زمینساخت و لرزه خیزی در نوشهر و تعیین مناطق پتانسیل خطر بالا

دکتر زهره سادات ریاضی راد<sup>۱</sup>، آناهیتا کی نژاد<sup>۱</sup> و دکتر جعفر قمی اویلی<sup>۱</sup>

### چکیده

علت اصلی فعالیت های لرزه زمین ساختی منطقه شمال ایران وجود ساختارهای تکتونیکی فراوان و ساختارهای خطی شامل چین ها، گسل ها، وقوع زمینلرزه های تاریخی ویرانگر در ناحیه و خرد زمینلرزه های قرن اخیر می باشد که حکایت از امکان تجمع انرژی و مصرف قسمتی از آن توسط رویداد پدیده های مختلف از جمله زمینلرزه هشتم خرداد ماه ۸۳ فیروز آباد کجور (بلده) دارد. از طرفی کمربند لرزه خیز آلپ- هیمالیا محل وقوع زمینلرزه های متعددی در ترکیه، قفقاز، ایران، پاکستان و افغانستان است. ایران به عنوان قسمتی از این کمربند یکی از سرزمین های زلزله خیز جهان می باشد که افزایش و تجمع نیروها در آن در نتیجه اثر حرکت صفحه عربی به سمت شمال خاور و حرکت شبه قاره هند به سمت شمال می باشد که سبب لرزه خیزی عمده در منطقه شده است. مطالعات در این تحقیق، شامل استفاده از نقشه های زمین شناسی با مقیاس های ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰، نقشه زمین شناسی ایران با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه مغناطیسی هوایی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، زمینلرزه های تاریخی و زمینلرزه های ثبت شده در قرن اخیر تا سال ۲۰۰۸ با استفاده از داده های مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله صورت گرفته است. همچنین در ادامه مطالعات صحرایی، ساختارهای زمین ساختی موجود در منطقه و تحلیل فعالیت لرزه زمین ساختی جهت تکمیل کارهای انجام شده صورت گرفته و در انتها نقشه پربندی شتاب از منطقه تهیه و نتایج حاصل بیان گردیده است.

کلیدواژه ها: لرزه زمینساخت، لرزه خیزی، نوشهر، ریسک.

## Investigation of seismotectonics and seismicity in Noshahr and determination of high-risk potential in Mazandaran province

Dr. Zohrehsadat Riazi-Rad, Anahita Keynejhad and Dr. Jafar Gomi-Oile

### Abstract

In this study, fault-lines of northwestern-southeastern trend have been tectonics structures. Besides the mentioned trend, the northwestern southwestern trends also had outcrop in the studied range. Recent seismic data indicate the fact that in the studied range the active presence of North Firouzabad transpressure fault-line has been caused formation of fault scarps. So that, very deep valleys and creates seismotectonics potential in a place where it is jointed with Firouzabad synthetic fault line with northwestern-southwestern trend. More over

<sup>۱</sup> - عضو هیأت علمی گروه زمین شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس [zohrehriazi@srbiau.ac.ir](mailto:zohrehriazi@srbiau.ac.ir)

Firouzabad Kojour earthquake has been the first turning point which has been recorded in Central Alborz mountains after the earthquake which occurred on 2<sup>nd</sup> July (measuring Mw=6.8). Since earthquake, occurrence and specifications of its epicenter are applied to identification of depth-related and kinematical structures of active fault lines. Study of Firouzabad Kojour earthquake would be useful in being familiar and acquainted with tectonic structures of Central Alborz region. 5000 data have been recorded in 19 short period stations of Institute of Geophysics, University of Tehran (IGUT) and 3 broadband stations of International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), since 2004. We use geological map of 1:100000 and 1:250000 scale and topography map with 1:250000 scale in this study. Observed discontinuities on the map are related to the faults in the area which are proved by area geology map.

**Keywords:** seismotectonics, seismicity, Noshahr, risk.

### مقدمه:

### روش مورد مطالعه

در مطالعات خطر لرزه‌ای<sup>۳</sup> ابتدا چشمه‌های لرزه‌ای معین و سپس لرزه‌خیزی گستره مورد بررسی قرار می‌گیرد. ایالت‌های لرزه زمین‌ساختی منطقه بمنظور اعمال ضرایب لرزه‌خیزی بر چشمه‌های انتخاب شده مرحله بعدی بررسی را شامل می‌شود. در منحنی خطر در دو محور قائم بر هم احتمال رویداد و پارامتر موردنظر جنبش نیرومند زمین (غالباً شتاب زمین) رسم می‌گردد. برای انجام تحلیل خطر لرزه‌ای دو روش کلی در دنیا مطرح گردیده‌اند، تحلیل خطر لرزه‌ای به روش احتمالاتی<sup>۴</sup> و تحلیل خطر لرزه‌ای به روش تعیینی<sup>۵</sup>، روشی که در این مطالعه با توجه به مبانی آئین‌نامه ۲۸۰۰ ایران بکار گرفته شده، روش احتمالاتی می‌باشد که در آن با توجه به احتمال وقوع سالیانه یک زمین‌لرزه محتمل P، احتمال وقوع همان زمین‌لرزه در t سال را کرنل<sup>۶</sup>، (۱۹۶۸) با استفاده از رابطه

$$R = 1 - (1 - p)^t$$

t = احتمال وقوع زمین‌لرزه

می‌توان بدست آورد که در آن  $T = \frac{1}{p}$  در نظر گرفته می‌شود. در اینجا مشخص کردن سطوح مختلف طراحی لازم می‌نماید. در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای مانند

تحلیل خطر لرزه‌ای، به طوری که در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای و دستورالعمل‌های بررسی آسیب‌پذیری و مقاوم‌سازی آمده است؛ ابزاری بسیار ضروری برای محاسبه و برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین برای زمین‌لرزه محتمل در آینده در سایت موردنظر می‌باشند. در این آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌ها به ازای هر سطح عملکرد مورد انتظار از سازه پارامترهای زمین‌لرزه احتمالی در آینده، با در نظر گرفتن دوره بازگشت مربوط به آن سطح عملکرد مورد انتظار برای سایت موردنظر برآورد می‌گردد. واژه تحلیل خطر<sup>۱</sup> برآورد مقادیر جنبش زمین و برخی از پارامترهای وابسته بدان، بدون در نظر گرفتن پیامدهای آن در سایت موردنظر است (ولز و کوپراسمیت، ۱۹۹۴) و خطرپذیری<sup>۲</sup> علاوه بر آن به بررسی پیامدهای جنبش نیرومند زمین در سایت موردنظر نیز اشاره دارد. در محاسبه ریسک لرزه‌ای در سایت موردنظر پارامترهایی همچون میزان مقاومت سازه‌ها و لایه‌های متعدد و متنوع دیگر اطلاعات نیز دخیل می‌باشند. در حقیقت می‌توان گفت که آنالیز ریسک لرزه‌ای به بررسی عوارض جنبش نیرومند زمین در حیطه‌های مختلف می‌پردازد. در مطالعه حاضر هدف از تحلیل خطر لرزه‌ای بررسی Hazard در سایت موردنظر می‌باشد. نتایج تحلیل خطر به صورت نقشه پهنه‌بندی خطر ارائه می‌گردد.

<sup>3</sup> - Seismic Hazard

<sup>4</sup> - Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)

<sup>5</sup> - Seismic Hazard Analysis Deterministic (DSHA)

<sup>6</sup> - Cornell

<sup>1</sup> - Hazard Analysis

<sup>2</sup> - Risk

جنبش زمین برای سطح طراحی MCL از تحلیل خطر لرزه‌ای به روش تعیینی (DSHA) بدست می‌آیند.

### چشمه‌های لرزه‌ای

برای انجام تحلیل خطر لرزه‌ای، چشمه‌های لرزه‌ای به سه شکل چشمه نقطه‌ای، چشمه خطی و چشمه ناحیه‌ای (سطحی)، در صورت کمبود اطلاعات روی گسل‌ها و عدم ارتباط قطعی رخداد‌های لرزه‌ای با گسل مسبب، غالباً چشمه‌های لرزه‌ای به شکل سطحی مدل می‌شوند.

یک زون گسل همکش، بصورت یک چشمه پهنه‌ای و یک چشمه پهنه‌ای با در نظر گرفتن عمق زون لرزه‌زا یک چشمه حجمی شناخته می‌شود که به دلیل عدم شناخت دقیق عمق کانونی زمین‌لرزه‌ها در بسیاری از مناطق نمی‌توان این نوع چشمه را دربرآورد خطر زمین‌لرزه مورد استفاده قرار داد. توانمندی این چشمه‌ها به ترتیب بر حسب بزرگی زمین‌لرزه‌های رویداده، سطح تخریب ابعاد گسله‌ها، میانگین شکستگی وسعت و نوع ساختار آن تخمین زده می‌شود.

در مواردی که رخداد‌های زمین‌لرزه‌ای در یک منطقه را نتوان به طور مشخص به یک گسل خواص نسبت داد، در این حالت چشمه لرزه‌ای به صورت ساخت متمرکز تعیین می‌شود. که عبارتست از ناحیه‌ای متمرکز از گسل‌های فعال شناخته شده یا شناخته نشده که محل رخداد زمین‌لرزه می‌باشند (ولز و کوپراسمیت، ۱۹۹۴).

### پیکربندی چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه

به طور مرسوم، پیکربندی چشمه‌های زمین‌لرزه‌ای منفرد بسته به توانائی تعیین آن، به صورت نقطه‌ای، خطی، پهنه‌ای یا حجمی تعیین می‌شوند (ویتا، ۱۹۹۰). مطالعات انجام شده بر روی گسل‌های لرزه‌زا در دنیا نشان داده‌اند که کل طول یک گسل در جریان زمین‌لرزه‌ای منفرد گسیخته نمی‌شوند بلکه آنها بصورت قطعات

استاندارد ۲۸۰۰ با توجه به درجه اهمیت سازه یکی از ۴ نوع سطح طراحی برای سازه‌ها انتخاب می‌شود؛ که عبارتند از:

- سطح حداکثر زمین‌لرزه قابل وقوع<sup>۱</sup> (MCL)
- سطح ماکزیمم طراحی<sup>۲</sup> (MDL)
- سطح مبنای طراحی<sup>۳</sup> (DBL)
- سطح ساخت<sup>۴</sup> (CL)

سطح طراحی MCL به صورت پارامترهای بزرگترین زمین‌لرزه ناشی از نزدیکترین گسل یا بزرگترین زمین‌لرزه تاریخی یا بزرگترین زمین‌لرزه‌ای که از لحاظ تکتونیکی امکان وقوع در منطقه را دارد؛ تعریف می‌شود. در سطح طراحی MDL، پارامترهای زمین‌لرزه با دوره بازگشت ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ ساله برای طراحی در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که بخواهیم سازه را برای زمین‌لرزه محتمل در عمر مفید سازه زمین‌لرزه‌ای با دوره بازگشت ۱۵۰ تا ۵۰۰ ساله (معمولاً ۴۷۵ ساله) طراحی کنیم از سطح طراحی DBL استفاده می‌شود. در این سطح طراحی امکان خرابی جزئی به سازه و اجزای غیرسازه‌ای مورد قبول می‌باشد ولی نایستی سازه به مرحله انهدام برسد. پایین‌ترین سطح طراحی لرزه‌ای مربوط به سطح ساخت CL می‌باشد؛ بدین معنا که سازه‌های در حال ساخت بایستی بتوانند حداقل این زمین‌لرزه (زمین‌لرزه‌ای با دوره بازگشت ۵۰ ساله) را در صورت وقوع تحمل نمایند.

برای سطوح طراحی که در بالا اشاره گردید زمین‌لرزه محتمل در آینده با دوره بازگشت ۵۰ تا ۱۰۰۰۰ ساله در نظر گرفته می‌شود. که زمین‌لرزه ۱۰۰۰۰ ساله مربوط به سطح طراحی MCL و زمین‌لرزه ۵۰ ساله مربوط به سطح طراحی CL می‌باشد. پارامترهای جنبش زمین برای سطوح طراحی MDL و DBL و CL از تحلیل خطر لرزه‌ای به روش احتمالاتی (PSHA) و پارامترهای

<sup>1</sup> - Maximum Credible Design Level (MCL)

<sup>2</sup> -Maximum Design Level (MDI)

<sup>3</sup> -Design Basis Level (DBL)

<sup>4</sup> -Construction Level (CL)

سطحی با استفاده از شواهد زمین‌شناسی موجود باشد. در میان روابط تجربی ارائه شده، ولز و کوپراسمیت (۱۹۹۴)، بر اساس اطلاعات مربوط به ۲۴۴ زمین‌لرزه در سراسر جهان، از جمله ۱۲ زمین‌لرزه ایران، روابط متعددی را ارائه داده‌اند که نسبت به روابط دیگر بسیار قابل اعتمادتر هستند.

### پهنای فروشیب و شیب گسل

به منظور مدل کردن گسل باید برآوردی از شیب گسلش در سراسر چشمه گسلی، و زون لرزه‌زا (معمولاً ۱۵ کیلومتر بالایی پوسته)، صورت گیرد. با استفاده از نتایج تجربی، رابطه روشنی میان شیب گسل و نوع گسل بدست آمده است. مثلاً چنانچه شیب گسل بیش از ۷۰ درجه باشد آن گسل احتمالاً امتداد لغز می‌باشد و برعکس؛ چنانچه گسلی از نوع امتداد لغز باشد، تا حد زیادی محتمل است که دارای شیب تندی در اعماق زون لرزه‌زا باشد (ولز و کوپراسمیت، ۱۹۹۴)

### پهنای زون چشمه

پهنای فروشیب با استفاده از عمق زون بدست آمده از توزیع پس‌لرزه‌ها تعیین می‌شود، اما در مکانهایی که این کار میسر نباشد، پهنای فروشیب با استفاده از عمق (ضخامت) زون لرزه‌زا یا عمق کانونی و شیب صفحه گسلش برآورد می‌شود. برای بیشتر زمین‌لرزه‌های با بزرگی بیش از ۵/۵، رخدادای اصلی نوعاً در نزدیک کف زون لرزه‌زا رخ می‌دهند. گسل‌های امتداد لغز دارای شکستگی‌های باریک و ساده‌تری نسبت به گسل‌های معکوس یا نرمال می‌باشند.

### توانمندی لرزه خیزی گسل های منطقه مورد

#### مطالعه

می دانیم لرزه خیزی گسل ها با درازای بخش شکسته گسل و جابجائی آن ارتباط دارد در مورد گسل های

منفرد می‌شکنند. به عبارت دیگر زونهای گسلی اغلب به قطعات منفردی تقسیم می‌شوند که این قطعات بطور مستقل به عنوان یک چشمه بالقوه زمین‌لرزه باید در تحلیل خطر زمین‌لرزه، بکار گرفته شوند.

### هندسه چشمه زمینلرزه

زونهایی با لرزه‌خیزی متمرکز در فضا، اغلب به عنوان زونهای چشمه بالقوه زمینلرزه مشخص می‌شوند، حتی اگر آنها زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی‌های متوسط به بالا ایجاد نکرده باشند. چنانچه چشمه بالقوه زمین‌لرزه شامل یک ساخت منفرد (گسل، چین یا حوضه) باشد، پیکربندی زون چشمه با نوع ساختار آن کنترل می‌شود. خردلرزه‌های ثبت شده، برای تشریح زون چشمه بالقوه زمینلرزه ارزشمند هستند (شکل ۱)، بویژه زمانی که زون چشمه بالقوه زمین‌لرزه، بر اساس شواهد زمین ریختی و یا مطالعات ژئوفیزیکی، بصورت یک بی‌هنجاری مشخص شود. تعیین زون چشمه بالقوه زمین‌لرزه هنگام وجود زمین‌لرزه‌های متوسط تا بزرگ در یک ناحیه با سهولت بیشتری انجام می‌گیرد (شکل ۱).

### طول گسیختگی سطحی

طول گسیختگی سطحی قابل ارتباط با بزرگی زمین‌لرزه است. طول گسیختگی‌های اندازه‌گیری شده از روی نقشه‌ها، باید با طول گسیختگی‌های گزارش شده از توصیفات گسلش سطحی مقایسه شوند.

### رابطه بزرگی زمین‌لرزه بر حسب طول

#### گسیختگی سطحی

رابطه میان بزرگی زمین‌لرزه و طول گسیختگی سطحی، زمانی قابل استفاده است که طول گسیختگی سطحی، زمانی قابل استفاده است که طول گسیختگی

برای تعیین حداکثر شتاب افقی زمین در محل کانون مقدار شدت نسبی (Io) را از دستور تجربی آمبرسایز و ملویل به دست آورده و سپس با استفاده از دستور تجربی تریفوناک و بردی حداکثر شتاب افقی بر حسب سانتی متر بر مجذور ثانیه بدست می آید.

$$I_o = 2.3M_s + 0.09$$

$$\log A_h = -0.041 + 0.3I_o$$

از این روابط تنها برای گسل های با درازای بیش از ۱۰ کیلومتر استفاده شده است زیرا گسل های کوچکتر از اهمیت لرزه زائی کمتری برخوردار هستند.

با توجه به رویط موجود توان لرزه ای گسل ها و حداکثر شتاب افقی آن ها محاسبه شده است. در محدوده مورد مطالعه گسلش عمده از نوع راندگی با راستای خاور جنوب خاوری- باختر شمال باختری رخنمون غالب دارد.

### تعیین ماکزیمم شتاب افقی به وجود آمده در منطقه مورد مطالعه بر اثر فعالیت گسل ها

برای تعیین شتاب افقی به وجود آمده در ساختگاه ابتدا باید مقدار بزرگی را از رابطه مهاجر اشجعی و نوروزی (۱۹۷۸) به دست آورد، سپس با استفاده از رابطه (مس و مور) که بر پایه زمینلرزه های ایران می باشد مقدار حداکثر شتاب افقی در ساختگاه را محاسبه می نمایم.

$$a_R = 1080.e^{0.58M_s} (R + 25)^{-1.32}$$

در این فرمول R فاصله سازه از گسل بر حسب کیلومتر و e عدد ثابت نپر می باشد. مقدار a با R رابطه عکس دارد. هرچه فاصله ساختگاه از گسل مورد نظر کمتر باشد مقدار a بیشتر خواهد بود.

### برآورد سرعت، شتاب و جابجاشدگی افقی

برای برآورد پارامترهای فوق ابتدا مقدار شدت نسبی Io را از فرمول  $I_o = 1.3M_s + 0.09$  بدست می آوریم

کوآرترنر رابطه ای مستقیم بین توان لرزه ای و درازای گسل وجود دارد. مطالعات بسیاری در مورد رابطه طول شکستگی گسل با بزرگی زلزله حاصله وجود دارد. در این روابط ویژگی هایی همچون ساز و کار گسل، سیمای هندسی آن (خمدار بودن، گسله های شاخه ای و غیره) مد نظر است. با توجه به گسل های معرفی شده در منطقه مورد مطالعه و روابط موجود، مقدار Ms محاسبه شده در جدول (۱) ارائه شده است.

روابط پیشنهادی سلمونز (۱۹۸۲):

برای گسل های امتداد لغز

$$M_s = 1.404 + 1.169 \log L$$

برای گسل های فشاری

$$M_s = 2.02 + 1.142 \log L$$

برای گسل های نرمال

$$M_s = 0.809 + 1.341 \log L$$

در فرمول های فوق L طول گسل بر حسب متر است.

رابطه آمبرسایز و ملویل (۱۹۸۲):

این رابطه بر اساس زمینلرزه های خاورمیانه به دست آمده است و برای  $M_s > 6$  کاربرد دارد.

$$M_s = 1.429 \log L + 4.629$$

L در این جا طول گسل بر حسب کیلومتر است.

رابطه نوروزی و مهاجر اشجعی (۱۹۷۸):

در این رابطه M بزرگی زمینلرزه در مقیاس ریشتر و

L طول گسل بر حسب کیلومتر است.

$$M = \log L + 5.4$$

روابط کوپراسمیت (۱۹۹۴):

برای گسل های امتداد لغز

$$M_s = 5.16 + 1.12 \log L$$

برای گسل های معکوس

$$M_s = 5.0 + 1.22 \log L$$

برای گسل های نرمال

$$M_s = 4.86 + 1.32 \log L$$

این روابط بر اساس اطلاعات مربوط به ۲۴۴ زمینلرزه در سراسر جهان که از آن تعداد ۱۲ زمینلرزه متعلق به ایران است، بدست آمده است. L طول گسیختگی گسل بر حسب کیلومتر می باشد.

بیشه تا شمال منطقه مورد مطالعه امتداد داشته است (F1).

این نقشه نمایانگر حضور خطواره ای پنهان در بخش جنوب باختری منطقه می باشد (F4, F5). این خطواره که روند تقریبی شمال خاوری- جنوب باختری دارد، می تواند شاخه ای از خطواره پنهان جنوب خاوری منطقه باشد که در اثر عملکرد همزمان آن و گسل های اصلی منطقه (چیتین- ناتر- دشت نظیر، سماء- مجلار) در راستای شمال خاوری- جنوب باختری آزاد شدن انرژی سبب وقوع زمین لرزه ۸ خرداد ماه فیروزآباد کجور شده باشد.

### پهنه بندی خطر زمین لرزه برای گستره نوشهر

برای انجام برآورد خطر زمین لرزه در گستره نوشهر لازم است برای شبکه ای از نقاط، شتاب (معمولاً شتاب افقی) ناشی از رویداد زمین لرزه در چشمه های بالقوه لرزه ای محاسبه و برای گستره مورد نظر نقشه پهنه بندی زمین لرزه ترسیم شود. همچنین نتیجه حاصله از تبدیل حوزه محاسبات و عبارتی دیگر نتایج حاصله در حوزه طیف را نیز می توان به همین صورت نمایش داد. معمولاً اینکار را می توان بوسیله ۱- نقشه های هم شتاب (و یا هم شتاب طیفی) ۲- نقشه های پهنه بندی خطر (برطبق سلیقه ای نظر آئین نامه ۲۸۰۰) انجام داد. در نقشه های مهم شتاب و همچنین نقشه های پهنه بندی خطر زمین لرزه (چه در حوزه زمان و چه در حوزه طیف) پیش فرض های انتخاب شده برای دوره بازگشت لازم است. در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن موارد مطروحه در آئین نامه ۲۸۰۰ نتایج تحلیل خطر زمین لرزه، که در این قسمت بصورت نقشه های هم شتاب و نقشه های خطر زمین لرزه آورده شده است، در شکل های (۳ و ۴) نشان داده شده است.

### نتیجه گیری

بر اساس آمار بدست آمده از نگاشت زمین لرزه های ایران توسط ایستگاه های جهانی نزدیک ۷۵ درصد

سپس از دستورهای تجربی تریفوناک و بریدی (۱۹۷۵) استفاده می کنیم.

حداکثر شتاب افقی و قائم

$$\log A_H = 0.25 I_o + 0.25$$

$$\log A_V = -0.18 + 0.3 I_o$$

حداکثر سرعت افقی و قائم

$$\log V_H = 0.63 + 0.25 I_o$$

$$\log V_V = -1.1 + 0.28 I_o$$

حداکثر جابجائی افقی و قائم

$$\log D_H = -0.53 + 0.19 I_o$$

$$\log D_V = -1.13 + 0.24 I_o$$

که در آن شتاب بر حسب  $\text{cm/s}^2$ ، سرعت بر حسب  $\text{cm/s}$  و جابجائی بر حسب  $\text{cm}$  و  $I_o$  شدت نسبی در محل کانون در مقیاس مرکالی است.

### خطواره های مغناطیسی

برای شناسایی خطواره هایی که رخنمون سطحی ندارند و گسل هایی که در زیر دشت پوشیده از آبرفت پنهان می باشند از نقشه خطواره های مغناطیسی استفاده شده است. این نقشه نمایانگر حضور خطواره های پنهان در بخش باختری منطقه می باشد (نقشه خطواره مغناطیسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ آمل). این خطواره با روند No65، امتداد شمال خاوری- جنوب باختری دارد که در شکل (۲) به صورت خط چین نمایش داده شده است.

خطواره ی پنهان دیگری در بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه دیده می شود که در شمال کوه آبکش به دو شاخه تقسیم شده است (F2). شاخه شمالی آن در شمال روستای کدیر، بر گسل جنوب گلندرود مطابقت دارد (F6) و شاخه جنوبی این خطواره در شمال کوه ولیک بن بر گسل ولیک بن مطابقت داشته و به سمت باختر ادامه پیدا می کند (F3).

خطواره پنهان در جنوب خاوری منطقه مورد مطالعه با روند خاوری- باختری که از شمال گسل دونا- سیاه

فرونی در ۵۰ سال) برای پیرودهای PGA (نقشه خطر) برای سنگ بستر لرزه‌های قابل ارائه می‌باشد.

در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن موارد مطروحه در آئین‌نامه ۲۸۰۰ نتایج تحلیل خطر زمین‌لرزه، که در این قسمت بصورت نقشه‌های هم‌شتاب و نقشه‌های خطر زمین‌لرزه آورده شده است. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه دوره بازگشت ۴۷۵ سال (سطح مبنای طراحی) بیانگر وجود پهنه با خطر لرزه‌های بالا در قسمت وسیعی از مساحت استان مازندران است. همچنین در نواحی کوچک خطر نسبی بسیار بالا (جنوب شهرهای قائمشهر و ساری) را نیز می‌توان مشاهده نمود. شهرهای بزرگ استان نظیر ساری و آمل و چالوس در محدود خطر متوسط قرار می‌گیرند و شهرهایی نظیر قائمشهر و پل سفید و تنکابن و رامسر در محدوده خطر بالا قرار دارند. همچنین دو محدوده گردشگری کلاردشت و مرزن‌آباد نیز در پهنه با خطر بالا واقع هستند. در نقشه پهنه‌بندی برای پیرودهای ۰/۲ ثانیه نیز مشاهده می‌شود که شهرهایی مانند ساری و آمل و بهشهر و نوشهر و چالوس در سطح مبنای طراحی و در سنگ بستر لرزه‌های شتاب تا ۰/۵ را متحمل خواهند شد که طبعاً با تأثیر اثر بزرگنمایی خاک در سطح زمین مقادیر زیادتری را انتظار خواهیم داشت. محدوده‌ای نظیر پل سفید و کلاردشت و مرزن‌آباد بیشترین مقدار شتاب طیفی محاسبه شده را نشان می‌دهد.

متذکر می‌شویم که نقشه‌های ارائه شده پهنه‌بندی خطر لرزه‌های برای سنگ بستر لرزه‌ای می‌باشد و برای محاسبه شتاب و مولفه‌های آن در سطح زمین مطالعات ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای در نقاط مهم استان بسیار ضروری می‌باشد.

### تشکر و قدردانی

این اثر با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس به انجام رسیده است که جا دارد از حوزه پژوهشی واحد تشکر و قدردانی گردد. همچنین از جناب آقای دکتر عکاشه که با نظرات سودمند خود بر

زمین‌لرزه‌های در گستره البرز بزرگی کوچکتر از ۵/۰ دارند.

مناطق از البرز که زمین‌لرزه‌های ثبت شده در آن تراکم بیشتری را نشان می‌دهند شامل رودبار (گسل‌های رودبار سنگ رود و قزل‌اوزن) تا شمال قزوین (گسل کوه انگل، گسل شاهرود و گسل شمال قزوین)، منطقه بوئین زهار و اشتهاورد (گسل‌های ایپک، جارو، چنار، وزیرخان، آفتاب‌رو). در یک نگاه اجمالی مشاهده می‌شود در قسمت غربی البرز عمده فعالیت در دو ناحیه رودبار - منجیل تا شمال قزوین و بوئین زهار و اشتهاورد متمرکز شده است. در بخش البرز مرکزی نیز در قرن اخیر، سه منطقه فعالیت لرزه‌ای بیشتری به چشم می‌خورد. که شامل جنوب غربی آمل، جنوب - جنوب شرقی نور و علمده (گسل‌های خزر و شمال البرز)، شمال و شمال غرب گرمسار (گسل گرمسار، گسل کواربیلیک و گسل سرخ کالوت)، منطقه واقع در شمال غربی سمنان (گسل فیروزکوه، گسل گچاب، گسل لاردکمر).

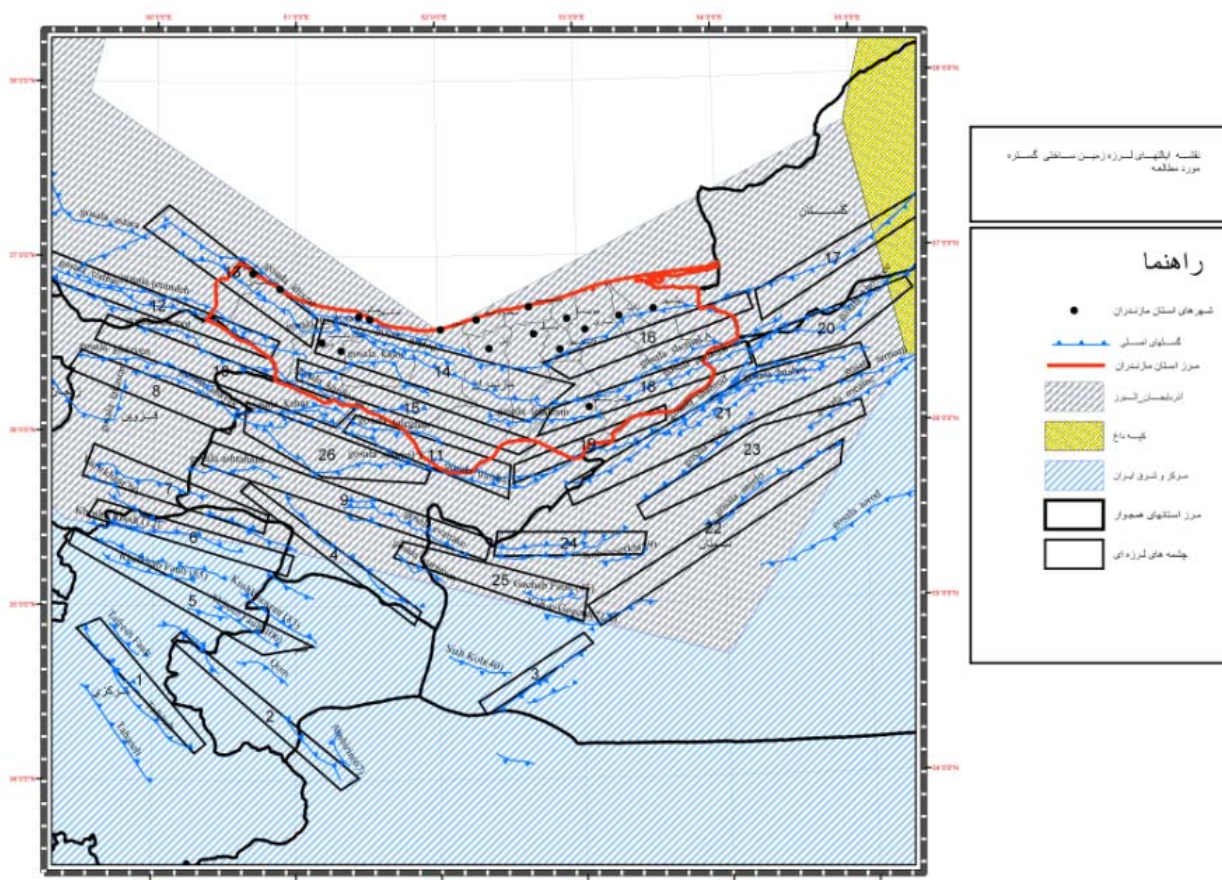
در بخش شرقی البرز، در یک محل نسبت به سایر قسمت‌ها تراکم زیادی از مراکز زمین‌لرزه دیده می‌شود. در نزدیکی گسل‌های خوش‌بیلاق و بخش شرقی گسل خزر قرار دارد. در قسمت شمال شرقی البرز تراکم مراکز زمین‌لرزه قابل ملاحظه است ولی نکته قابل توجه پراکندگی و رخداد بسیار اندک زمین‌لرزه در بخش وسیعی از البرز شرقی است.

تعداد رخداد در واحد سطح نیز می‌تواند در جدایش محدوده‌های لرزه‌خیز از هم مفید باشد برای همین منظور دانسیته رخداد زمین‌لرزه‌ها در محدوده مورد مطالعه و برای تمام ایالت البرز مطالعه نشان داده شده است. با استفاده از روش انتخاب چند ضلعی، و بر اساس داده‌های واقع در آن تمامی ضرایب لرزه‌خیزی محاسبه گردیده است.

نتایج و دست‌آورد این پژوهش بصورت منحنی خطر برای نقاط مهم (مراکز جمعیتی مهم) و نیز بصورت نقشه پهنه‌بندی برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله (۱۰ درصد

زلزله شناسی و مهندسی زلزله به خاطر همکاری های لازم تشکر و قدرانی می شود.

غنای علمی این مقاله افزودند سپاسگزاری می کنم. از مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و پژوهشگاه بین المللی



شکل (۱): ایالت های لرزه زمین ساختی

جدول (۱): پتانسیل لرزه ای گسلهای با طول ده و بیش از ده کیلومتر در گستره مورد مطالعه

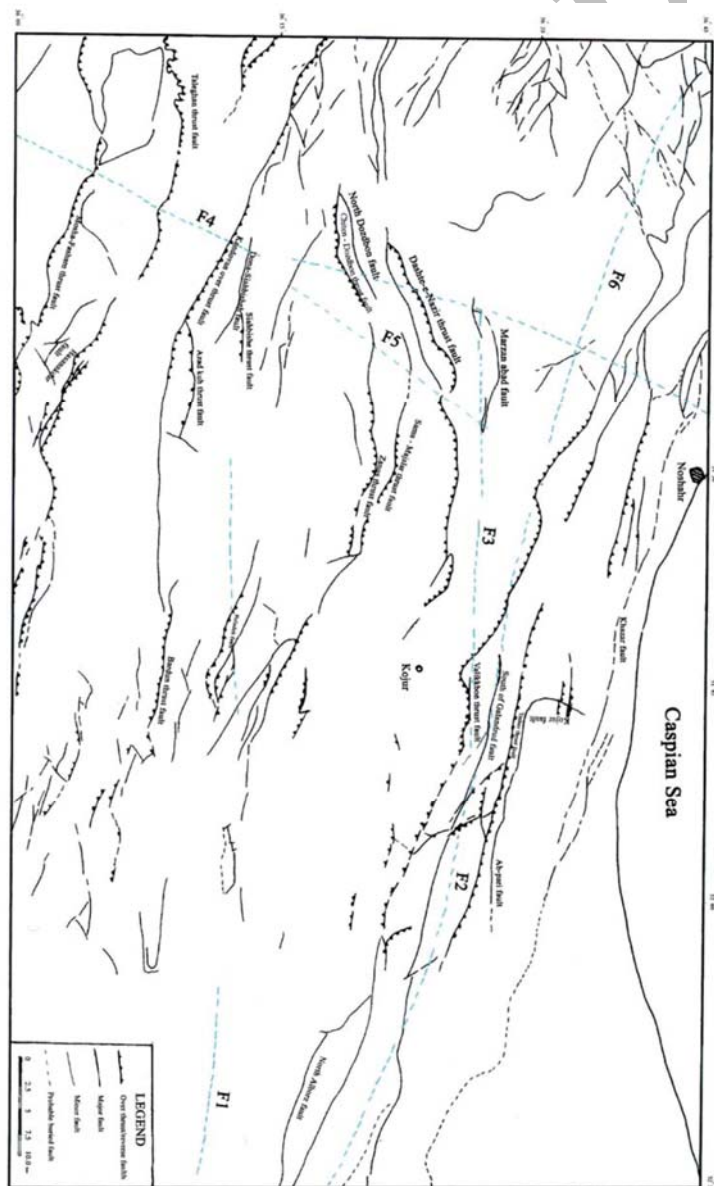
حداکثر شتاب افقی $cm/s^2$	توان لرزه ای گسل					طول گسل $km$	نام گسل
	میانگین	آمرسیز و ملویل ۱۹۸۲	کوپراسمیت ۱۹۹۴	سلمونز ۱۹۸۲	نوروزی و اشجعی ۱۹۷۸		
511	7.8	7.9	7.9	8.2	7.8	600	خزر (البرز)
373	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	12	F2
373	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	12	F3
399	6.7	6.6	6.7	6.5	6.8	25	F4
397	6.7	6.6	6.7	6.5	6.8	24	F5
387	6.5	6.4	6.6	6.4	6.7	18	F6
381	6.4	6.3	6.5	6.3	6.6	15	F7
373	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	12	F8
366	6.2	6.1	6.3	6.1	6.4	10	F9
373	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	12	F10
385	6.5	6.4	6.5	6.3	6.6	17	F11
378	6.4	6.3	6.4	6.3	6.5	14	F12
387	6.5	6.4	6.6	6.4	6.7	18	F13
392	6.6	6.5	6.6	6.5	6.7	21	F14



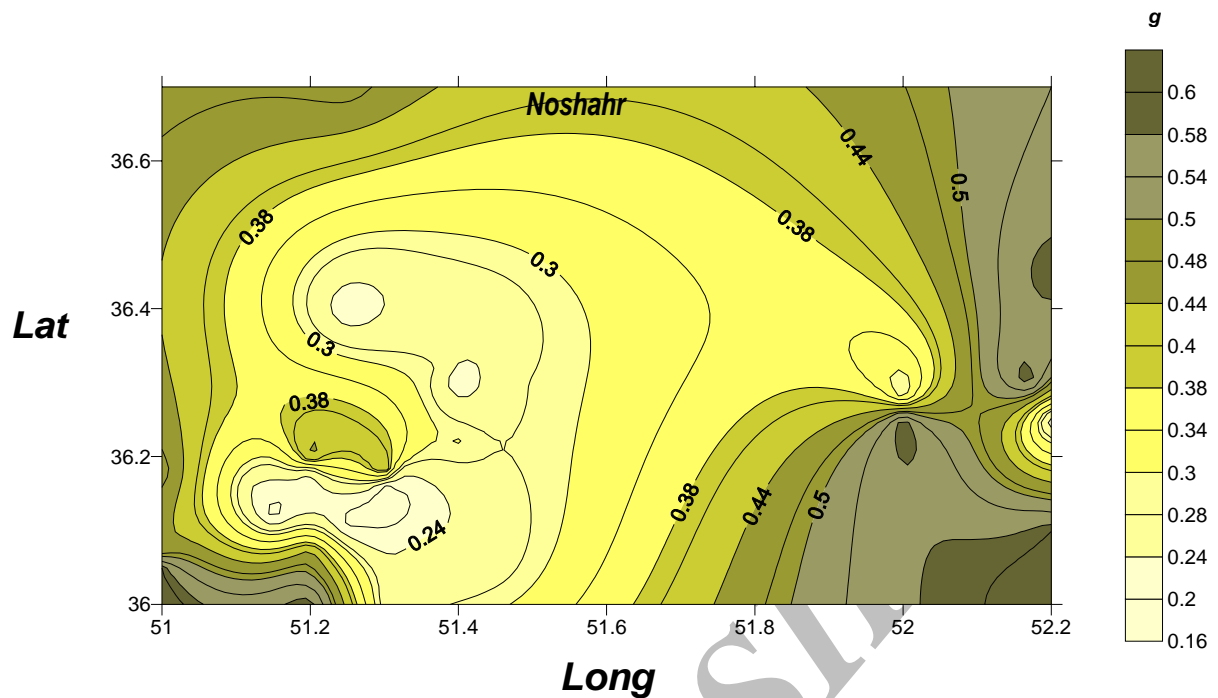
373	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	12	F15
378	6.4	6.3	6.4	6.3	6.5	14	F16
366	6.2	6.1	6.3	6.1	6.4	10	F17
366	6.2	6.1	6.3	6.1	6.4	10	F18
403	6.7	6.7	6.8	6.6	6.8	28	F19
399	6.7	6.6	6.7	6.5	6.8	25	F20
370	6.3	6.1	6.3	6.1	6.4	11	F21
370	6.3	6.1	6.3	6.1	6.4	11	F22
415	6.9	6.9	7.0	6.8	7.0	40	آزارک - کک نشین
373	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	12	F23
430	7.1	7.2	7.2	7.0	7.2	61	سماء - مجلار
407	6.8	6.8	6.8	6.7	6.9	32	نسن
389	6.5	6.5	6.6	6.4	6.7	19	شمال - دزدین
404	6.7	6.7	6.8	6.6	6.9	29	چیتن - دزدین
387	6.5	6.4	6.6	6.4	6.7	18	ولی آباد
448	7.4	7.5	7.4	7.3	7.4	102	کندوان
486	7.9	8.2	7.9	7.8	7.9	300	شمال البرز
387	6.5	6.4	6.6	6.4	6.7	18	F23
378	6.4	6.3	6.4	6.3	6.5	14	F24
375	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	13	F25
378	6.4	6.3	6.4	6.3	6.5	14	F26
407	6.8	6.8	6.8	6.7	6.9	32	نسن
375	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	13	F27
397	6.7	6.6	6.7	6.5	6.8	24	رازان کوه
370	6.3	6.1	6.3	6.1	6.4	11	سله سرکوه
370	6.3	6.1	6.3	6.1	6.4	11	F28
409	6.8	6.8	6.9	6.7	6.9	34	خاچک
385	6.5	6.4	6.5	6.3	6.6	17	انگاس
375	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	13	زانوس
375	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	13	F29
417	6.9	6.9	7.0	6.8	7.0	42	ناشر
366	6.2	6.1	6.3	6.1	6.4	10	F30
400	6.7	6.7	6.7	6.6	6.8	26	F31
389	6.5	6.5	6.6	6.4	6.7	19	F32
409	6.8	6.8	6.9	6.7	6.9	34	F33
399	6.7	6.6	6.7	6.5	6.8	25	F34
385	6.5	6.4	6.5	6.3	6.6	17	F35
381	6.4	6.3	6.5	6.3	6.6	15	F36
412	6.9	6.9	6.9	6.7	7.0	37	F37
383	6.4	6.3	6.5	6.3	6.6	16	F38
389	6.5	6.5	6.6	6.4	6.7	19	F39
366	6.2	6.1	6.3	6.1	6.4	10	F40
370	6.3	6.1	6.3	6.1	6.4	11	F41
381	6.4	6.3	6.5	6.3	6.6	15	F42
366	6.2	6.1	6.3	6.1	6.4	10	F43
375	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	13	F44
381	6.4	6.3	6.5	6.3	6.6	15	F45

366	6.2	6.1	6.3	6.1	6.4	10	<b>F46</b>
375	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	13	<b>F47</b>
378	6.4	6.3	6.4	6.3	6.5	14	<b>F48</b>
444	7.3	7.4	7.3	7.2	7.4	90	شمال تهران
366	6.2	6.1	6.3	6.1	6.4	10	<b>F49</b>
392	6.6	6.5	6.6	6.5	6.7	21	<b>F50</b>
375	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	13	<b>F51</b>
432	7.2	7.2	7.2	7.0	7.2	64	طاققان
472	7.7	7.9	7.7	7.6	7.7	200	مشا فشم
401	6.7	6.7	6.8	6.6	6.8	27	امام زاده داوود
373	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	12	<b>F52</b>
406	6.8	6.8	6.8	6.7	6.9	31	آزاد کوه
387	6.5	6.4	6.6	6.4	6.7	18	سیاه چال
381	6.4	6.3	6.5	6.3	6.6	15	آهار
387	6.5	6.4	6.6	6.4	6.7	18	<b>F53</b>
378	6.4	6.3	6.4	6.3	6.5	14	<b>F54</b>
412	6.9	6.9	6.9	6.7	7.0	37	بلده
411	6.9	6.9	6.9	6.7	7.0	36	بردون
381	6.4	6.3	6.5	6.3	6.6	15	<b>F55</b>
381	6.4	6.3	6.5	6.3	6.6	15	فراخین
375	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	13	رستم چال
391	6.6	6.5	6.6	6.4	6.7	20	ماش چالک
383	6.4	6.3	6.5	6.3	6.6	16	قبله کوه
373	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	12	<b>F56</b>
375	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	13	<b>F57</b>
370	6.3	6.1	6.3	6.1	6.4	11	<b>F58</b>
383	6.4	6.3	6.5	6.3	6.6	16	<b>F59</b>
366	6.2	6.1	6.3	6.1	6.4	10	<b>F60</b>
381	6.4	6.3	6.5	6.3	6.6	15	<b>F61</b>
375	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	13	<b>F62</b>
403	6.7	6.7	6.8	6.6	6.8	28	<b>F63</b>
370	6.3	6.1	6.3	6.1	6.4	11	<b>F64</b>
389	6.5	6.5	6.6	6.4	6.7	19	وارنگ رود
366	6.2	6.1	6.3	6.1	6.4	10	<b>F65</b>
378	6.4	6.3	6.4	6.3	6.5	14	<b>F66</b>
378	6.4	6.3	6.4	6.3	6.5	14	<b>F67</b>
366	6.2	6.1	6.3	6.1	6.4	10	<b>F68</b>
399	6.7	6.6	6.7	6.5	6.8	25	<b>F69</b>
385	6.5	6.4	6.5	6.3	6.6	17	<b>F70</b>
409	6.8	6.8	6.9	6.7	6.9	34	<b>F71</b>
383	6.4	6.3	6.5	6.3	6.6	16	<b>F72</b>
370	6.3	6.1	6.3	6.1	6.4	11	<b>F73</b>
381	6.4	6.3	6.5	6.3	6.6	15	<b>F74</b>
383	6.4	6.3	6.5	6.3	6.6	16	<b>F75</b>
378	6.4	6.3	6.4	6.3	6.5	14	<b>F76</b>
387	6.5	6.4	6.6	6.4	6.7	18	<b>F77</b>
373	6.3	6.2	6.4	6.2	6.5	12	<b>F78</b>

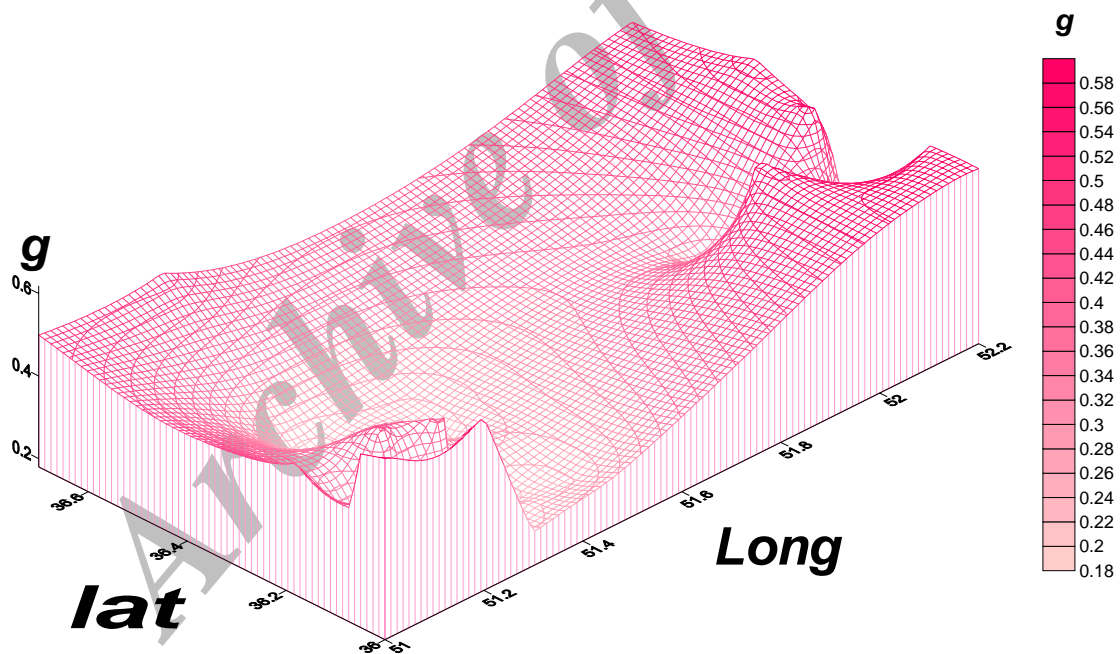
385	6.5	6.4	6.5	6.3	6.6	17	<b>F79</b>
385	6.5	6.4	6.5	6.3	6.6	17	<b>F80</b>
417	6.9	6.9	7.0	6.8	7.0	42	الله بند- لرزنه
366	6.2	6.1	6.3	6.1	6.4	10	<b>F81</b>
381	6.4	6.3	6.5	6.3	6.6	15	<b>F82</b>
383	6.4	6.3	6.5	6.3	6.6	16	<b>F83</b>
381	6.4	6.3	6.5	6.3	6.6	15	طبرستان کوه
407	6.8	6.8	6.8	6.7	6.9	32	ولیک بن
397	6.7	6.6	6.7	6.5	6.8	24	کجور
411	6.9	6.9	6.9	6.7	7.0	36	جنوب گلندرود
480	7.0	7.0	7.0	6.8	7.1	45	ناتر- دشت نظیز
477	6.9	6.9	7.0	6.8	7.0	41	کهریزک



شکل (۲): نمایی ساده شده از گسل های محدوده مورد مطالعه، با استناد به نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ آمل و نقشه خطواره های مغناطیسی آمل با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰



شکل (۳): نقشه پربندی شتاب در منطقه نوشهر بر اساس رابطه تضعیف



شکل (۴): نقشه سه بعدی پربندی شتاب منطقه نوشهر بر اساس رابطه تضعیف

منابع

- سعیدی، ع. قریب، ف.، ۱۳۸۳، نقشه زمین شناسی نوشهر، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.  
 - وحدتی دانشمند، ف.، ۱۳۷۰، نقشه زمین شناسی آمل، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- آقا نباتی، ع. ۱۳۸۶، زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.  
 - پورکرمانی، م. و آرین، م.، ۱۳۷۶، سائزموکتونیک لرزه زمین ساخت، مهندسیین دز آب.

Microzonation Proc. 3<sup>d</sup> Int. Earthquake Microz. Conf., VI.119-130.

- Vita-Finzi, C., 1990, Quaternary deposits in the Iranian Alborz, Geogr. J., 141, 415-420.

- Wells, D.L. and Coppersmith, K.J., 1994, New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture area and surface displacement, Bull. Seism. Soc. AM., 84, 974-1002.

- Ambraseys, N.N. and Melville, C.P, 1982, A Gistory of Persian Earthquake. Cambridge University Press.

- Cornell, C. A., 1968, Engineering seismic risk analysis, B.S.S.A, 58, 1503-1606.

- Mohajer-Ashjai, A., and Nowroozi, A.A., 1978, Obserud and probable Intensity Zoning of Iran. Tectonophysics, 49.

- Selmmmons, D.B., 1982, Determination of design earthquake magnitude for

Archive of SID