به نام خدا

دانشگاه صنعتی سهند

پروژه تحلیل خطر زلزله شهر تبریز

تهیه کننده: کیان آغنی - دکتری سازه

kian.aghani@gmail.com

kian.aghani@gmail.com

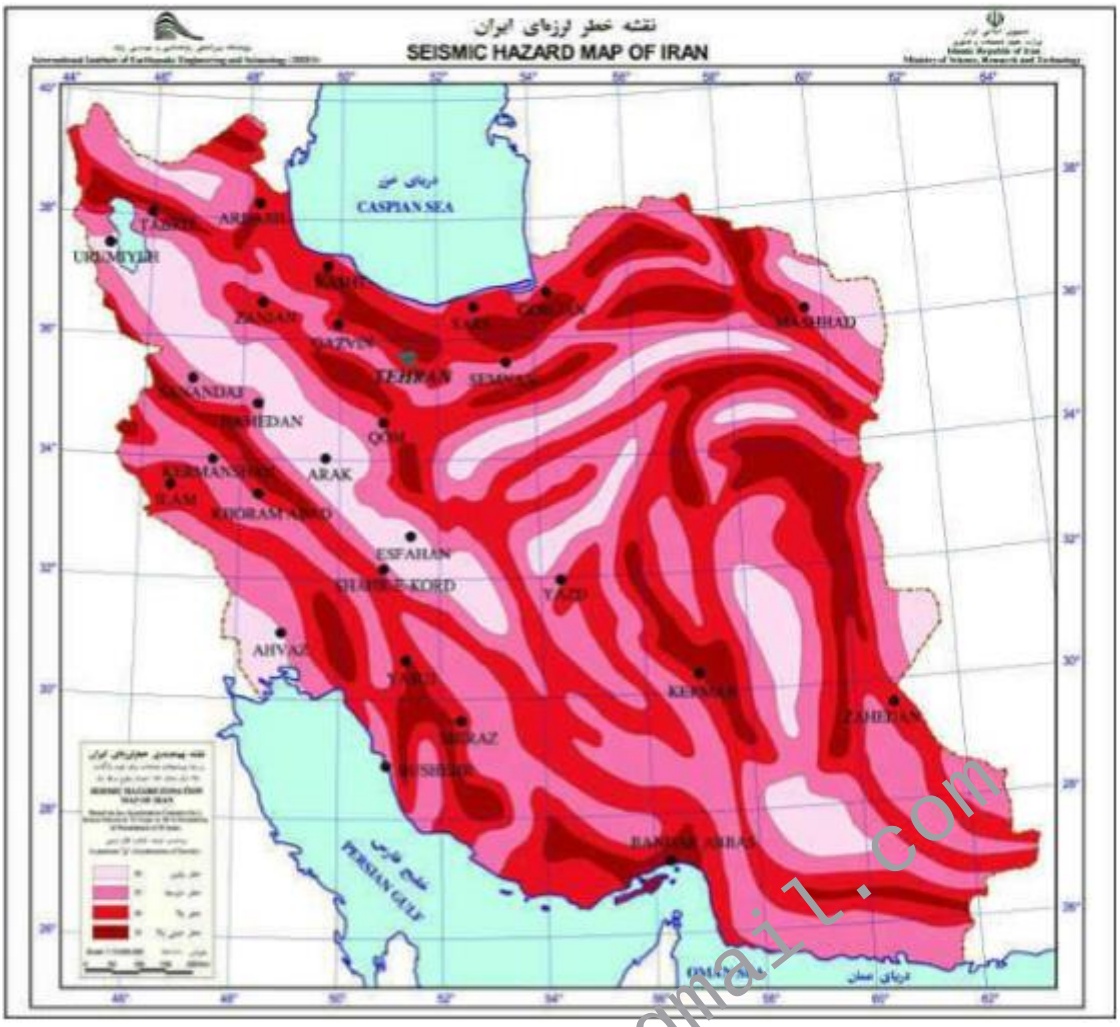
سال ۹۶

- **مقدمه:**

زمین‌لرزه یکی از پدیده‌های طبیعی کره زمین است که اثرات زیانبار و ویرانگری بر ساختار اجتماعی، اقتصادی و حتی سیاسی جامعه انسانی می‌گذارد. کشور ایران در نوار لرزه‌خیز آلپ-هیمالیا، که از جنوب اروپا تا شرق و جنوب شرق آسیا ادامه دارد، واقع گردیده و در ردیف کشورهای لرزه‌خیز جهان قرار دارد. همه ساله در این نوار لرزه‌خیز شاهد زلزله‌های مخربی هستیم که آسیب‌های جانی و مالی فراوان برجای می‌گذارد. زمین‌لرزه‌های بزرگ رویداده در کشورهای ترکیه و یونان در غرب و زمین‌لرزه‌های مخرب شبه قاره هند و آسیای مرکزی در شرق ایران همگی در طول این نوار لرزه‌خیز روی داده است. در کشور ایران نیز وقوع زمین‌لرزه‌های مخربی نظیر زمین‌لرزه‌های ۱۹۶۲بویین زهرا، ۱۹۶۸ دشت بیاض، ۱۹۷۸ طبس،۱۹۹۰ رودبار ، ۱۹۹۷ اردبیل، ۱۹۹۷اردکول-قائن، ۲۰۰۲ چنگوره، ۲۰۰۳ بم، ۲۰۰۴ فیروزآباد کجور و نهایتا ۲۰۰۵ زرند به همراه بسیاری از زمین‌لرزه‌های دیگر حاکی از لرزه‌خیزی بالای این پهنه است. همه مسائل فوقالذکر لزوم توجه به زمین‌لرزه و برآورد دقیق خطرات ناشی از آن را برای سازه‌های بشری نشان می‌دهد. به این امید که با شناخت دقیق خطر لرزه ای، طراحی متناسب با این خطر و اجرای مناسب سازه‌های طراحی شده، خطر پذیری لرزهای و خسارات ناشی از زمین‌لرزه به حداقل ممکن کاهش یابد. این مسئله خصوصا در ارتباط با سازه‌های خاص و عظیم، که دارای ارزش‌های ویژه فرهنگی، اجتماعی، اقتصادی و سیاسی است، اهمیت دو چندان دارد .

بر اساس فعالیت گسل ها و افت شدت نسبی زمین لرزه ها از محل رخداد،سطح کشور را به ۵ حوزه تقسیم کرده اند.حوزه (۰) با شدت نسبی ۳مرکالی یا کمتر، حوزه (۱) با شدت نسبی ۴ و ۵ مرکالی، حوزه(۲) با شدت های نسبی ۶ و ۷ مرکالی ، حوزه (۳) با شدت های نسبی ۸ و ۹ مرکالی و بالاتر و حوزه (۴) مناطقی است که اطلاعات کافی درباره آن‌ها موجود نیست. نقشه پهنه بندی خطر لرزه ای ایران،تهیه شده توسط پژوهشگاه زلزله جدیدترین پهنه بندی قابل استناد است.

kian.aghani@gmail.com



شکل۱- نقشه ی پهنه بندی خطر لرزه ای ایران

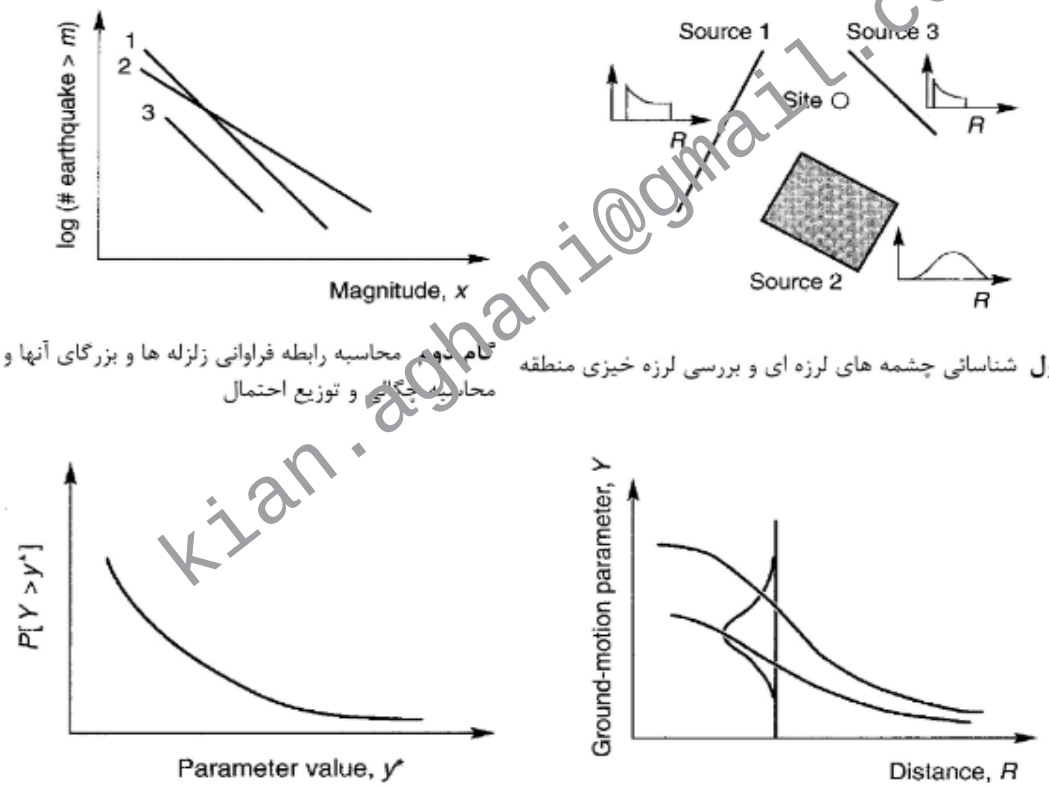
kian.aghani@gmail.com

- **تحلیل احتمالاتی زلزله**

زلزله ها از جمله مخاطرات طبیعی با ماهیت تصادفی می باشند. لذا اثرات زلزله های آینده را نمی توان دقیقاً مشخص کرد و تنها با روش های احتمالاتی می توان تا حدی این اثرات را پیش بینی نمود. تحلیل خطر زلزله شامل تحقیقات و روش هایی است که به وسیله آنها می توان اثرات زمین لرزه های آینده را در ساختگاه تخمین زد. این اثرات اصولاً شامل پارامترهای حرکتی زمین است. در گذشته به دلیل فقدان ابزارهای اندازه گیری جنبش زمین، از پارامتر شدت زلزله استفاده می شد. بعد از توسعه ابزارهای ثبت اطلاعات جنبش زمین، از حداکثر شتاب زمین (PGA) در مطالعات تحلیل خطر استفاده شد. حداکثر سرعت زمین (PGV) و حداکثر جابجایی زمین (PGD) و همینطور شتاب طیفی (SA) در پریودهای مختلف سازه های، مثال های از پارامترهای سنجش جنبش زمین در سالهای اخیر است. تحلیل خطر زلزله یک جزء ضروری طراحی لرزه ای سازه ها، تحلیل ریسک زلزله، تخمین تلفات و خسارات و محاسبات بیمه ای مربوط به آن محسوب می

شود. تحلیل خطر زلزله برای تهیه نقشه های لرزه ای که اطلاعات مهمی را برای طراحی سازه های معمولی ارائه می دهد، ضروری است. طراحی و تخمین امنیت سازه های مهم مانند سدها، نیروگاه های هسته ای و غیره وابسته به تحلیل خطر زلزله ساختگاه آنها می باشد .در واقع تحلیل خطر زلزله تخمین کمی خطرات لرزش زمین در یک محل بخصوص می باشد. در تحلیل خطر پذیری از پارامترهایی چون فاصله، بزرگا، روابط کاهندگی، شرایط خاک محلی و ... استفاده شده و پارامتر مشخصی از حرکت زمین در سایت مورد نظر پیش بینی می شود.

تحلیل خطر احتمالاتی PSHAزلزله به منظور طراحی سازه های مقاوم در برابر زلزله با در نظر گرفتن عدم قطعیت در اندازه و موقعیت و اثر شدت لرزش یک زلزله در آینده موضوع بسیار مهمی است. هدف روش تحلیل خطر احتمالاتی زلزله بررسی و لحاظ این عدم قطعیت ها است. به منظور ارزیابی خطرپذیری یک سازه در مقابل زلزله ابتدا باید احتمال یا نرخ تجاوز لرزش زمین در محل سایت از محدوده سطوح شتاب مورد نظر را بدست آورد. این تحلیل در نهایت به رسم منحنی خطر زلزله در محل ساختگاه منجر می شود که به کمک آن می توان طیف طرح ساختگاه که مبنای طراحی لرزه ای سازه های خاص در برابر زلزله است را بدست آورد. همانند تحلیل خطر تعینی، تحلیل خطر احتمالاتی نیز از چهار گام تشکیل شده است.



گام اول شناسائی چشمه های لرزه ای و بررسی لرزه خیزی منطقه

گام دوم محاسبه رابطه فراوانی زلزله ها و بزرگای آنها و محاسبه جغرافیای و توزیع احتمال

گام سوم انتخاب رابطه کاهندگی

گام چهارم محاسبه و بدست آوردن منحنی خطر لرزه ای سایت مورد نظر

شکل۲- گام های تحلیل خطر احتمالاتی

kian.aghani@gmail.com

۱- شناسایی چشمه های لرزه ای و بررسی لرزه خیزی منطقه:

برای بررسی لرزه خیزی در محدوده مطالعاتی انتخاب شده، تمام زلزله های به وقوع پیوسته از بانک داده های لرزه ای استخراج می شوند. مشحصات و ویژگی‌های زمین لرزه های تاریخی با استفاده از کاتالوگ زمین لرزه های تاریخی و یا با استفاده از علم دیرینه‌لرزه شناسی به دست می آیند. چشمه های لرزه ای و مکانیسم حرکتی و مشخصات هندسی آنها باید به گونه ای ساده شوند که بتوان آن ها را به عنوان چشمه نقطه ای، خطی، سطحی و یا حجمی در نظر گرفت.

۲- محاسبه رابطه فراوانی زلزله ها و بزرگای آنها و محاسبه چگالی و توزیع احتمال:

رابطه ی فراوانی- بزرگای زلزله ها بیان کننده ی نحوه توزیع تعداد زلزله ها در بزرگاهای مختلف است. برای بدست آوردن آن معمولا از دو مدل استفاده زیر استفاده می شود:

الف- مدل نمایی(Exponential model): این مدل به مدل گوتنبرگ-ریشتر هم معروف است. از دیدگاه توزیع بزرگای زلزله، مدل رایج نمایی و تعدادی از گونه های مختلف آن و مدل های غیر نمایی مورد استفاده است. مدل نمایی برای توزیع بزرگای زلزله، برای یک ناحیه نتایج مناسبی می دهد اما برای یک گسل خاص نرخ تکرار زلزله های بزرگ را کمتر از میزان واقعی تخمین می زند.

ب) مدل زلزله سرشتی(Characteristic Earthquake model): زلزله سرشتی بیان کننده زلزله با بزرگای مشخص و دوره تکرارهای بخصوصی است که در گسل منبع آن رخ می دهد.

۳- انتخاب رابطه کاهندگی:

با دور شدن از مرکز زلزله‌ها، به دلیل مکانیزم‌های مختلف میرایی جنبش نیرومند زمین با شدت کمتری احساس می‌شود. میزان این میرایی بسته به عوامل مختلف از جمله شرایط زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی و نوع حرکت بر روی سطح کانونی زلزله دارد. بنابراین میرایی جنبش زمین در نقاط مختلف دنیا و شرایط زمین‌شناسی و تکتونیکی مختلف متفاوت می‌باشد. جهت محاسبه حداکثر مقادیر پارامترهای جنبش شدید زمین (شتاب، سرعت، جابجایی) قوانین متعددی بر حسب بزرگا و فاصله کانونی وجود دارد که در تحلیل خطر زلزله از آن‌ها استفاده می‌گردد.

مطالعه زلزله‌های مختلف نشان داده است که منبع موج‌های زلزله مخصوصاً در زلزله‌های بزرگ معمولاً چندین کیلومتر زیر سطح زمین قرار دارد. مقدار انرژیی که به سطح زمین می‌رسد در منطقه نسبتاً وسیعی در طول گسل یکسان خواهد بود و کاهش بیشینه شتاب زمین در حین دور شدن از گسل در فاصله‌ای معادل با بعد قائم گسیختگی گسل به کندی صورت می‌گیرد و در فواصل دورتر کاهش بیشینه شتاب زمین سریعتر می‌گردد. در مورد زلزله‌های کوچک که طول گسیختگی گسل کوچک است منحنی‌های هم‌شتاب در سطح زمین تقریباً دایره‌ای شکل خواهد بود ولی در مورد زمین‌لرزه‌های بزرگ که طول گسیختگی گسل در آنها خیلی طویل‌تر می‌باشد منحنی‌های هم‌شتاب کشیده‌تر و به صورت بیضی‌وار درخواهند آمد.

kian.aghani@gmail.com

رابطه کاهندگی ارتباط بین یک پارامتر جنبش نیرومند زمین (PGA)، با بزرگا و فاصله را بیان می‌دارد و تابع چند پارامتر می‌باشد که مهمترین آنها به شرح زیر می‌باشند:

الف) خصوصیات چشمه – بزرگا – نوع گسلش و فاصله از چشمه لزره‌زا.

ب) مسیر عبور موج، انعکاس و جذب انرژی به خاطر خصوصیت موادی که از آنها عبور می‌کند.

ج) زمین‌شناسی ساختگاه، توپوگرافی ساختگاه.

شکل عمومی یک رابطه کاهندگی به صورت زیر می‌باشد:

$$\mathrm{Log}\ (Y) = a + F1\ (M) + F2\ (R) + F3\ (S) + \varepsilon$$

(Y) پارامتر مورد نظر جنبش نیرومند زمین است که مستقیماً با بزرگا (M) و به طور عکس با فاصله (R) ارتباط دارد. ضرایب ثابت این رابطه به طور تجربی با استفاده از روش‌های آماری و از روی شتابنگاشت‌ها انتخاب می‌شوند. ε خطای تصادفی با مقدار میانگین صفر و انحراف معیار σ می‌باشد. پارامترهای دیگری نیز نظیر شرایط ساختگاهی، نوع گسلش، ضخامت آبرفت و غیره قابل مدل کردن به صورت ریاضی می‌باشند که به صورت کلی به صورت F3 (S) در رابطه فوق نشان داده شده است.

پارامترهای ورودی در PSHA از قبیل ابعاد گسل، حداکثر بزرگا، رابطه کاهندگی و طول گسیختگی معمولاً از یک سری داده‌های محدود تعیین می‌شوند که حاوی عدم قطعیت‌های بسیاری هستند. درخت منطقی یک ابزار مناسب برای وارد کردن این عدم قطعیت‌ها در تحلیل خطر زلزله می‌باشد. استفاده از درخت منطقی این اجازه را می‌دهدکه عدم قطعیت‌های موجود در پارامترها با نسبت دادن میزان احتمال درست بودن مقادیر آن‌ها وارد تحلیل شوند. نتیجه نهایی این فرایند یک درخت منطقی است که در پایان هر شاخه (گره پایانی) به یک مقدار برای PSHA می توان رسید. هریک از این مقادیر دارای وزنی می‌باشند که در پایان به آن‌ها اعمال می‌شوند. دلیل استفاده از روش درخت منطقی در مورد روابط کاهندگی این است که این روابط هرکدام با داده‌ها و فرض‌های متفاوت بدست آمده‌اند و جواب‌های مختلفی برای یک ساختگاه دارند. از اینرو بهترین راه حل استفاده همزمان از این روابط کاهندگی با استفاده از روش درخت منطقی است، به نحوی که هریک به نوعی کمبود دیگری را پوشش دهد.

kian.aghani@gmail.com

۴- محاسبه و بدست آوردن منحنی خطر لرزه ای سایت مورد نظر:

تابع چگالی احتمال فاصله نقطه آغاز گسلش زمین تا محل ساختگاه $f_R\ (r)$ ، با تقسیم بندی هر چشمه لرزه زا به جزءهای کوچکتر و اندازه گیری فاصله هر جزء از محل ساختگاه و انجام محاسبات فراوانی نمونه‌ها بدست می آید. با داشتن تابع چگالی احتمال بزرگای هر چشمه $f_M(m)$ ، تابع چگالی احتمال فاصله نقطه آغاز گسلش زمین تا محل ساختگاه$f_M\ (m)$ و تابع توزیع احتمال رخداد سطوح مختلف شدت لرزه ای به شرط رخداد بزرگای mدر فاصله r از ساختگاه ، $P(IM>x/m,r)$ می توان احتمال فراگذشت پارامتر جنبش زمین از یک سطح مشخص را از رابطه زیر بدست آورد:

$$P(IM > x) = \sum_{i=1}^{n_{source}} \lambda(M_i > m_{min}) \int_{m_{min}}^{m_{max}} \int_{0}^{r_{max}} P(IM > x | m, r).f_{M_i}(m).f_{R_i}(r)drdm$$

در رابطه فوق،($P(M>m_{min})$ نرخ رخداد زلزله های بزرگتر از m_{min} برای چشمه i ام است. $P(IM>x)$ احتمال رخداد سالیانه $IM>x$ است که IM پارامتر جنبش زمین مورد نظر است (مانند شتاب حداکثر زمین یا شتاب طیفی در پریود مشخص و...). با محاسبه نرخ رخداد سالیانه سطوح مختلف پارامتر جنبش زمین با استفاده از فرآیند انتگرالگیری فوق و ترسیم نتیجه حاصل، منحنی موسوم به منحنی خطر حاصل می شود.

- **معرفی پروژه**

منطقه آذربایجان در شمال غرب ایران از لرزه خیزترین مناطق کشور به حساب می آید، بطوریکه شهر تبریز به عنوان بزرگترین شهر شمال غرب ایران و مرکز استان آذربایجان شرقی، بارها توسط زلزله های مهیب ویران شده است. رخداد ۱۲ زمین لرزه تاریخی شدید که باعث ویرانی شهر گردیده، نشان دهنده خطر بالای زمین لرزه در این منطقه است. زمین لرزه ۱۱۵۸ هجری شمسی تبریز با بزرگای $M_s=7.7$ و حدود۵۰۰۰۰ نفر کشته، زمین لرزه اردیبهشت ۱۱۰۰هجری شمسی با بزرگای $M_s=7.7$ و حدود۴۰۰۰۰ نفر کشته نمونه های بارزی از خطر بالا بودن زمین لرزه در منطقه تبریز می‌باشند. همسایگی این شهر با گسل شمال تبریز با طولی نزدیک به ۲۱۰کیلومتر با سابقه زمین لرزه‌های بزرگ بر لزوم انجام مطالعات دقیق تر خطر زمین لرزه تاکید می کند.

بنابراین در این پروژه تحلیل خطر لرزه ای با روش های احتمالاتی برای شهر تبریز تا محدوده شعاع ۲۰۰کیلومتر انجام شده است.

- **منابع و نرم افزارهای مورد استفاده در این پروژه**

منابع:

۱) تاریخ زمین لرزه های ایران /ابوالحسن رده

۲) زمین لرزه‌های تبریز/اثر یحیی ذکا

۳) تحلیل خطر زمین لرزه به روش احتمالاتی (PSHA) با استفاده از سه روش مختلف برای سایت فرضی در شهر تبریز(۲۰۱۰)/ امیرکیانی، جلال فلاح اصغری

۴) تحلیل احتمالاتی خطر زمین لرزه در گستره شهر تبریز(۱۳۸۹)/غلامرضا قدرتی امیری، محمدعلی رحیمی، حمیدرضا رازقی، سیدعلی رضویان

۵) راهنمای کاربردی انجام تحلیل خطر زلزله/ نشریه شماره ۶۲۶

kian.aghani@gmail.com

6) "*A history of Persian Earthquakes*", Melville, C.P, Cambridge Earth Science Series, 2005.

7) "*Comments for the Significant Earthquakes*", NGDC.

8) "*Seismic Source of the Transcaucasian Historical Earthquakes",* M. Berberian, 1997.

9) "*Paleoearthquakes and slip rates of the North Tabriz Fault, NW Iran: preliminary results",* K. Hessami, 2003.

نرم افزارها:

- برای به دست آوردن موقعیت جغرافیایی زلزله و نسبت دادن آن به منابع خطر از نرم افزار Google Earth استفاده شده است.

- برای به دست آوردن رکوردها از نرم افزار Seismosignal استفاده شده است.

- برای به دست آوردن روابط گوتنبرگ-ریشتر، رسم شکل ها و حذف پس لرزه ها از excel استفاده شده است.

- برای مدل کردن روش احتمالاتی تحلیل خطر از نرم افزار Crisis 2007 و Crisis 2017 استفاده شده است.

- برای انجام اصلاحات لازم بر روی رکوردها از برنامه Nera استفاده شده است.

kian.aghani@gmail.com

- **مهم ترین گسل های موجود در منطقه**

نقشه گسل‌های موجود درشعاع ۲۰۰کیلومتری شهر تبریز به صورت زیر می‌باشد.

شکل۳- نقشه گسل‌های شهر تبریز در شعاع ۲۰۰کیلومتری

kian.aghani@gmail.com

۱)گسل شمال تبریز

- طول : ۲۱۰ کیلومتر

- موقعیت: از حوالی زنجان شروع و پس از گذر از شمال تبریز به سمت باختر با عبور از کوههای مورو-میشو و خوی به طرف ماکو و از آنجا به کوه آرارات در ترکیه و قفقاز ادامه می‌یابد.

- نرخ لغزش کلی : ۳/۱ الی ۶/۴ میلیمتر در سال.

– میانگین زمان دوره ایجاد زمین‌لرزه: ۱۷۶ ± ۸۲۱ سال.

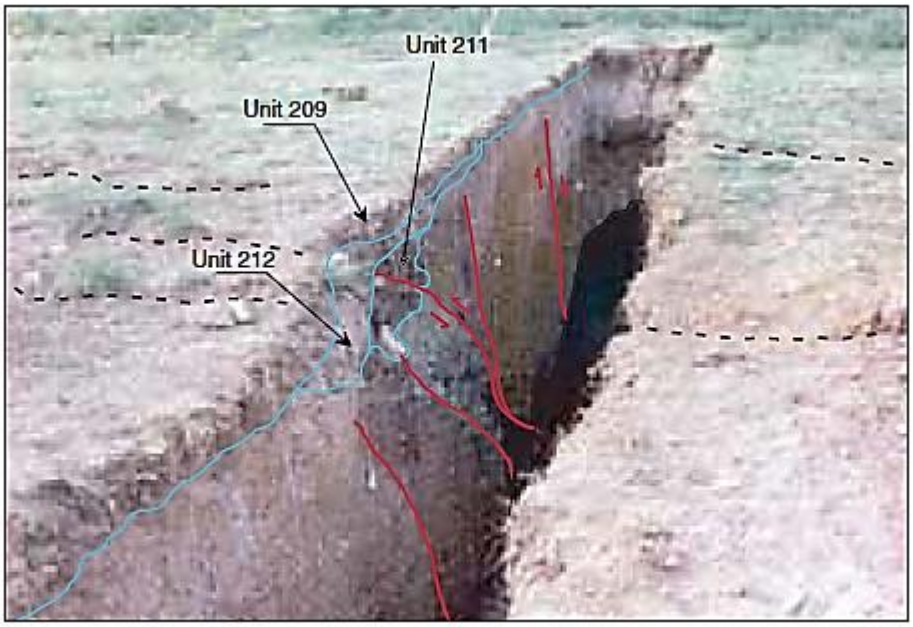
- آخرین زمین لرزه مهیب: سال ۱۸۷۹ میلادی به بزرگی ۶/۷ در امتداد گسل بزقوش.

- آخرین گسیختگی : قسمت جنوب شرقی در سال ۱۷۸۰ میلادی.

- سن گسل : افتخارنژاد (۱۹۷۵)، گسل شمال تبریز را یکی از گسل‌های قدیمی ایران می‌داند که در زمان دونین زیرین، این گسل منطقه آذربایجان را به دو بلوک تقسیم می‌کرد. بلوک شمال خاوری فرو افتاده و بلوک جنوب باختری، تا پایان کربنیفر فرابوم بوده است. بنابراین ممکن است، فعالیت این گسل از دوره دونین آغاز شده باشد، هر چندکه سن قدیمی‌تر آن محتمل‌تر است.

- فعالیت لرزه‌ای: آخرین حرکت گسل تبریز از نوع راست‌گرد بوده است. حرکات و جابجایی‌های این گسل در به وجود آمدن آتشفشان‌های سهند نقش داشته است. همچنین وجود چشمه‌های آبگرم بستان‌آباد در امتداد این گسل و فعالیت‌های لرزه‌خیزی نشانگر فعال بودن این گسل می‌باشد. اگر چه در شمال فرودگاه تبریز، سنگ‌های میوسن بر روی رسوبات آبرفتی کواترنری رانده شده‌اند ولی، بررسی زمین‌لرزه‌های تاریخی و ۱۰۰ سال گذشته تبریز، هیچ نشانی از فعالیت این گسل ندارد. گفتنی است که بربریان (۱۹۷۷)، حرکت دوباره گسل همراه با زمین لرزه‌های ویرانگر را محتمل می‌داند.

kian.aghani@gmail.com



شکل۴-رخ نمون گسل شمال تبریز

kian.aghani@gmail.com

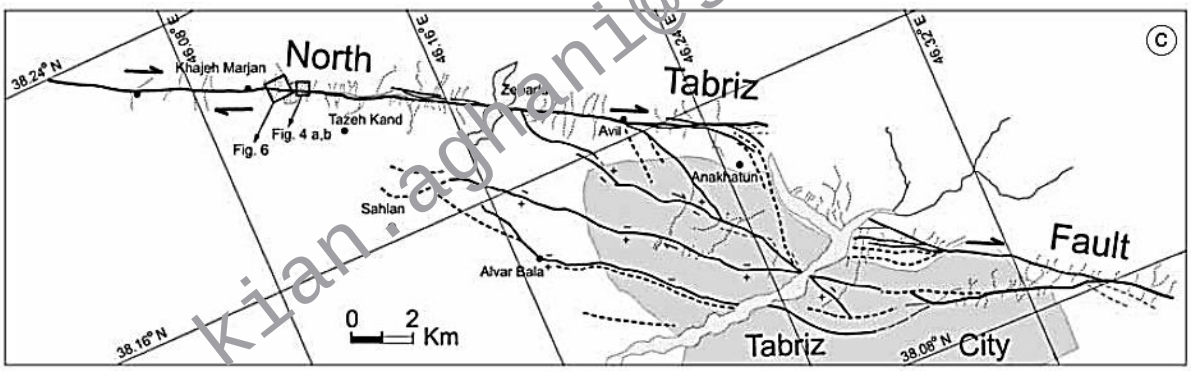


Fig. 2a-c. a) Small-scale regional map of active faults in NW Iran-Eastern Turkey (after Jackson and McKenzie, 1984). The rectangle encloses fig. 2b. b) Simplified map of the NTF and location of historical earthquakes, modified after Berberian (1997). Rectangle encloses fig. 2c. c) NW section of the North Tabriz Fault (after Karakhanian *et al*., 2001). Rectangles enclose figs. 4a,b and 6.

شکل۵-نقشه گسل تبریز

۲) گسل خوی-چالدران

-طول : ۱۵۰ کیلومتر.

- موقعیت : از حوالی خوی به طرف ماکو و از آنجا به کوه آرارات در ترکیه و قفقاز ادامه می‌یابد.

- آخرین زمین لرزه مهیب: سال ۱۹۷۶ میلادی به بزرگی ۷/۱ زلزله چالدران.

- آخرین گسیختگی : قسمت شمال غربی در سال ۱۹۷۶ میلادی به طول ۵۵ کیلومتر و بازشدگی ۳/۵ متر.

۳) گسل تکاب (تخت سلیمان)

-طول : ۷۰ کیلومتر.

- موقعیت : از حوالی سمت غربی زنجان به طرف جنوب شرقی تبریز ادامه می‌یابد.

- آخرین زمین لرزه مهیب: اگرچه هیچ داده‌ای دستگاهی از زمین لرزه منسوب به این گسل ثبت نشده است ولی رخداد ۳ زمین لرزه تاریخی در بازه ۱۳۰ سال گذشته در فاصله ۳۰-۴۰ کیلومتری خاور این گسل گزارش شده اند (Ambraseys and Melville, 1982)

- فعالیت لرزه‌ای: در دو سوی گسل یک جابجایی ظاهری ۱۵ کیلومتری راستالغز راستبر در میان واحدهای آتشفشانی قابل مشاهده است و افزون بر آن واحدهای سازند قرمز بالایی در کناره‌های گسل تکاب کج‌شدگی ملایمی را به نمایش می گذارند.

kian.aghani@gmail.com

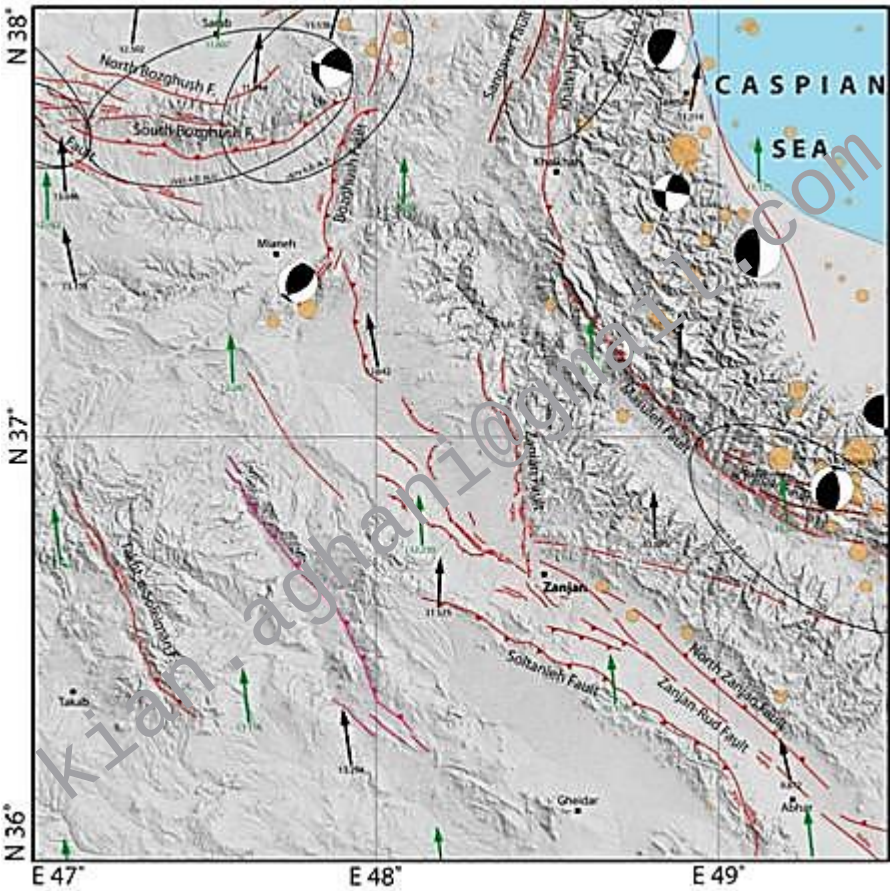
۴) گسل شمال برقوش (گسل هریس)

-طول : ۶۱ کیلومتر.

- موقعیت : دامنه شمالی کوه بزگوش.

- آخرین زمین لرزه مهیب: سال ۱۸۸۳ میلادی زلزله برقوش به بزرگی ۶/۲.

- فعالیت لرزه‌ای: پیش از این گسل یاد شده، یک گسل معکوس با شیب رو به جنوب دانسته شده است ولی بر پایه بررسی‌های انجام شده، گسل شمال بزگوش دارای سازوکاری راست بر و کششی است.



شکل۶-نقشه گسل برقوش

۵) گسل جنوب برقوش

-طول : ۷۰ کیلومتر.

- موقعیت : یال جنوبی کوه بزگوش.

- آخرین زمین لرزه مهیب: سال ۱۸۷۹ میلادی زلزله برقوش به بزرگی۶/۷.

- فعالیت لرزه‌ای: این گسل سازوکار معکوس داشته، شیب عمومی آن، رو به شمال و راستای آن به‌طور خمیده، کم و بیش خاور- شمال خاوری است. به باور Berberian and Yeats (1999) ، شواهد زمین لرزه‌های تاریخی، نشان‌دهنده آن است که هر دو گسل شمال و جنوب بزگوش در پیشینه‌ی لرزه‌خیزی خود، رویدادی بزرگ‌تر از Ms = 6.5 نداشته‌اند.

۶) گسل دشت معان (گسل ارس)

-طول : ۹۰ کیلومتر.

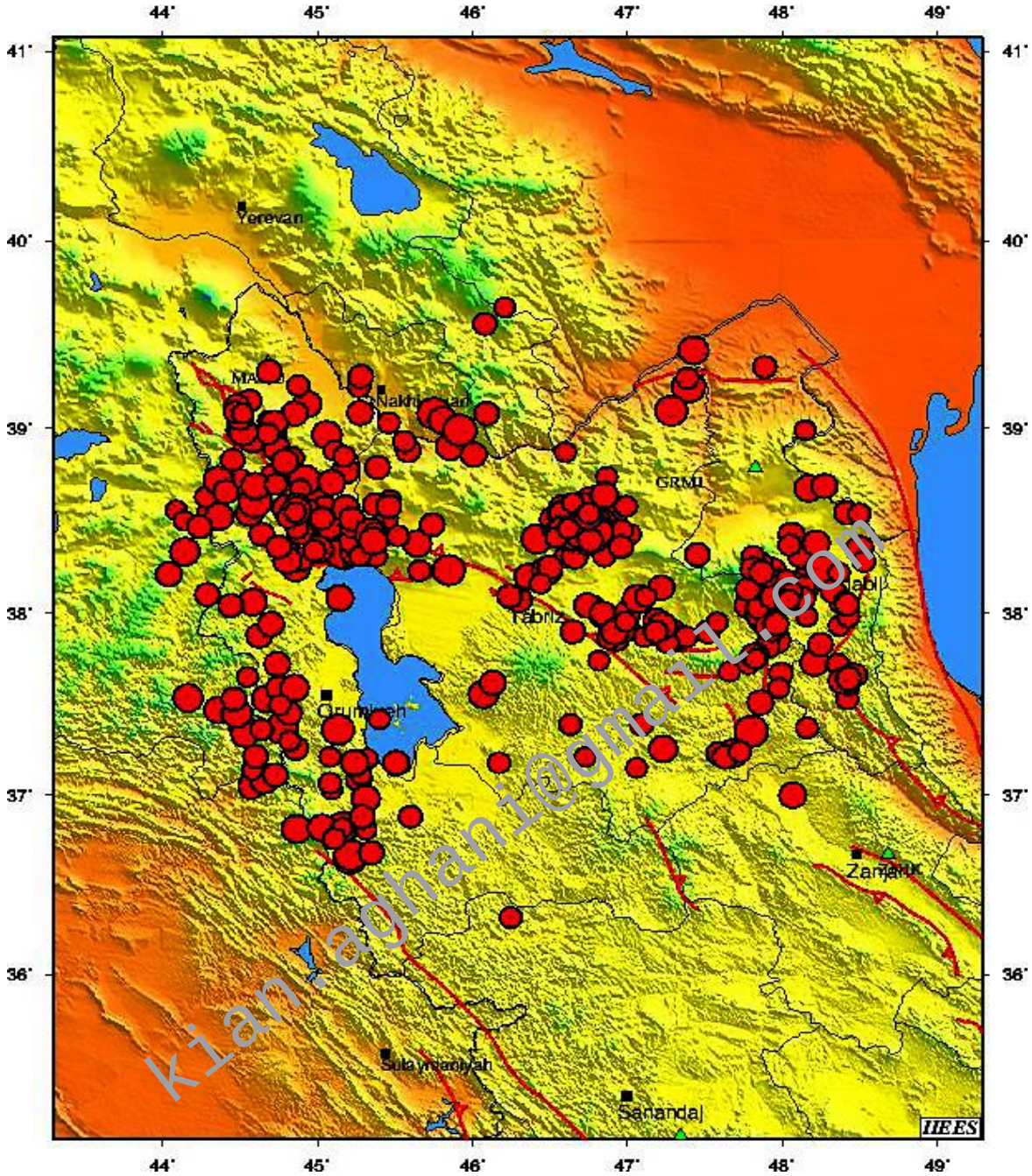
- موقعیت : شمال اردبیل و در سواحل رود ارس.

- آخرین زمین لرزه مهیب: سال ۱۸۶۲ میلادی زلزله به بزرگی۶/۱.

- فعالیت لرزه‌ای: سازوکار برشی چپ بر و مولفه راندگی بویژه در پایانه خاوری در محل پیوند با گسل تالش برای این گسل گزارش شده است (Solaymani Azad 2009) .

kian.aghani@gmail.com

- **نقشه زلزله های ثبت شده**



شکل۷- زلزله های ثبت شده

kian.aghani@gmail.com

- **حذف زلزله ها با روش window**

با استفاده از روش window زلزله های کوچکتر از یک m مشخص در یک شعاع و زمان مشخص حذف خواهند شد.

جدول(۱)

TABLE 1

WINDOW ALGORITHM FOR AFTERSHOCKS

M	L (km)	T (days)
2.5	19.5	6.
3.0	22.5	11.5
3.5	26.	22.
4.0	30.	42.
4.5	35.	83.
5.0	40.	155.
5.5	47.	290.
6.0	54.	510.
6.5	61.	790.
7.0	70.	915.
7.5	81.	960.
8.0	94.	985.

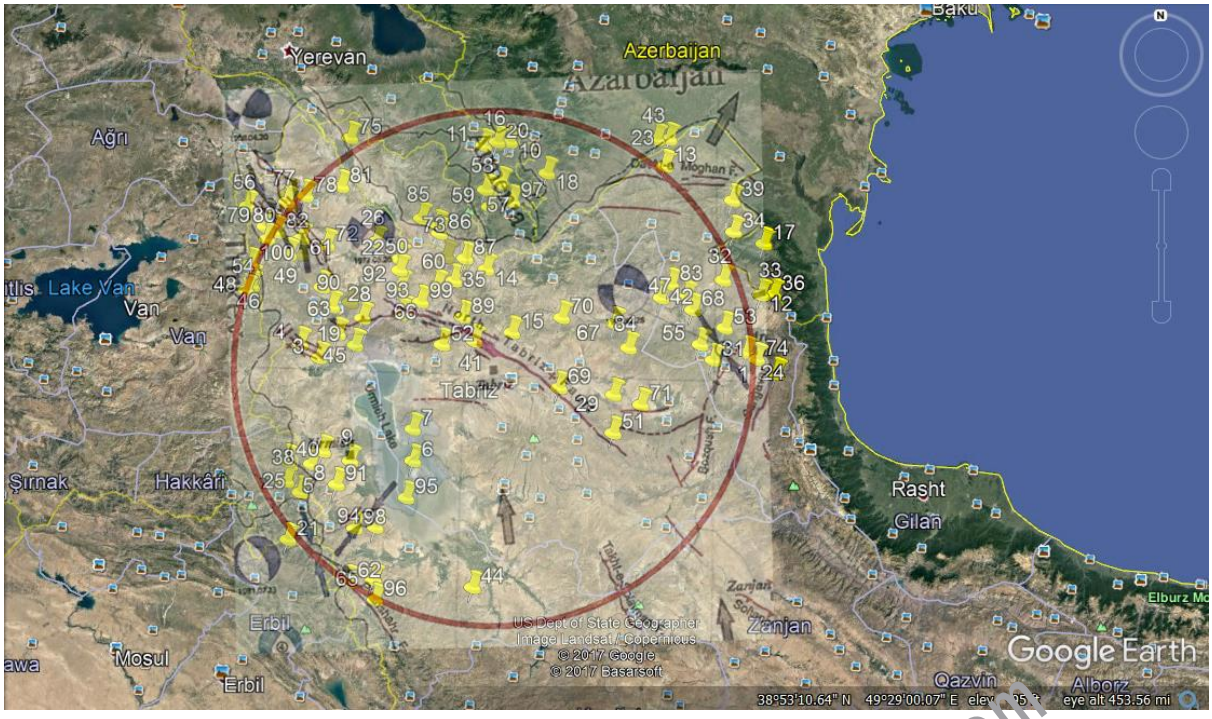
ما این کار را در excell انجام دادیم و پس‌لرزه ها را حذف کردیم. از کاتالوگ زلزله‌های مربوط به سال های ۱۹۱۸ تا ۲۰۱۸ تبریز، بعد از حذف پس‌لرزه‌ها (با روش Window) ۲۰۲ زلزله باقی ماند.

kian.aghani@gmail.com

- **زلزله های نسبت داده شده به گسل ها**

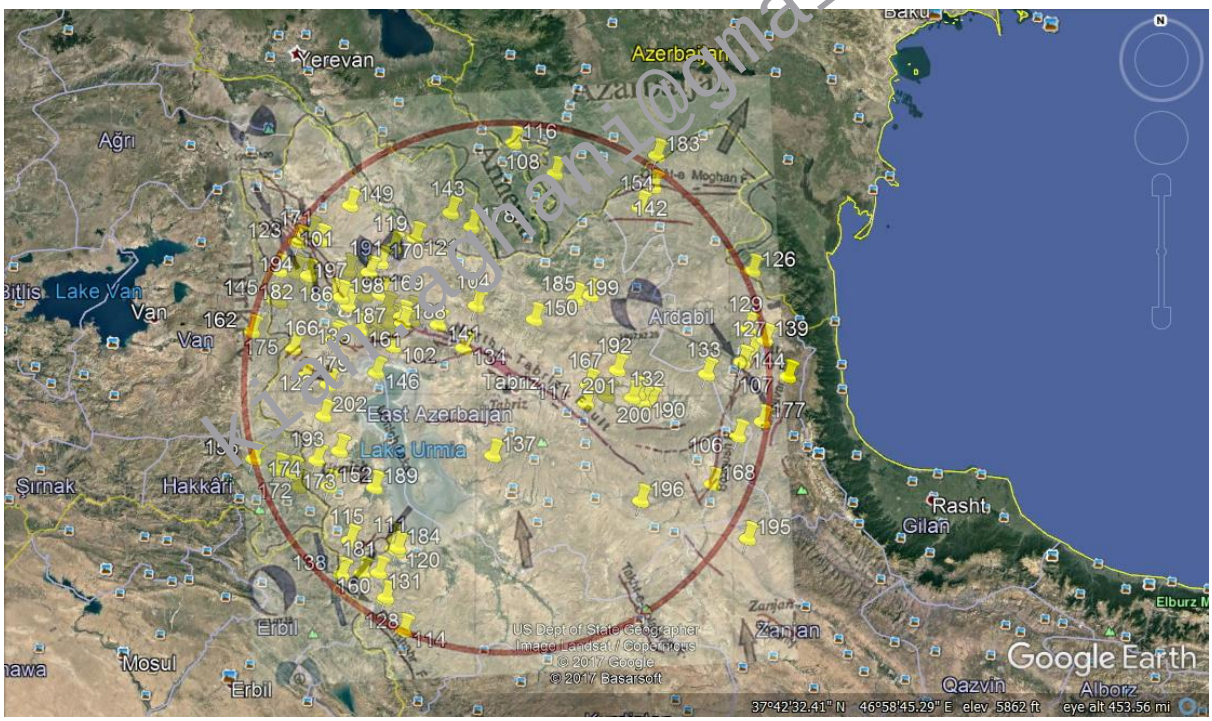
هریک از ۲۰۲ زلزله به یک منبع لرزه‌ای نسبت داده می‌شود، بدین صورت که هریک از زلزله‌ها که فاصله کمتری با گسل داشته باشند به همان گسل اختصاص داده می‌شوند. این کار در نرم افزار google earth انجام شده است. برخی از زلزله ها که به گسلی نسبت داده نشدند یا خارج از شعاع ۲۰۰کیلومتری هستند یا مربوط به کشور ارمنستان و استان های مجاور می باشند.

زلزله‌های ۱تا۱۰۰:



شکل۸- زلزله‌های۱تا۱۰۰

زلزله های ۱۰۱تا۲۰۲



شکل۹- زلزله‌های۱۰۱تا۲۰۲

kiyanfar1@gmail.com

جدول(۲)

number	date	time	latitude	longitude	M	foult
1	3/24/1928	53:29.0	38.14	48.17	5	-
2	11/5/1929	06:04.0	37.5	45.5	4.4	-
3	5/6/1930	03:22.0	38.15	44.75	5.5	-
4	5/6/1930	34:00.0	38.24	44.6	7.2	-
5	5/7/1930	29:37.0	37.48	44.69	4.5	پیرانشهر
6	5/7/1930	47:48.0	37.5	45.5	4.9	پیرانشهر
7	5/8/1930	23:30.0	37.7	45.5	5.1	پیرانشهر
8	5/8/1930	36:22.0	37.56	44.78	4.5	پیرانشهر
9	5/9/1930	00:00.0	37.5	45	4.4	پیرانشهر
10	2/6/1931	20:12.0	39.5	46.3	4.3	-
11	4/27/1931	50:00.0	39.48	46.09	6.4	-
12	3/2/1932	00:37.0	38.5	48.3	4	بزقوش
13	5/24/1932	29:45.0	39.33	47.56	4.7	خوی
14	6/16/1932	09:00.0	38.7	46.1	4.5	تبریز
15	8/10/1932	00:00.0	38.3	46.3	4.4	تبریز
16	12/1/1932	30:00.0	39.5	46.2	4	-
17	4/16/1933	54:45.0	38.82	48.34	4.8	-
18	7/6/1933	07:16.0	39.3	46.6	5.5	-
19	2/22/1934	07:15.0	38.23	45.04	6.1	تبریز
20	1/6/1935	24:58.0	39.5	46.2	4.8	-
21	5/2/1935	13:00.0	37	44.5	4.7	پیرانشهر
22	3/7/1937	10:56.0	38.77	45.4	4.6	تبریز(سطحی)
23	7/11/1940	23:33.0	39.5	47.6	5.1	-
24	11/9/1944	39:40.0	38	48.4	4.2	-
25	5/8/1949	00:00.0	37.3	44.6	4.9	پیرانشهر
26	5/1/1950	15:02.0	38.88	45.21	4.8	تبریز(سطحی)
27	4/18/1952	26:03.0	38.5	45	4	-
28	2/1/1953	36:36.0	38.4	45.1	4.6	تبریز
29	6/21/1953	25:09.0	37.9	47.1	4	تبریز
30	10/22/1954	47:34.0	38.78	45.78	4.8	-
31	1/11/1955	06:18.0	38.1	47.9	4	بزقوش
32	5/10/1955	32:28.0	38.6	48	4	-
33	4/13/1956	38:14.0	38.5	48.4	4	بزقوش
34	11/1/1956	57:59.0	38.9	48.1	4	-
35	5/29/1957	03:13.0	38.63	45.84	4.6	تبریز(سطحی)
36	7/6/1958	46:01.0	38.5	48.4	4	بزقوش
37	7/27/1958	14:40.0	38.8	44.6	4.3	-
38	10/26/1958	40:36.0	37.37	44.49	5.3	پیرانشهر

kian.aghani@gmail.com

39	8/17/1959	33:21.0	39.1	48.1	4.2	-
40	2/20/1960	49:36.0	37.5	44.5	4.6	پیرانشهر
41	3/20/1960	25:18.0	38.25	46	5.2	تبریز
42	11/25/1960	24:42.0	39.5	47.5	6	بزقوش
43	12/25/1960	24:42.0	39.5	47.5	5	-
44	2/12/1961	31:41.0	36.7	45.96	4.5	پیرانشهر
45	4/19/1961	20:06.0	38.3	44.9	4.3	-
46	4/19/1962	55:26.0	38.64	44.2	4.6	خوی
47	11/24/1962	14:26.0	38.5	47.7	4.5	بزقوش
48	4/13/1963	49:52.0	38.6	44.2	4	-
49	9/2/1963	46:43.0	38.8	44.5	4	خوی
50	12/21/1963	18:07.0	38.7	45.4	4.8	تبریز(سطحی)
51	2/10/1965	09:54.0	37.66	47.09	5	تبریز
52	2/13/1965	57:08.0	38.23	45.74	4	تبریز
53	9/30/1966	17:33.0	38.3	48	4	بزقوش
54	5/17/1967	28:49.0	38.573	44.157	4.7	خوی
55	7/11/1967	25:50.0	38.2	47.8	4.3	بزقوش
56	6/9/1968	56:30.0	39.104	46.064	5	-
57	6/9/1968	38:22.0	39.24	46.23	4.2	-
58	7/26/1968	22:40.0	39.2	46.1	4	-
59	9/1/1968	39:45.0	39.092	46.132	5	-
60	2/5/1969	23:54.0	38.6	45.7	4.4	تبریز(سطحی)
61	5/14/1969	44:35.0	38.9	44.6	4.5	خوی
62	11/28/1969	29:31.0	36.78	44.99	4.6	پیرانشهر
63	3/14/1970	51:45.0	38.594	44.772	5.2	تبریز
64	3/14/1970	00:54.0	39.1	44.5	4.3	تبریز
65	10/25/1970	22:18.0	36.75	45.18	5.5	پیرانشهر
66	10/29/1970	19:32.0	38.43	45.47	4.5	تبریز
67	2/11/1971	41:30.0	38.345	47.123	4.5	تبریز(سطحی)
68	8/10/1971	52:33.0	38.418	47.75	4.3	بزقوش
69	1/6/1973	39:35.0	37.95	46.669	4.3	تبریز
70	6/27/1973	24:48.0	38.39	46.7	4	تبریز(سطحی)
71	3/11/1975	32:01.0	37.833	47.315	4.1	بزقوش
72	5/9/1975	48:01.0	38.86	44.808	4.1	خوی
73	7/18/1975	45:02.0	38.975	45.707	4.1	تبریز(سطحی)
74	10/6/1975	07:23.0	38.096	48.25	4.3	-
75	11/24/1976	43:58.0	39.538	44.994	4.3	-
76	11/28/1976	26:43.0	39.18	44.48	4.2	-
77	12/6/1976	58:06.0	39.132	44.481	4.4	-
78	12/11/1976	03:05.0	39.169	44.632	4	خوی
79	12/25/1976	19:10.0	38.975	44.303	4.7	-

kian.aghani@gmail.com

80	5/26/1977	35:13.0	38.896	44.324	5.7	-
81	5/30/1977	43:00.0	39.23	44.922	4.9	خوی
82	5/30/1977	06:57.0	38.94	44.404	4.6	خوی
83	9/16/1978	21:34.0	38.582	47.581	4.1	بزقوش
84	11/21/1979	36:05.0	38.191	47.229	4.6	بزقوش
85	3/25/1980	57:30.0	39.026	45.577	4.4	تبریز
86	3/25/1980	25:25.0	38.931	45.725	4.5	تبریز
87	5/16/1980	05:38.0	38.77	45.931	4.3	تبریز(سطحی)
88	5/16/1980	50:14.0	38.859	45.88	4.5	تبریز(سطحی)
89	10/10/1980	09:53.0	38.402	45.908	4.8	تبریز
90	1/4/1981	19:45.0	38.472	44.852	4.6	تبریز
91	4/29/1981	48:49.0	37.352	44.89	4.4	پیرانشهر
92	5/24/1981	12:23.0	38.604	45.411	4.5	تبریز
93	5/24/1981	07:06.0	38.423	45.408	4.5	تبریز
94	7/23/1981	05:30.0	37.082	45.197	5.9	پیرانشهر
95	7/23/1981	07:17.0	37.268	45.443	4.6	پیرانهشر
96	10/9/1981	36:13.0	36.624	45.192	4.8	پیرانشهر
97	4/27/1982	16:27.0	39.124	46.315	4.2	-
98	6/10/1982	17:30.0	37.076	45.034	4.6	پیرانشهر
99	11/4/1982	04:49.0	38.5	45.57	4.2	تبریز
100	3/26/1983	51:46.0	38.738	44.192	4.6	خوی
101	8/3/1983	06:02.0	38.909	44.69	4.4	خوی
102	3/25/1984	44:58.0	38.245	45.28	4.6	تبریز
103	6/29/1984	55:16.0	38.383	45.17	4.6	-
104	8/24/1984	31:41.0	38.496	45.952	5.1	تبریز
105	10/28/1984	03:59.0	37.029	45.287	4.6	تبریز(سطحی)
106	2/20/1985	59:06.0	37.645	48.013	4.3	بزقوش
107	4/3/1985	14:28.0	38.007	48.428	4.7	بزقوش
108	4/9/1985	31:06.0	39.319	46.599	4.2	-
109	12/29/1985	55:26.0	38.724	44.476	4.3	-
110	3/30/1986	31:06.0	38.961	44.606	4.2	-
111	5/11/1986	29:14.0	36.973	45.276	4.7	پیرانشهر
112	7/10/1986	57:16.0	38.329	45.135	4.6	-
113	7/12/1986	00:52.0	38.395	45.174	4.8	-
114	7/29/1986	17:37.0	36.458	45.351	4.5	پیرانشهر
115	8/25/1986	21:56.0	37.024	44.934	4.6	پیرانشهر
116	8/28/1986	49:10.0	39.514	46.267	4.5	-
117	7/22/1987	05:07.0	37.877	46.815	4.2	-
118	1/7/1988	59:38.0	38.406	45.431	4.8	-
119	4/7/1988	18:12.0	38.864	45.285	4	تبریز(سطحی)
120	6/4/1988	09:00.0	36.959	45.303	5	پیرانشهر

kian.aghani@gmail.com

121	7/22/1988	49:33.0	38.921	45.462	4	تبریز(سطحی)
122	10/16/1988	35:24.0	38.006	44.762	4.5	-
123	12/22/1988	31:28.0	38.9	44.5	4.1	-
124	12/2/1989	51:59.0	38.453	45.425	4.5	بزقوش
125	12/3/1989	39:10.0	38.399	45.367	4.8	-
126	8/2/1990	12:48.0	38.677	48.173	4.1	بزقوش
127	9/24/1990	35:14.0	38.16	48.146	4.6	بزقوش
128	7/5/1991	52:19.0	36.653	45.207	4.8	پیرانشهر
129	12/8/1991	02:06.0	38.316	48.124	4	بزقوش
130	3/5/1992	30:16.0	38.361	45.018	4.4	-
131	3/13/1992	30:23.0	36.824	45.16	4.7	پیرانشهر
132	4/26/1992	15:51.0	37.869	47.328	4	تبریز
133	11/6/1992	28:46.0	38.04	47.78	4	بزقوش
134	3/15/1993	32:42.0	38.233	45.849	4.7	تبریز
135	3/30/1993	25:21.0	38.301	44.826	4.5	تبریز
136	4/8/1993	48:03.0	37.851	47.96	4.2	-
137	5/25/1993	38:25.0	37.557	46.071	4.3	تبریز
138	7/29/1993	39:35.0	36.812	44.866	4.3	پیرانشهر
139	11/2/1994	31:04.0	38.24	48.255	4.7	بزقوش
140	2/22/1995	29:42.0	38.578	44.863	4.2	-
141	5/18/1995	52:06.0	38.379	45.645	4.2	تبریز
142	4/22/1996	42:34.0	39.223	47.395	4.9	مغان
143	6/18/1996	11:05.0	39.08	45.752	4.8	تبریز
144	2/28/1997	57:20.0	38.108	48.066	6.1	بزقوش
145	10/10/1997	35:34.0	38.541	44.312	4	-
146	11/9/1998	36:44.0	38.081	45.145	4	تبریز
147	11/18/1998	37:21.0	38.41	45.278	4.7	-
148	2/19/1999	00:10.0	38.706	44.498	4.3	-
149	3/9/1999	42:04.0	39.131	44.933	4.1	خوی
150	8/19/1999	33:14.0	38.405	46.416	4.5	تبریز
151	2/26/2000	43:49.0	37.364	44.524	4.2	-
152	2/26/2000	18:37.0	37.366	44.769	4.6	پیرانشهر
153	2/1/2001	42:53.0	38.663	44.602	4	-
154	6/12/2001	46:49.0	39.095	47.283	4.6	مغان
155	12/2/2001	05:24.0	37.535	44.166	4.3	پیرانشهر
156	3/5/2002	54:26.0	38.331	45.244	4.3	-
157	3/6/2002	13:01.0	38.525	44.363	4.1	-
158	4/7/2002	50:29.0	38.398	45.24	4.5	-
159	6/20/2002	55:02.0	38.64	45.002	4.1	-
160	12/9/2002	50:57.0	36.667	45.214	4.7	پیرانشهر
161	2/20/2003	23:06.0	38.346	45.01	4.2	تبریز

kian.aghani@gmail.com

162	2/27/2003	36:43.0	38.336	44.145	4.3	-
163	6/5/2003	14:05.0	38.562	45.049	4.2	-
164	8/11/2003	12:06.0	38.72	44.916	4.7	-
165	10/20/2003	26:53.0	38.606	44.598	4.8	-
166	1/24/2004	40:42.0	38.287	44.804	4.2	خوی
167	6/7/2005	51:16.2	37.99	46.84	4	تبریز
168	9/26/2005	57:04.8	37.35	47.8	4.8	بزقوش
169	5/26/2006	59:31.5	38.57	45.18	4	تبریز(سطحی)
170	12/2/2006	39:40.5	38.77	45.18	4	تبریز(سطحی)
171	4/9/2007	26:49.4	38.98	44.52	4.2	خوی
172	9/21/2007	49:23.7	37.47	44.36	4.1	پیرانشهر
173	9/21/2007	21:18.7	37.45	44.48	4.3	پیرانشهر
174	11/9/2007	08:51.3	37.53	44.67	4.2	پیرانشهر
175	12/1/2007	45:09.7	38.23	46.48	4.4	خوی
176	2/16/2008	04:37.8	38.48	45.23	4	-
177	7/13/2008	30:08.2	37.73	48.21	4.1	بزقوش
178	9/2/2008	00:51.9	38.99	45.92	4.9	تبریز
179	10/3/2008	41:52.0	38.06	44.58	4.1	-
180	2/2/2010	16:29.2	37.92	46.98	4.3	-
181	8/8/2010	35:16.6	36.82	45.03	4.2	پیرانشهر
182	3/14/2011	57:13.4	38.72	44.36	4.3	خوی
183	3/25/2011	52:15.1	39.42	47.43	4.3	مغان
184	5/27/2011	31:08.5	36.98	45.31	4.1	پیرانشهر
185	8/11/2012	23:16.2	38.55	46.87	6.1	تبریز(سطحی)
186	12/23/2012	38:57.4	38.5	44.92	4.6	خوی
187	4/18/2013	39:37.8	38.43	45.35	4.8	تبریز
188	6/28/2013	13:08.4	38.39	45.36	4.2	تبریز
189	9/27/2013	02:46.0	37.36	45.13	4.6	پیرانشهر
190	11/5/2013	19:29.6	37.88	47.26	4.1	تبریز
191	12/15/2014	05:55.2	38.71	45.09	4	تبریز(سطحی)
192	1/24/2015	17:42.6	38.08	47.07	4.4	تبریز
193	9/1/2015	33:21.3	33:21.3	44.851	4.1	پیرانشهر
194	9/16/2015	12:18.8	38.689	44.599	4.1	خوی
195	3/6/2016	13:39.0	37	48.067	4	بزقوش
196	3/24/2016	51:35.6	37.257	47.232	4.1	تبریز
197	6/22/2016	47:05.5	38.569	44.802	4.1	تبریز
198	6/22/2016	56:59.0	38.554	44.862	4.3	تبریز
199	8/2/2016	15:51.3	38.525	46.748	4	تبریز(سطحی)
200	9/3/2016	44:07.0	37.93	47.226	4.2	تبریز
201	8/27/2017	14:50.8	37.905	47.184	5	تبریز
202	12/2/2017	57:59.9	37.809	44.726	4.3	-

kian.aghani@gmail.com

- **داده‌های منتخب**

گسل تکاب که غیرفعال بوده و زلزله‌ای در این صد سال از آن ناشی نشده، حذف شده است. همچنین از ۲۰۲ زلزله، تعداد ۳۴ زلزله مربوط به گسل پیرانشهر است که چون در محدوده شهر تبریز نیست، حذف شده‌اند. تعدادی از زلزله ها هم مربوط به کشور ارمنستان می باشد و همچنین برخی از زلزله ها خارج از محدوده ی ۲۰۰کیلومتری بودند.با کم کردن همه ی این ها از ۲۰۲ زلزله ۱۱۲ زلزله باقی ماند. بنابراین از این پس مبنای محاسبات ما بر اساس ۱۱۲ زلزله باقی مانده خواهد بود. شماره و تعداد زلزله‌های نسبت داده شده به گسل‌ها مطابق جدول (۳) می‌باشد.

همچنین ما برای افزایش دقت، قسمتی از زلزله های مربوط به گسل تبریز را به صورت منبع سطحی در نظر گرفتیم.

جدول(۳)

شماره گسل	گسل	تعداد زلزله‌های نسبت داده شده
۱	گسل تبریز	۳۸
۲	گسل تبریز(سطحی)	۲۱
۳	گسل خوی-چالدران	۱۹
۴	گسل بزقوش	۳۰
۵	گسل دشت مغان	۴
	جمع	۱۱۲

برای کمّی‌سازی لرزه‌خیزی یک منبع مشخص، روابط مختلفی با استفاده از نحوه توزیع زلزله‌ها و بزرگای آنها ارائه شده است که یکی از معتبرترین آنها رابطه گوتنبرگ-ریشتر کلاسیک است. در این رابطه N_M تعداد زلزله های بزرگتر از M و λ_M نرخ رخداد زلزله‌های بزرگتر از M در سال است. α و β ثابت های لرزه‌ای چشمه موردنظر می‌باشند. پارامترهای α و β از تحلیل آماری داده‌های لرزه‌ای محاسبه می‌شوند.

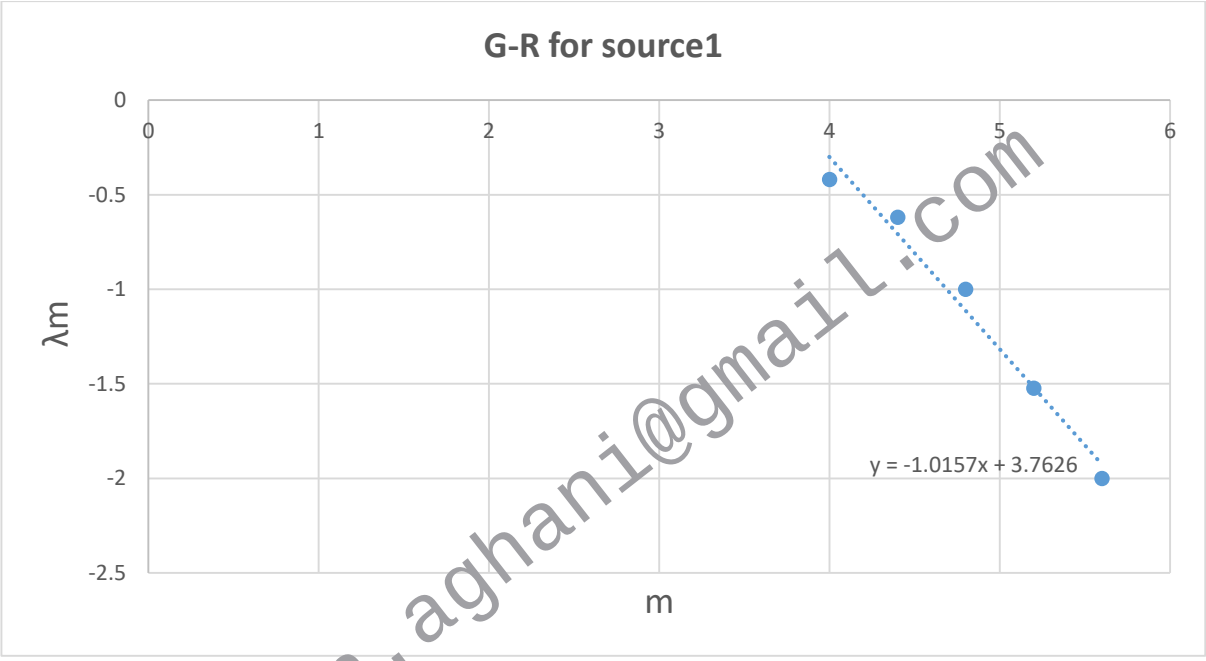
kian.aghani@gmail.com

- **رابطه ی گوتنبرگ- ریشترنسبت داده شده به گسل ها**

۱) رابطه گوتنبرگ –ریشتر برای منبع ۱(گسل تبریز)

جدول(۴)

بزرگی	تعداد زلزله ها	$log\lambda_m$
>4	38	-0.4202164
>4.4	24	-0.619788758
>4.8	10	-1
>5.2	3	-1.522878745
>5.6	1	-2



نمودار ۱

kian.aghani@gmail.com

a=3.7626 $\alpha = 2.303a = 2.303 \times 3.7626 = 8.6652$

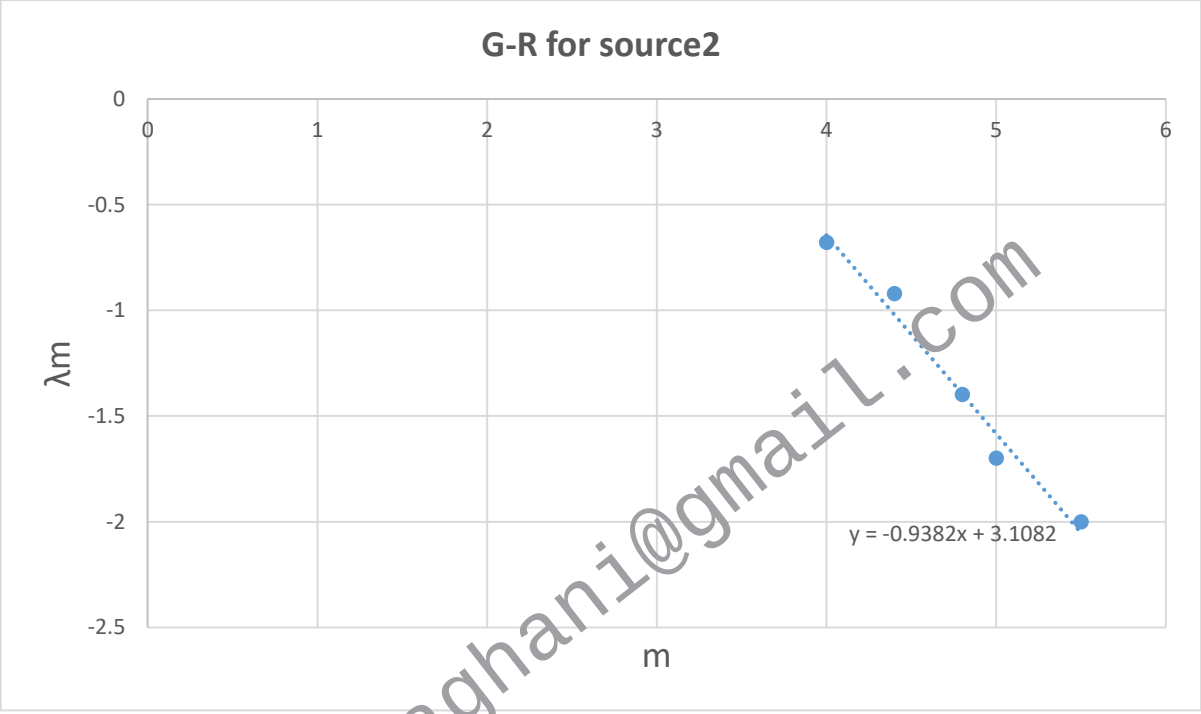
b=1.0157 $\beta = 2.303b = 2.303 \times 1.0157 = 2.3391$

$$v = \lambda_{m_0} = 10^{a-b(m_0)} = 10^{3.7626-(1.0157\times 4)} = 0.5$$

۲) رابطه گوتنبرگ –ریشتر برای منبع۲ (گسل ناحیه ای تبریز)

جدول(۵)

بزرگی	تعداد زلزله ها	$log\lambda_m$
>4	21	-0.67778
>4.4	12	-0.92082
>4.8	4	-1.39794
>5	2	-1.69897
>5.5	1	-2



نمودار۲

kian.aghani@gmail.com

a=3.1082 $\alpha = 2.303a = 2.303 \times 3.1082 = 7.1582$

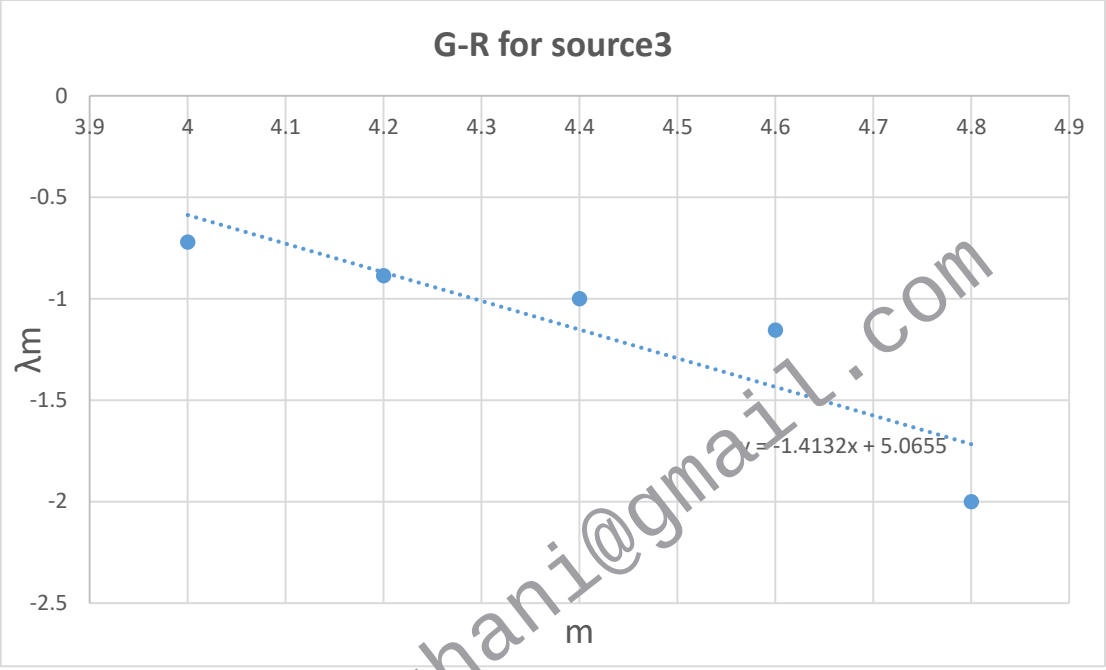
b=-0.9382 $\beta = 2.303b = 2.303 \times 0.9382 = 2.1606$

$$v = \lambda_{m_0} = 10^{a-b(m_0)} = 10^{3.1082-(0.9382\times4)} = 0.2266$$

۳) رابطه گوتنبرگ –ریشتر برای منبع۳ (گسل خوی-چالدران)

جدول(۶)

بزرگی	تعداد زلزله ها	$log\lambda_m$
>4	19	-0.721246399
>4.2	13	-0.886056648
>4.4	10	-1
>4.6	7	-1.15490196
>4.8	1	-2



نمودار۳

a=5.0655 $\alpha = 2.303a = 2.303 \times 5.0655 = 11.6658$

b=1.4132 $\beta = 2.303b = 2.303 \times 1.4132 = 3.2546$

$$v = \lambda_{m_0} = 10^{a-b(m_0)} = 10^{5.0655-(1.4132\times4)} = 0.2586$$

kian.aghani@gmail.com

۴) رابطه گوتنبرگ –ریشتر برای منبع۴ (گسل بزقوش)

جدول(۷)

بزرگی	تعداد زلزله ها	$log\lambda_m$
>4	30	-0.52288
>4.4	10	-1
>4.8	3	-1.52288
>5.2	2	-1.69897

نمودار۴

a=3.4726 $\alpha = 2.303a = 2.303 \times 3.4726 = 7.9973$

b=1.0128 $b = 2.303b = 2.303 \times 1.0128 = 2.3324$

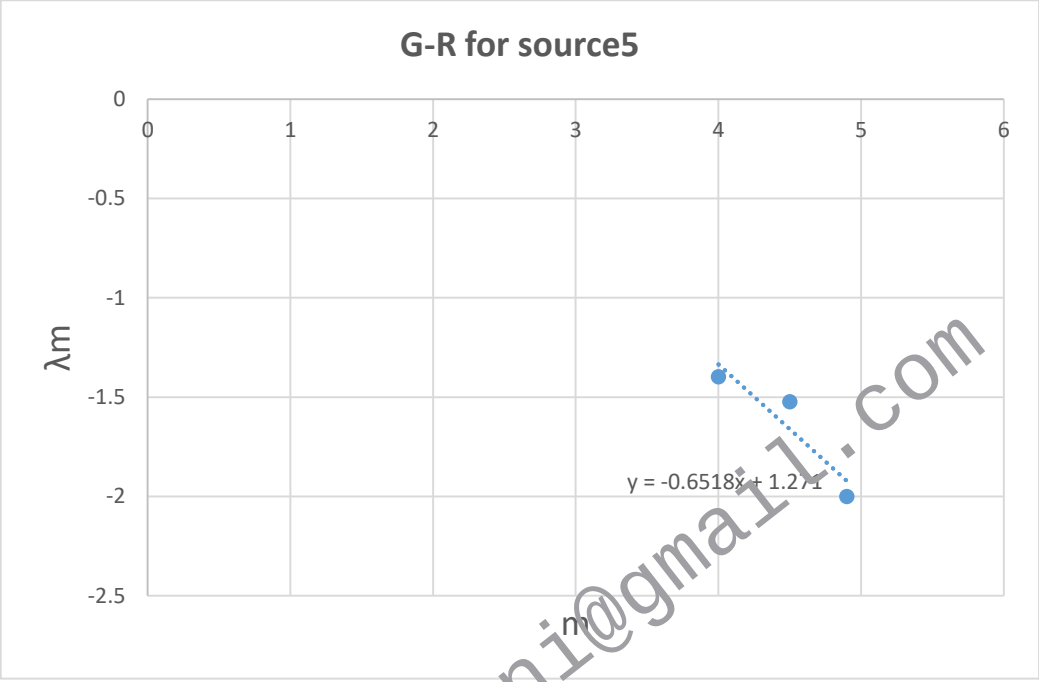
$$v = \lambda_{m_0} = 10^{a-b(m_0)} = 10^{3.4726-(1.0128\times4)} = 0.2638$$

kian.aghani@gmail.com

۵) رابطه گوتنبرگ –ریشتر برای منبع۵ (گسل مغان)

جدول(۸)

بزرگی	تعداد زلزله ها	$log\lambda_m$
>4	4	-1.397940009
>4.5	3	-1.522878745
>4.9	1	-2



نمودار۵

a=1.271 $\alpha = 2.303a = 2.303 \times 1.271 = 2.9271$

b=0.6518 $\beta = 2.303b = 2.303 \times 0.6518 = 1.5011$

$$\lambda_{m_0} = 10^{a-b(m_0)} = 10^{1.271-(0.6518\times4)} = 0.0461$$

جدول(۹)

شماره گسل	بزرگی	رابطه G-R
۱	>4	$log\lambda_m = 3.7626\text{-}1.0157m$
۲	>4	$log\lambda_m = 3.1082\text{-}0.9382m$
۳	>4	$log\lambda_m = 5.0655\text{-}1.4132m$
۴	>4	$log\lambda_m = 3.4726\text{-}1.0128m$
۵	>4	$log\lambda_m = 1.271\text{-}0.6518m$

kian.aghani@gmail.com

- **روابط کاهندگی**

یکی از عناصر کلیدی در برآورد احتمالی خطر در یک ساختگاه ، روابط کاهندگی انتخابی است . بر اساس یافته های تحقیقاتی، انتخاب روابط کاهندگی بیشترین عدم قطعیت نهایی در برآورد خطر در ساختگاه را رقم میزند . بنابراین برخورد مناسب با این عدم قطعیت که جنس آن از نوع عدم قطعیت ذاتی است، کاملا ضروری است.

پیشنهاد می شود روابط کاهندگی کاندیدا برای بکارگیری در تحلیل خطر از هر سه گروه زیر انتخاب :

۱- روابط بومی، که عمدتا داده‌های لرزه‌ای کشور مبنای توسعه آنها بوده است.
۲- روابط منطقه ای که بر پایه داده‌های منطقه‌ای ارائه شده‌اند.(مثلا روابط توسعه یافته برای منطقه خاورمیانه)
۳- روابط جهانی، که بر پایه داده‌های سراسر دنیا توسعه یافته‌اند. به عنوان مثال مشخص، روابط توسعه یافته در پروژه NGA مرکز تحقیقات PEER گزینه مناسبی است.

در مورد انتخاب رابطه کاهندگی از هریک از ۳گروه فوق باید نکات کلی زیر مدنظر قرار گیرد.

۱) روابط انتخابی با ساختار تکتونیکی، لرزه زمین ساختی و لرزه خیزی منطقه سازگار باشند.
۲) روابط مورد استفاده از اعتبار علمی برخوردار باشند.
۳) معیار سنجش بزرگای واحدی داشته باشند. (توصیه می شود از روابطی استفاده شود که از بزرگای گشتاوری بهره برده‌اند)

با توجه به روابط کاهندگی مناسب برای ایران طبق نشریه۶۲۶ ، سه رابطه ی زیر را انتخاب کردیم.

۱-رابطه Zare (۱۹۹۹):

$$log(\mathrm{A})_{m/s^2} = aM + bR - \log(R) + C_i$$

۲-رابطه Ghodrati (۲۰۰۷):

$$ln(\mathrm{Y})_{gals} = C_1 + C_2M + C_3\ln(R)$$

۳-رابطه Campbell (۲۰۱۴):

$$ln(\mathrm{Y})_g = f_{mag} + f_{dis}$$

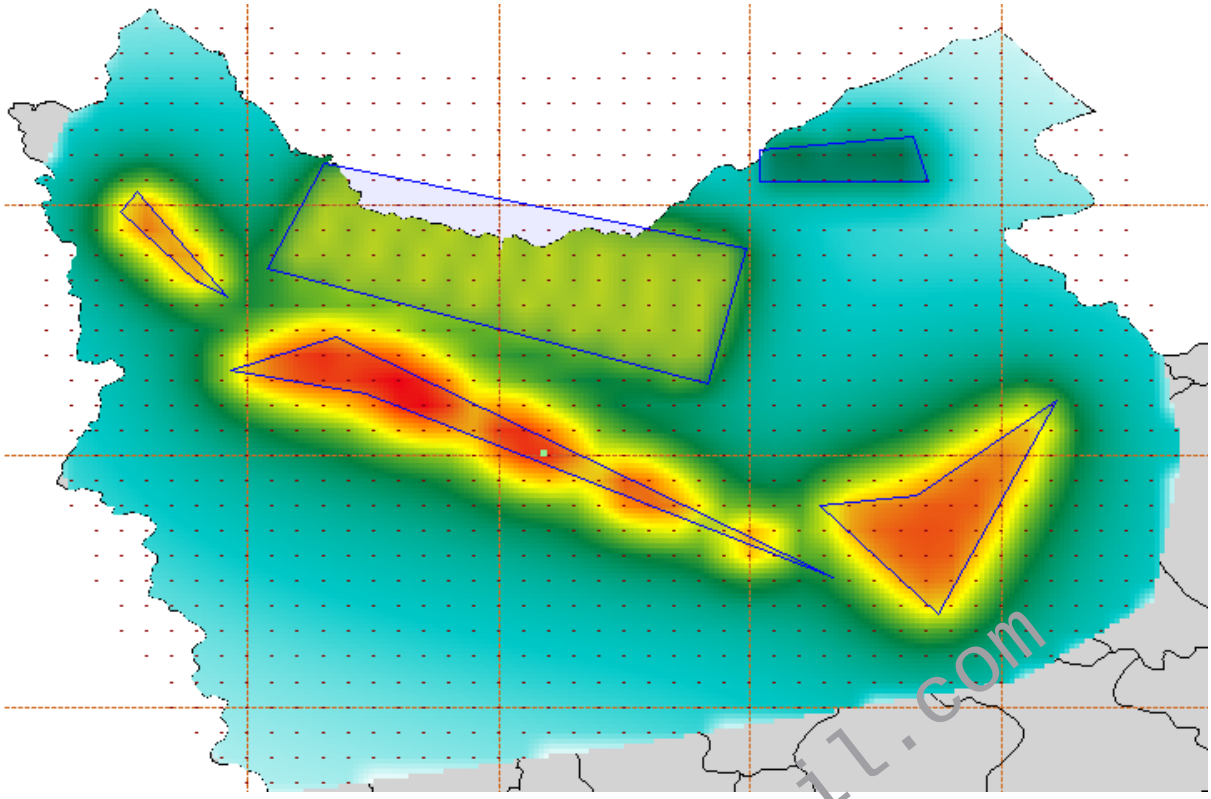
$$f_{mag} = C_0 + C_1M + C_2(M-5.5) + C_3(M-6.5)$$

$$f_{dis} = (C_4 + C_5M)\, ln(\sqrt{R^2 + C_6^2}$$

kian.aghani@gmail.com

- **نرم افزار CRISIS**

با وارد کردن اطلاعات به نرم افزار Crisis شکل زیر به دست آمد.



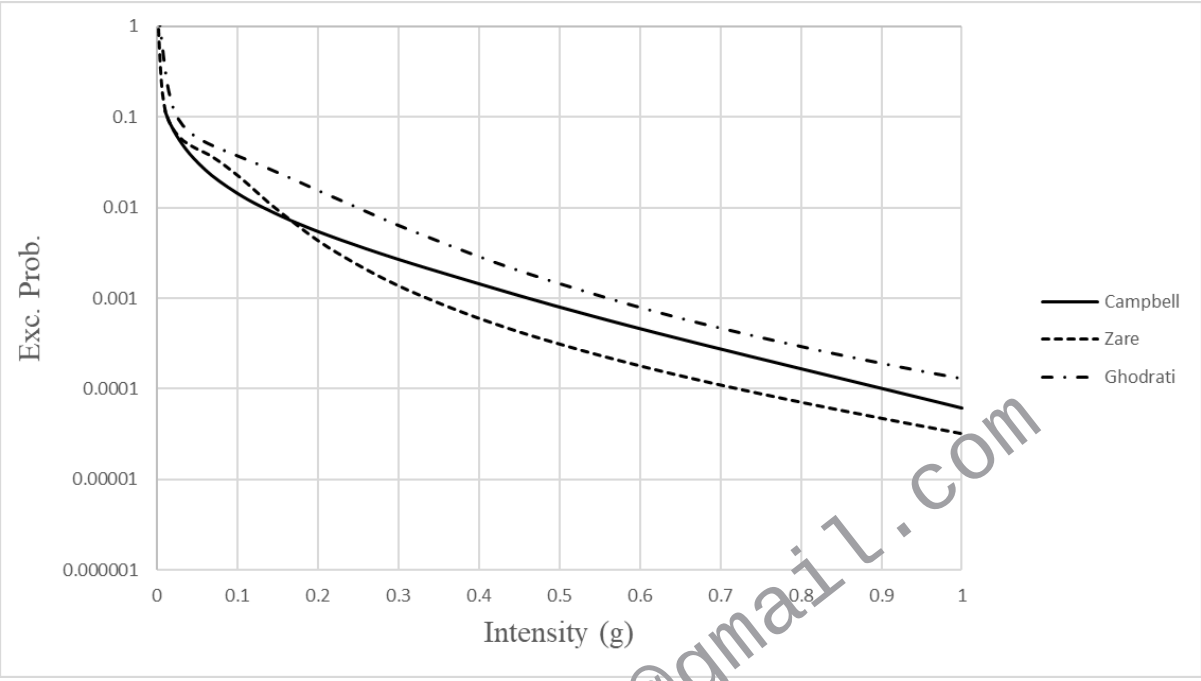
شکل ۱۰

kian.aghani@gmail.com

-رسم منحنی خطر برای یک نقطه ی شاخص در شهر با استفاده از هر یک از روابط کاهندگی فوق

مختصات نقطه ای که ما برای آن، منحنی خطر را با استفاده از سه رابطه کاهندگی فوق به دست آورده‌ایم به صورت زیر می باشد.

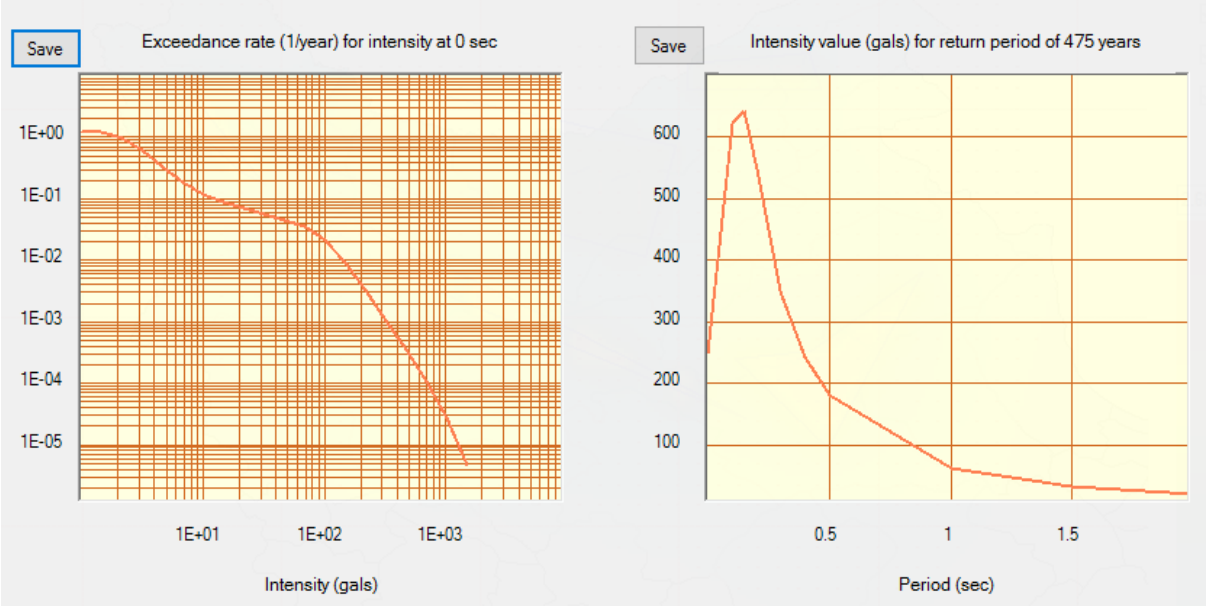
Tabriz, Tabriz, 46.18, 38.01



نمودار۶

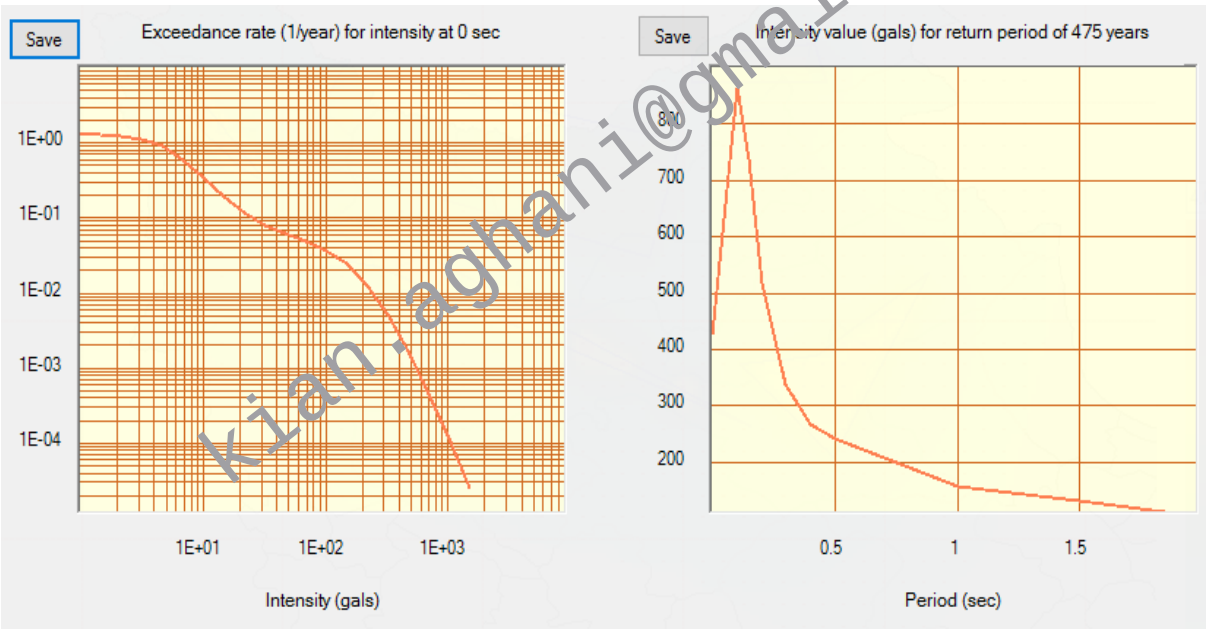
kian.aghani@gmail.com

رابطه Zare (۱۹۹۹):



نمودار۷

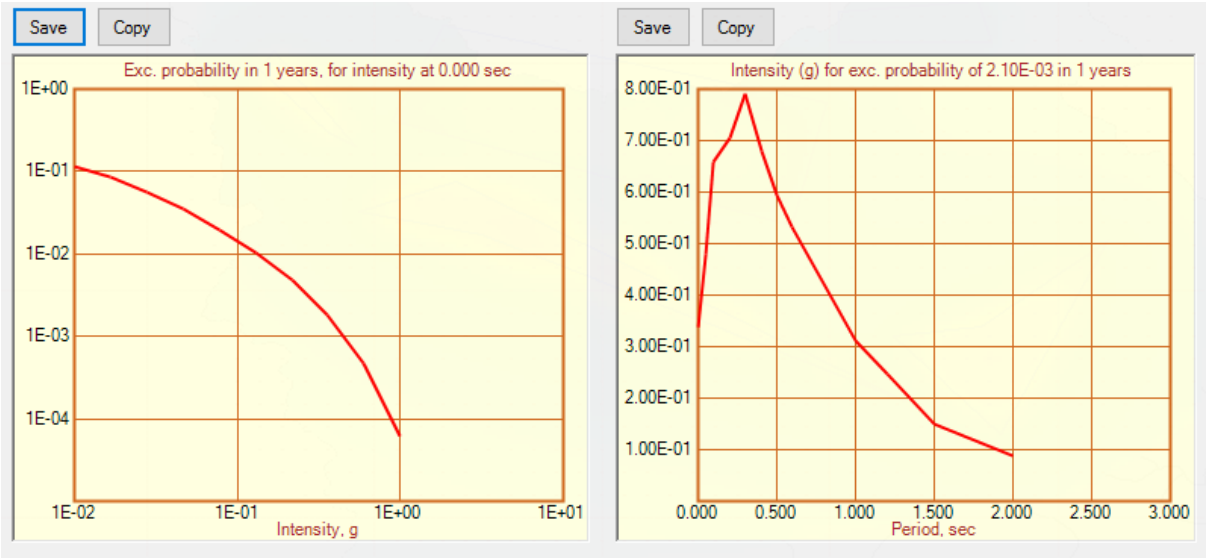
رابطه Ghodrati (۲۰۰۷):



نمودار۸

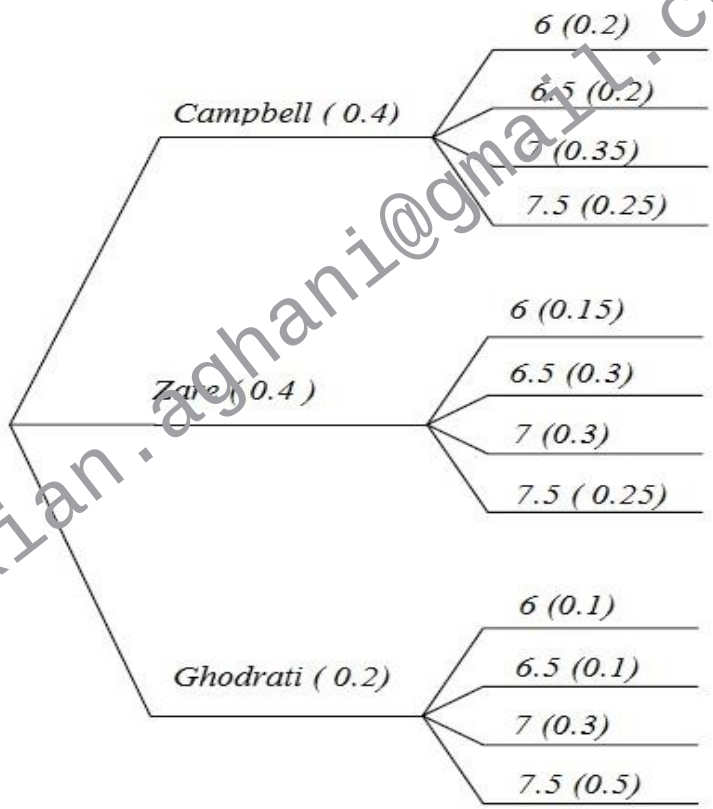
kian.aghani@gmail.com

رابطه Campbell (۲۰۱۴):



نمودار۹

- **درخت منطق**



kian.aghani@gmail.com

شکل۱۱- درخت منطق

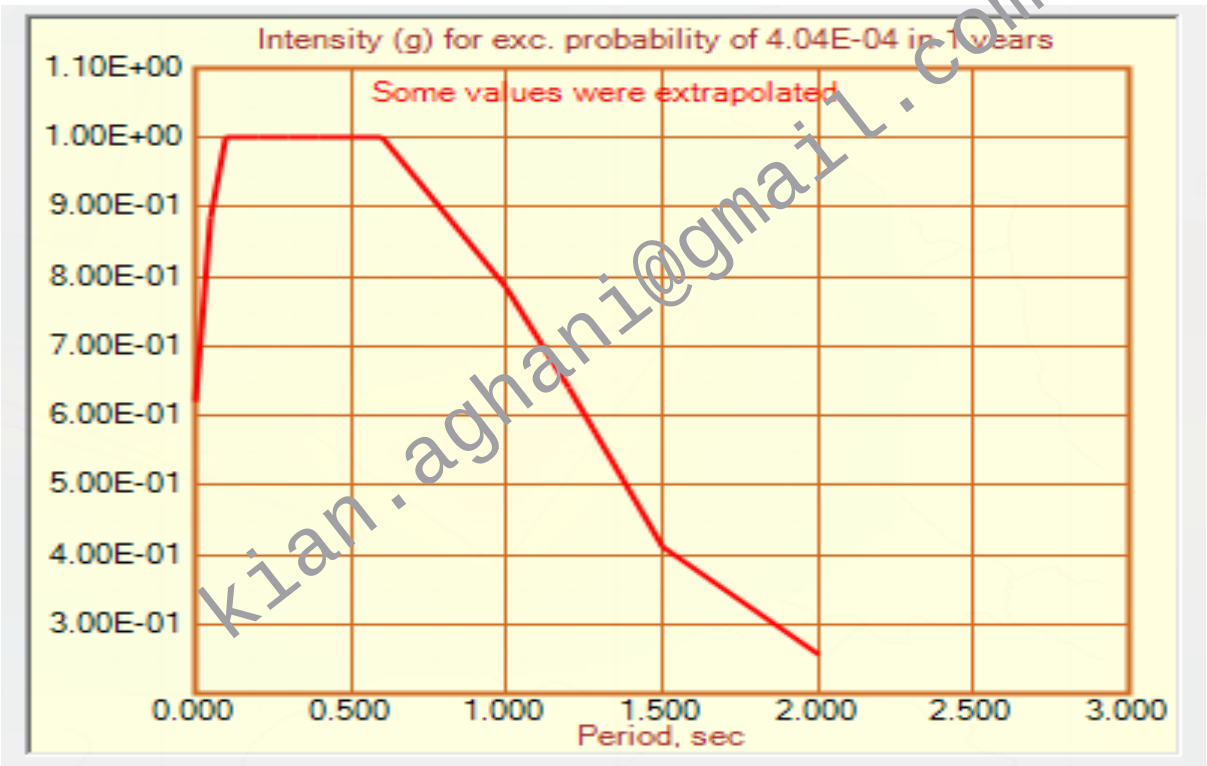
- **شتاب حداکثر طرح برای سه دوره ی بازگشت ۷۵، ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال**

جدول(۱۰)

شتاب حداکثر طرح (g)			
Campbell (2014)	Ghodrati (2007)	Zare (1999)	دوره بازگشت (سال)
0.11	0.22	0.12	75
0.35	0.44	0.26	475
0.63	0.71	0.44	2475

با توجه به اینکه در آیین نامه ۲۸۰۰ شتاب طراحی برای شهر تبریز ۰٫۳۵ ارائه شده است و رابطه Campbell شتاب حداکثر طرحی برابر با ۰٫۳۵ برای ۴۷۵ سال می‌دهد، بنابراین برای ادامه پروژه این رابطه را انتخاب می کنیم.

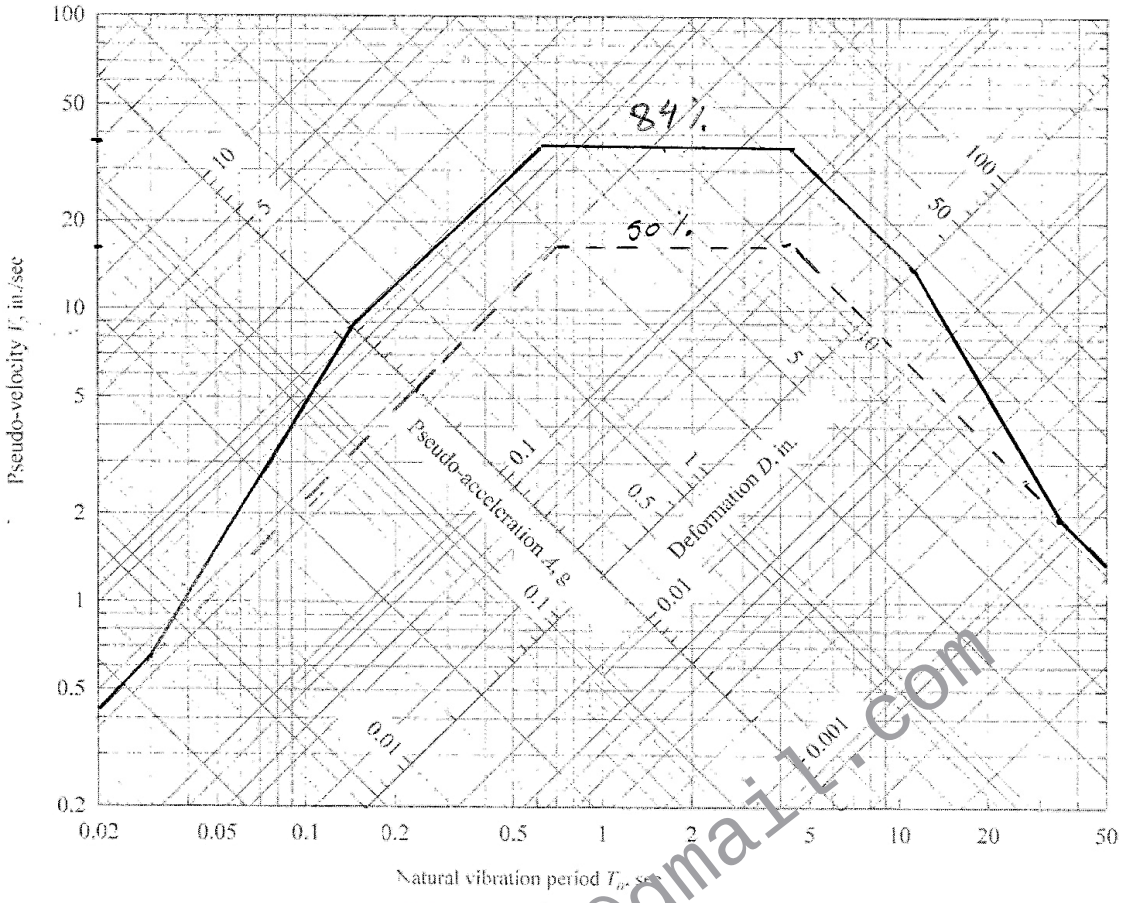
- شتاب حداکثر طراحی با استفاده از رابطه Campbell(2014) برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال



kian.aghani@gmail.com

نمودار۱۰

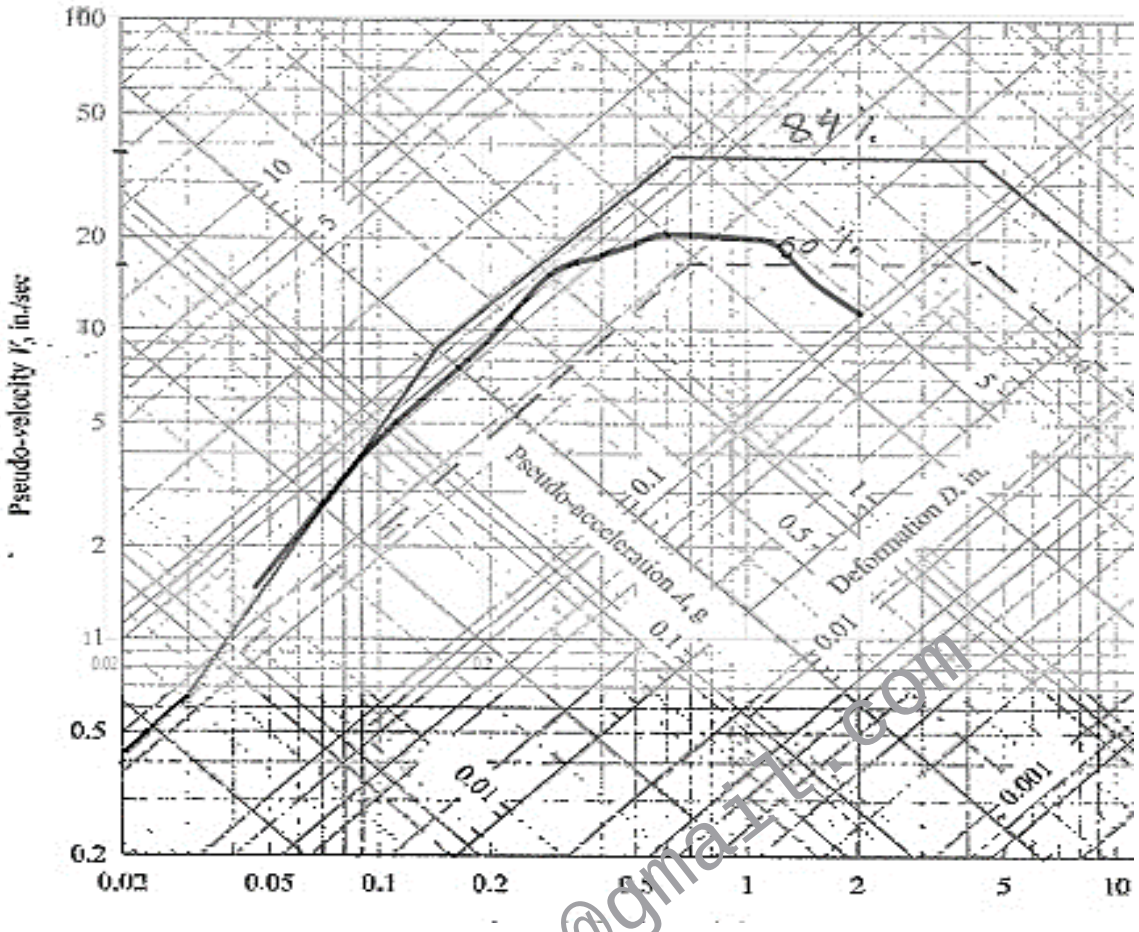
- **طیف طرح ۴۷۵ سال با شکل ثابت** (fixed shape) **با روش** Newmark- hall



شکل ۱۲

kian.aghani@gmail.com

- **رسم طیف UHS برای ساختگاه با استفاده از رابطه کاهندگی Campbell**



شکل ۱۳

kian.aghani@gmail.com

- **برنامه** NERA

در این مرحله از کار، رکوردهای Kobe، Morgan-hill و Tabas را به شتاب حداکثر ۴۷۵ساله به عنوان حرکت سنگ بستر outcrup در محل ساختگاه مقیاس می کنیم.

- Kobe 1995 earthquake, 0 KJMA station

- Morgan Hill 1984 earthquake, 57217 Coyote Lake Dam (SW Abut) station for MORGAN/CYC195

- Tabas 1978 earthquake, 9101 Tabas station for TABAS/TAB-TR

$PGA_{475year} = 0.35g$ S.F.= $\frac{1}{0.35} = 2.857$

در Seismosignal در کادر Scale factor مقدار محاسبه شده را قرار می دهیم و رکوردها به دست می آیند.

انجام اصلاحات لازم بر روی رکوردهای زیر با استفاده از نرم افزار Nera برای تعیین حرکت سطحی زمین در محل ساختگاه با فرض لایه بندی زیر:

0 m		
4 m	γs=1.70 gr/cm3	Vs=250 m/sec
10 m	γs=1.85 gr/cm3	Vs=350 m/sec
16 m	γs=1.80 gr/cm3	Vs=300 m/sec
30 m	γs=2.1 gr/cm3	Vs=450 m/sec
45 m	γs=1.75 gr/cm3	Vs=250 m/sec
90 m	γs=2.2 gr/cm3	Vs=700 m/sec

- نسبت میرایی لایه‌ها برای محاسبه مدول خاک، در تمام لایه‌ها ۵ درصد فرض می‌شود.

فرضیات و خواسته های مسئله:

لایه ها با چگالی بزرگتر از ۲ ماسه ای بوده و بقیه رسی هستند. برای مدل رفتاری لایه ها از دو مدل seed &sun و مدل Seed &Idress استفاده کردیم.

kian.aghani@gmail.com

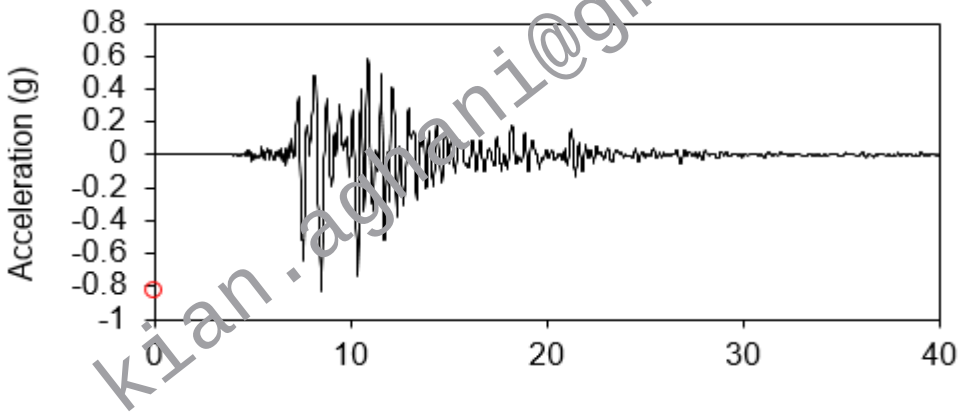
در نرم افزار Nera در شیت Earthquake مقادیر شتاب به دست آمده از هر رکورد را وارد می کنیم و اطلاعات مربوط را با توجه به نوع رکوردی که وارد کردیم، تغییر می دهیم. به عنوان نمونه برای زلزله Kobe:

Loma Prieta Earthquake:Diamond Height

Time step ΔT (sec) =	0.02
Desired maximum acceleration (g) =	0.355
Maximum frequency cut-off (Hz) =	
Use filtered input in calculation ?	No
Import input motion from external file ?	Yes
Name of input file =	kobe.txt
Total number of values read =	7500
Peak Acceleration in input file (g) =	-0.8342
Time of peak acceleration (sec) =	0.000
Mean Square Frequency (Hz) =	2.024
Peak acceleration after filtering (g) =	0.355

شکل۱۴

در قسمت add-ins وارد Nera شده و گزینه Process earthquake data را می زنیم تا رکورد توسط Nera اجرا شود.



نمودار۱۱

kian.aghani@gmail.com

سپس مشخصات لایه ها را به صورت زیر در قسمت Profile sheet وارد می کنیم.

جدول(۱۱)

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location of water table	Depth at top of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	2	4.0	108.31	17.00	250		0.0	0.00
	2	1	3	6.0	231.01	18.50	350		4.0	68.00
	3	1	3	6.0	165.14	18.00	300		10.0	179.00
	4	2	7	14.0	433.49	21.00	450		16.0	287.00
	5	1	5	15.0	111.49	17.50	250		30.0	581.00
	6	2	9	45.0	1098.88	22.00	700		45.0	843.50
Bedrock	7	0			3229.36	22.00	1200		90.0	1833.50

در قسمت sheet acceleration شماره لایه و مقدار ضخامت آن را وارد می کنیم تا رکورد مربوط به لایه را گزارش دهد که هدف ما به دست آوردن رکورد در لایه شماره ۱ یا همان سطح زمین است.

وارد قسمت add-ins شده و گزینه Nera را انتخاب کرده، گزینه Calculate step by step را می زنیم تا رکورد جدید بر روی سطح زمین به دست آید.

kian.aghani@gmail.com

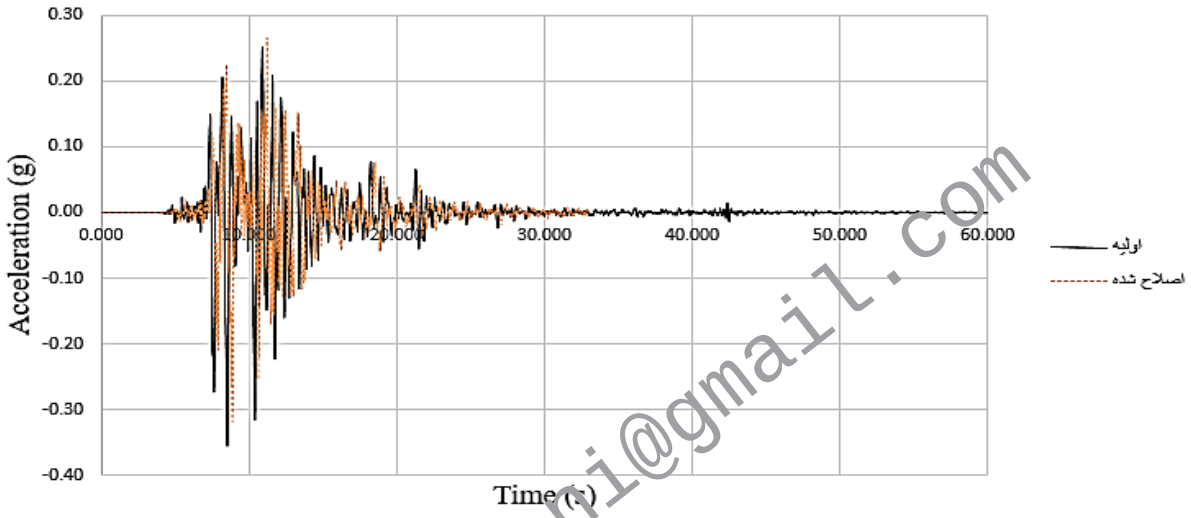
۱) Kobe

Number of sublayer =	1
Depth at top of sublayer (m) =	0.00
Maximum acceleration (g) =	0.319
Time of maximum acceleration (sec) =	8.86
Maximum relative velocity (cm/s) =	37.65
Time of maximum relative velocity (sec) =	8.60
Maximum relative displacement (cm) =	6.42
Time of maximum relative displacement (sec) =	8.84

شکل۱۵

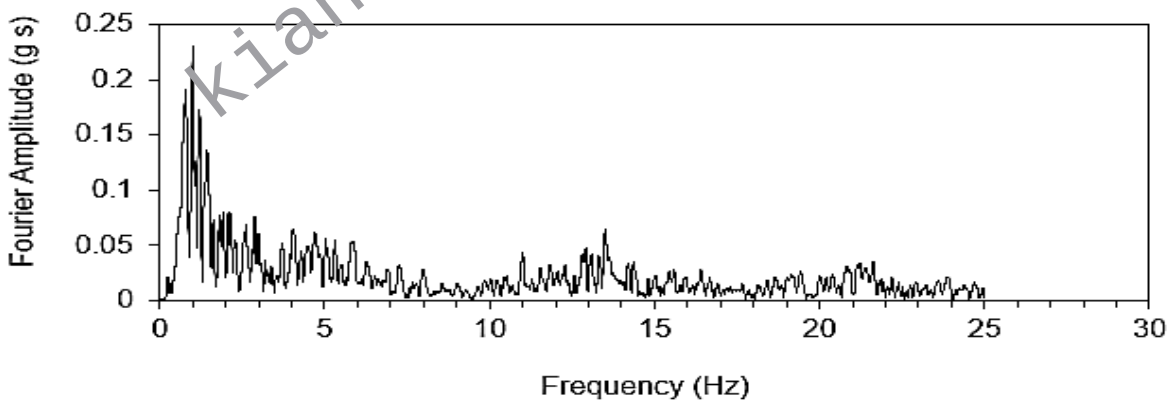
بیشترین شتاب مقدار ۰/۳۱۹g می باشد.

رکورد اصلی و اصلاح شده روی زمین: (توضیح اینکه رنگ مشکی مربوط به رکورد اصلی و رنگ قهوه ای مربوط به رکورد مقیاس شده است.)



نمودار۱۲

طیف فوریه:



نمودار۱۳

kian.aghani@gmail.com

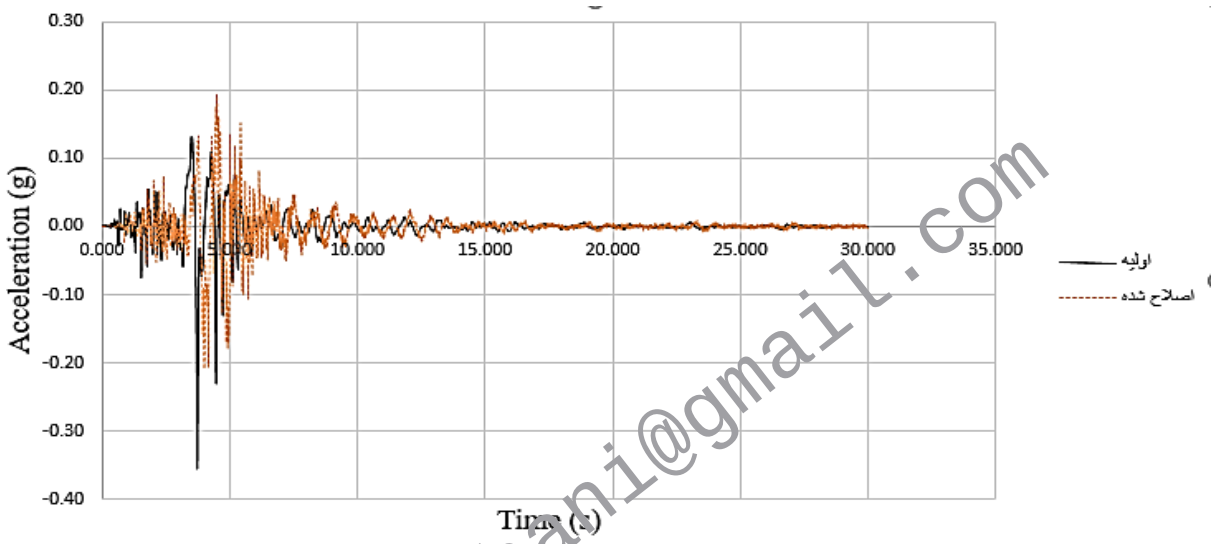
۲) Morgan-hill

Number of sublayer =	1
Depth at top of sublayer (m) =	0.00
Maximum acceleration (g) =	0.209
Time of maximum acceleration (sec) =	4.00
Maximum relative velocity (cm/s) =	21.49
Time of maximum relative velocity (sec) =	3.88
Maximum relative displacement (cm) =	3.02
Time of maximum relative displacement (sec) =	4.05

شکل۱۶

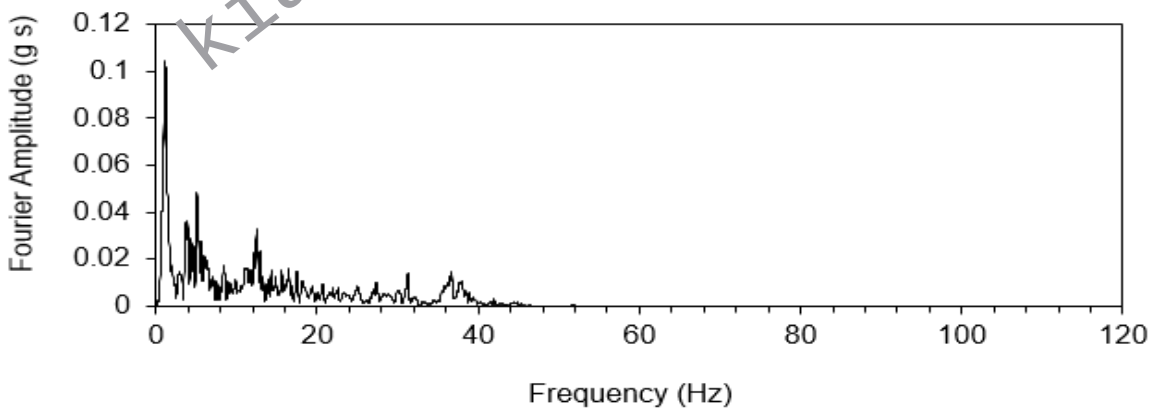
بیشترین شتاب مقدار ۰/ ۲۰۹g می باشد.

رکورد اصلی و اصلاح شده روی زمین:



نمودار۱۴

طیف فوریه:



نمودار۱۵

kian.aghani@gmail.com

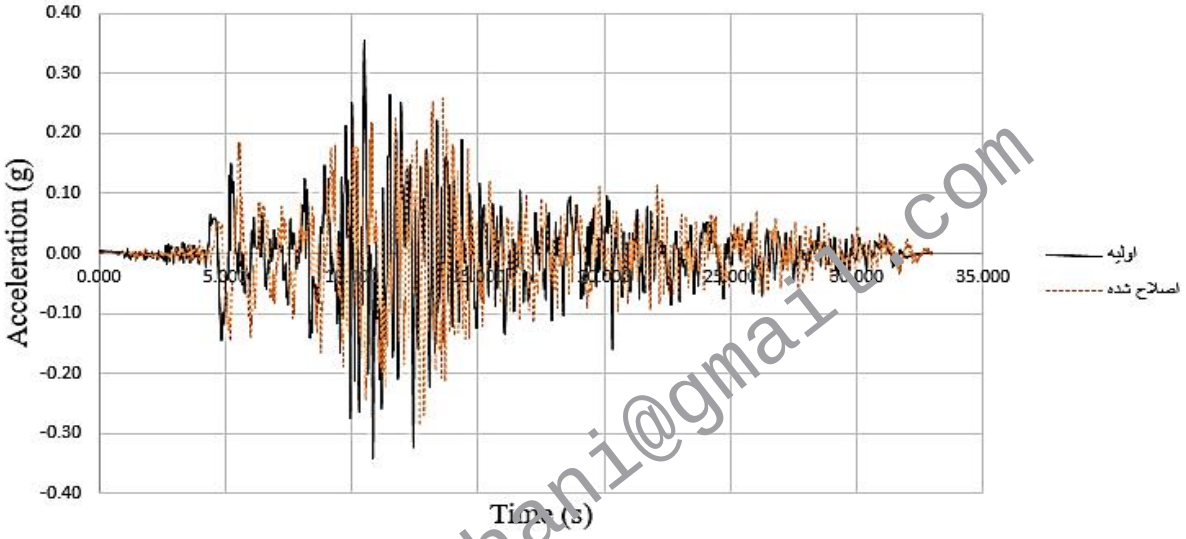
Tabas (۳

Number of sublayer =	1
Depth at top of sublayer (m) =	0.00
Maximum acceleration (g) =	0.286
Time of maximum acceleration (sec) =	12.68
Maximum relative velocity (cm/s) =	22.39
Time of maximum relative velocity (sec) =	10.62
Maximum relative displacement (cm) =	3.56
Time of maximum relative displacement (sec) =	11.26

شکل۱۷

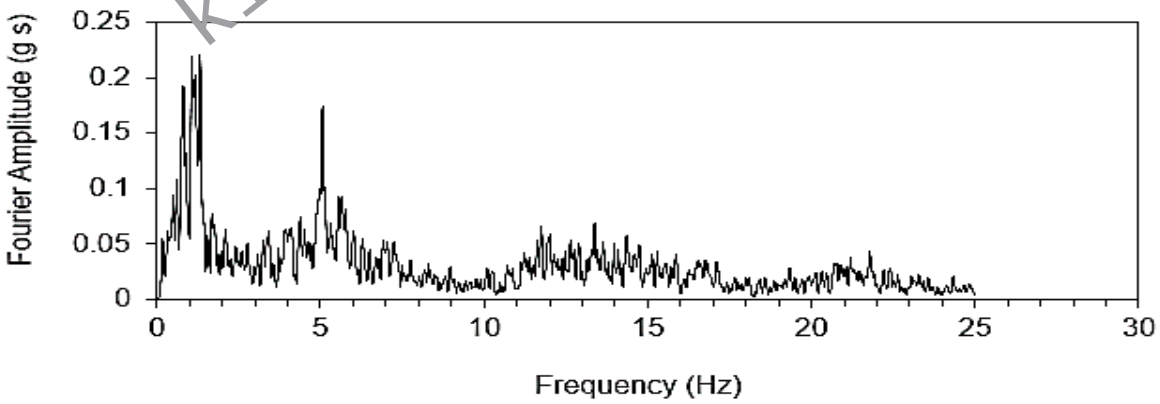
بیشترین شتاب مقدار ۲۸۶g /۰ می باشد.

رکورد اصلی و اصلاح شده روی زمین:



نمودار۱۶

طیف فوریه:

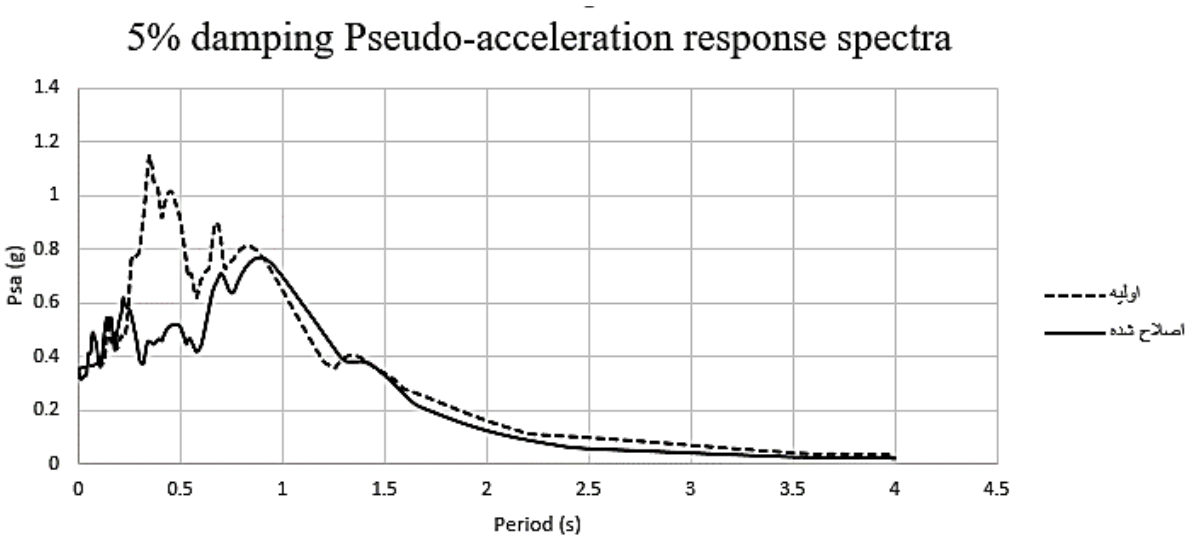


نمودار۱۷

kian.aghani@gmail.com

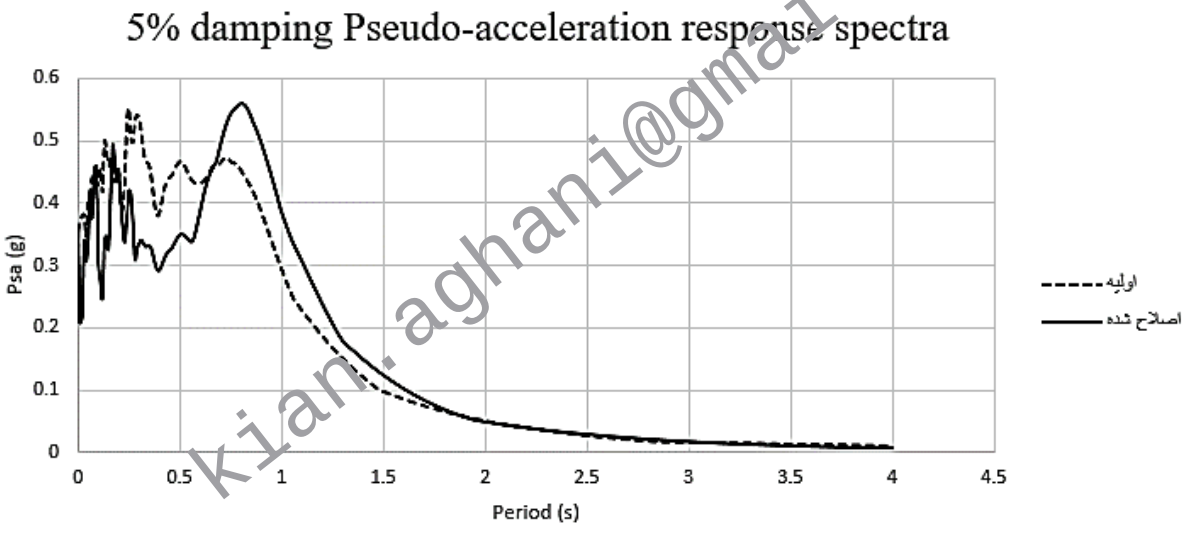
مقایسه طیف پاسخ رکورد اولیه و رکورد اصلاح شده را در یک نمودار :

۱) Kobe



نمودار۱۸

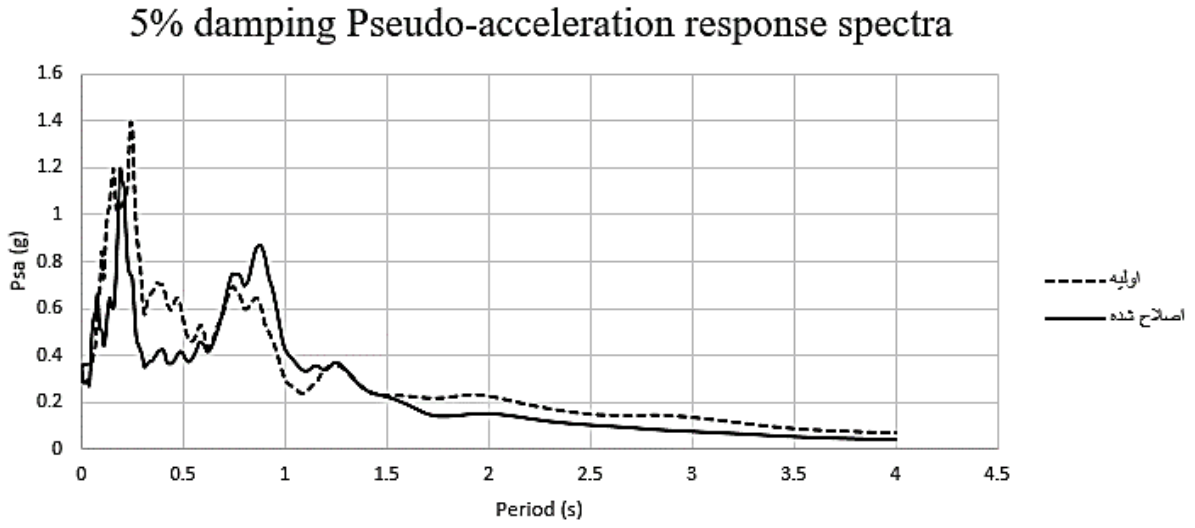
۲) Morgan-hill



kian.aghani@gmail.com

نمودار۱۹

Tabas (۳



نمودار۲۰

kian.aghani@gmail.com