

## بررسی و محاسبه بیشینه شتاب زمین (PGA) در شهر گرمی

بهزاد نیک فال<sup>۱</sup>، سید عباس حسینی<sup>۲</sup>، پرویز احدی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد عمران دانشگاه آزاد واحد گرمی (نویسنده مسئول)

<sup>۲</sup> استاد یار گروه عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمی

<sup>۳</sup> استاد یار گروه عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمی

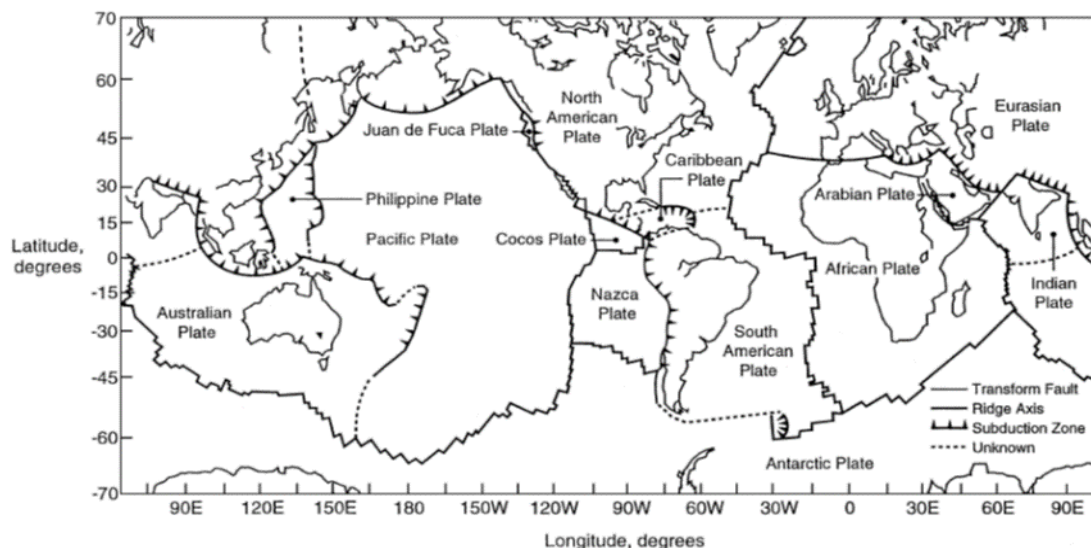
### چکیده

هدف این تحقیق محاسبه بیشینه شتاب زمین (PGA) شهر گرمی است. شهر گرمی با مساحت ۴,۳ کیلومتر مربع و جمعیت ۲۸۹۶۷ نفر (۱۳۹۵) بر روی مدار ۳۹,۰۱ شمالی و ۴۸,۰۴ شرقی واقع شده است. با توجه به مجاورت گسل تالش (۳۵ کیلومتری شرق) و گسل مغان (۲۸ کیلومتری شمال) و آسیب هایی که از زمین لرزه های شدید در آن مشاهده شده است (مغان ۱۸۶۲ با بزرگای ۶,۱، گرمی ۱۹۲۴ با بزرگای ۶,۸ و یارديملي ۱۹۹۸ با بزرگای ۶,۰) لازم است تا درجه خطر پذیری گستره شهر تعیین و نقشه های ریز پهنه بندی به منظور به روز کردن آیین نامه ها تهیه گردد. در این مطالعه مجموعه ای از منابع لرزه زا و داده های لرزه خیزی تاریخی و دستگاهی با پوشش زمانی از قرن نهم میلادی تا به امروز در شعاع ۱۵۰ کیلومتری به کار گرفته شده است، بمنظور برآورد پارامترهای لرزه خیزی روش Kijko[2000] استفاده شده است. تعیین بیشینه شتاب روی سنگ بستر (PGA) با سه رابطه کاهندگی زیرانجام گرفته است. تحلیل احتمالاتی خطر زلزله گرمی با استفاده از برنامه R-CRISIS انجام شده است. نتایج این تحلیل توسط نقشه های شتاب طیفی برای احتمال رویداد با بازگشت ۴۷۵ سال ارائه شده است.

**واژه های کلیدی:** تحلیل خطر لرزه ای، بیشینه شتاب حرکت افقی زمین (PGA)، روابط کاهندگی، گرمی

## ۱. مقدمه

زمین ساختهای صفحه ای، مدلی است که در آن پوسته خارجی زمین، به تعدادی از صفحه های نازک و صلب تقسیم شده اند که نسبت به یکدیگر در حال حرکت هستند. سرعت نسبی صفحات در بازه چند ده میلی متر در سال هستند. قسمت زیادی از زلزله ها، فوران های آتشفشانی و فعالیتهای کوهزایی در لبه ی صفحات روی می دهد. توزیع این صفحات بصورت شکل زیر است:



رفتار لرزه ای زمین، پیرو نظریه آشوب است و پیش بینی دقیق آن نیاز به اندازه گیری شرایط مرزی، پارامترهای کثیر دخیل در ایجاد زلزله و محاسبات فراوان است که ظاهرا در فاصله ای بعید از تکنولوژی زمان ما قرار دارد. در این وضعیت تنها راه ممکن برای پیش بینی وقوع زلزله، تحلیل های آماری و استفاده از توابع توزیع احتمالاتی شدت لرزه و یافتن ماکسیمم شتاب احتمالی در طول عمر تعریف شده ساختمان خواهد بود. روش تحلیل آماری در حالت کلی، وابسته به دو فاکتور اصلی ایمنی ساختگاه است. ایمنی ساختگاه به مخاطرات ژئوتکنیکی و زمان شناسی قابل رخداد در ساختگاه مانند: روانگرایی، تشدید حرکات زمین به علت اثر شرایط ساختگاهی و زمین لغز وابسته است.

زلزله های ثبت شده پیشین، تاثیر شرایط ساختگاهی نقش بسیار اساسی و مهم در نوع و میزان تخریب سازه ها را نمایان می کند. در حالت کلی آنچه که باعث خرابی تاسیسات و سازه ها می گردد، مربوط به دو رویداد زیر است:

#### جابجایی برشی ناشی از جنبش برشی گسلها

##### تکانها زمین در اثر عبور امواج لرزه ای

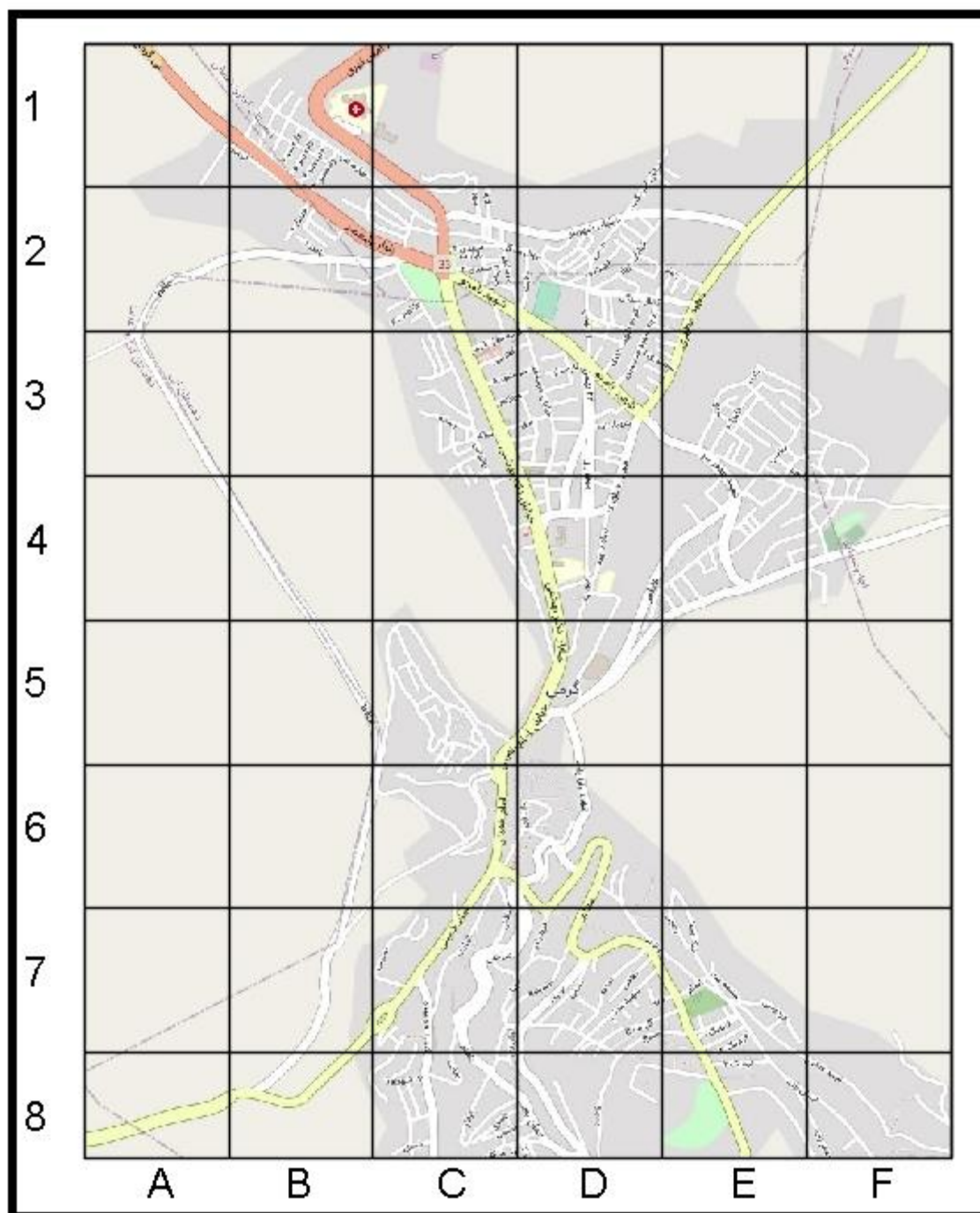
عامل ایجاد ارتعاش ساختگاه، عبور امواج لرزه ای است. بزرگا، خصوصیات میرایی و فاصله کانونی شدت تکان های لرزه ای را موجب می شود. ارزیابی منطقی (بهینه سازی برای اقتصاد و امنیت) پارامترهای جنبش زمین در ساختگاه مورد مطالعه، بر اثر رویداد زلزله در چشمه های لرزه ای بالقوه در مدت زمان معینی که معمولا عمر مفید سازه است، هدف برآورد خطر خطر لرزه ای است.

منحنی خطر لرزه، که نشانگر احتمال تجاوز سالانه در قبال دامنه نوسان تکان زمین می باشد، نتیجه نهایی تحلیل خطر لرزه ای است.

## ۲. مش بندی نقاط مختلف شهر گرمی

شهر گرمی شهر گرمی با مساحت ۴,۳ کیلومتر مربع بر روی مدار ۳۹,۰۱ شمالی و ۴۸,۰۴ شرقی واقع شده است که از شمال به شهرستان های بيله سوار و پارس آباد، از جنوب به شهرستان مشكين شهر، از شرق جمهوری آذربایجان و از غرب به استان آذربایجان شرقی محدود می باشد. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۸۵۰ متر است. جمعیت این شهر در سر شماری سال ۱۳۹۵، ۲۸۹۶۷ نفر بوده است. با در نظر گرفتن سابقه لرزه خیزی و فعالیت گسلهایی مانند تالش، مغان و کورا ... جزو مناطق لرزه خیز ایران محسوب می گردد.

شکل (۱): مش بندی شهر گرمی بصورت ۵۰۰\*۵۰۰ متر مربع



## ۲. گردآوری داده های لرزه ای

برای بررسی و شناسایی طبیعت لرزه ای و الگوی لرزه خیزی منطقه، باید اطلاعات تمام زلزله های روی داده به شعاع ۱۵۰ کیلومتری شهر گرمی (حداقل شعاع توصیه شده در آیین نامه ۶۲۶) جمع آوری شود. طبیعتاً محدوده ذکر شده محدود به جغرافیای سیاسی نبوده و در این تحقیق بدلیل همجواری با کشور جمهوری آذربایجان، اطلاعات لرزه ای آن مناطق نیز مورد استفاده قرار گرفت. داده ها به دو دوره قبل و بعد از سال ۱۹۰۰ میلادی تقسیم بندی می شوند. از تجمیع داده های تاریخی و دستگاهی، کاتالوگ لرزه خیزی منطقه آماده می گردد. در این پروژه از اطلاعات کاتالوگ IEES ، EMME و UNSSR استفاده شده است.

خوشبختانه بدلیل همجواری منطقه مورد مطالعه به سرزمین شوروی و روسیه تزاری با توجه به سطح علمی بالای این کشور داده های دقیقی از لرزه نگاری منطقه، حتی از قرن نوزدهم در دست است. [۱]

## ۳. تجمیع کاتالوگ داده های تاریخی و دستگاهی

برای تجمیع و تدوین کاتالوگ ، لازم است با بهره گیری از روابط مناسب تبدیل بزرگا، به یک بیان یکنواخت از بزرگا، مثلاً بزرگای گشتاوری ( $M_w$ ) دست یافت. بزرگای گشتاوری یکی از مناسب ترین معیارها است که ماهیت فیزیکی داشته و مستقل از تجهیزات لرزه نگاری است: [۲] ، [۳]

$$M_w = (2/3)M_L + 1.15 \quad (1)$$

جدول ۱- رابطه های تبدیل بزرگای گشتاور

Type of magnitude	Conversion relation	Boundary	$R^2$	Number	$\sigma$	
$mb, M_w$	$M_w = 0.8744mb + 0.8277$	$3.5 \leq mb \leq 6.0$	0.8803	16,752		This study
	$M_w = 0.85 (\pm 0.04)mb + 1.03 (\pm 0.23)$	$3.5 \leq mb \leq 6.2$	0.53	39,784	0.29	Scordilis
$Ms, M_w$	$M_w = 0.6633Ms + 2.1117$	$2.8 \leq Ms \leq 6.1$	0.9425	4,123		This study
	$M_w = 0.9307Ms + 0.4491$	$6.2 \leq Ms \leq 8.2$	0.88	129		
	$M_w = 0.67 (\pm 0.005)Ms + 2.07 (\pm 0.03)$	$3.0 \leq Ms \leq 6.1$	0.77	23,921	0.17	Scordilis
	$M_w = 0.99 (\pm 0.02)Ms + 0.08 (\pm 0.13)$	$6.2 \leq Ms \leq 8.2$	0.81	2,382	0.2	
$Ml, M_w$	$M_w = 1.0136Ml - 0.0502$	$4.0 \leq Ml \leq 8.3$	0.9805	2,271		This study

## ۴. حذف زلزله های وابسته در کاتالوگ

فرض اساسی در فرآیند تحلیل خطر لرزه ای پواسنی بودن وقوع زمین لرزه ها یعنی مستقل بودن لرزه ها از یکدیگر است. برای رسیدن به شرایط پواسنی بودن داده ها، مجبور خواهیم بود پس لرزه ها و پیش لرزه های زلزله های بزرگ از بانک اطلاعاتی حذف کنیم.

در این پروژه ما از روش پنجره زمانی-مکانی Gardner and knoppof, 1974 استفاده خواهیم کرد. [۴]

جدول ۲- پنجره زمانی-مکانی حذف پس لرزه ها

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.

پس از حذف پیش و پس لرزه ها و اختصاص هریک از زلزله ها به نزدیکترین گسل شناخته شده تعداد ۵۹۳ مورد زلزله بصورت جدول زیر به همراه مشخصات گسل های منطقه در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۳- مشخصات لرزه ای گسلهای اطراف شهر گرمی

نام گسل	طول گسل	عمق گسل	نوع گسل	نزدیکترین فاصله تا گرمی	زلزله های بزرگتر از ۴
کورا	۱۲۰	۲۴	راستا لغز	۸۳	۴۳
تالش	۲۶۰	۱۷	راستا لغز	۲۵	۹۶
بزغوش	۷۲	۱۸	راستا لغز	۹۲	۲۷
مغان	۱۰۳	۱۷	راستا لغز	۲۵	۲۲
قفقاز	۱۰۳	۱۷	راستا لغز	۱۲۳	۴۶
خزر	۱۰۲	۱۷	راستا لغز	۹۳	۲۹۶
قوشاداغ	۲۳۲	۱۸	راستا لغز	۱۲۸	۶۳
مجموع زمین لرزه ها					۵۹۳

## ۵. برآورد پارامترهای لرزه خیزی گستره طرح

مشخصات مورد نیاز برای چشمه های لرزه جهت استفاده در روش تحلیل احتمالاتی تعیین شوند. پارامترهای مهمی که باید برای تمام چشمه های لرزه را مشخص باشند: پارامتر ماکسیمم توان لرزه ای، پارامترهای لرزه خیزی که به تعداد زلزله و وضعیت تکنوتیکی منطقه وابسته هستند، که کاربرد آن در محاسبه تابع چگالی احتمال بزرگی برای هر چشمه است. در این بخش، مشخصات ذکر شده، تعریف می گردد :

برای کمی سازی لرزه خیزی یک پهنه، روابط مختلفی با استفاده از نحوه توزیع زلزله ها و بزرگای آنها ارائه شده است. یکی از معتبرترین و رایج ترین آنها، رابطه گوتنبرگ- ریشتر کلاسیک است که معادلات مربوط به آن در ذیل ارائه می شود: [۵]

$$\log N(M) = \lambda - bM \quad (۲)$$

$$b = \frac{\log_{10} e}{(M - M_{\min})} \quad (۳)$$

$$\beta = 10 \ln b \quad (۴)$$

$$\lambda = \log N(r) + 3\beta \quad (۵)$$

$$M_{\max} = M_{\max}^{\text{Obs}} + \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \left[ \frac{1 - \exp[-\beta(m - m_{\min})]}{1 - \exp[-\beta(m_{\max}^{\text{obs}} - m_{\min})]} \right]^N dm \quad (۶)$$

که در آن  $N$ ، فراوانی تجمعی زلزله های رخ داده با بزرگی خاص است.  $\lambda$ ، پارامتر لرزه خیزی منطقه که مقدار آن بستگی به تعداد زلزله دارد.  $b$ ، پارامتر لرزه خیزی منطقه که مقدار آن بستگی به وضعیت تکنوتیکی دارد.  $M_{\max}^{\text{Obs}}$  بزرگترین زلزله مشاهده شده است.  $M_{\min}$  کوچکترین زلزله در نظر گرفته شده است.

برای محاسبه مقادیر بالا از نرم افزار Kijko[2000] استفاده شده است که مقادیر محاسبه شده در جدول زیر ارائه شده است:

جدول ۴- پارامترهای لرزه ای گسلهای اطراف شهر گرمی

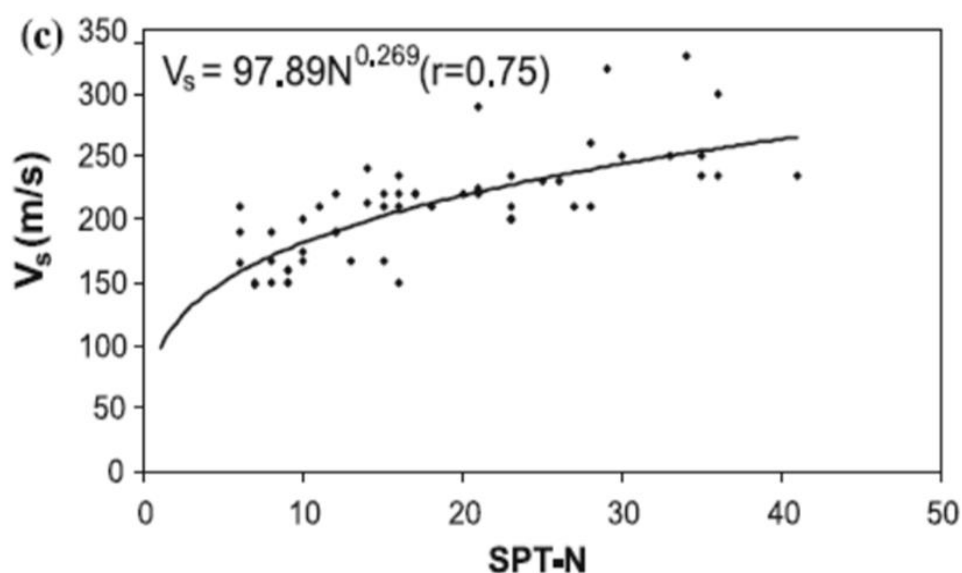
گسل	کورا	تالش	بزغوش	مغان	قفقاز	خزر	قوشا داغ
$\beta$	۱.۷۶	۱.۹۹	۲.۴۳	۲.۲	۱.۵۳	۱.۰۶	۱.۹۸
$b$	۰.۷۶	۰.۸۷	۱.۰۵	۰.۹۶	۰.۶۷	۰.۴۶	۰.۸۶
$\lambda$	۰.۳۲	۰.۳۷	۰.۳	۰.۱۴	۰.۵۸	۲.۶۲	۰.۹۵
$M_{\max}$	۶.۳۲	۶.۳۳	۶.۸۱	۶.۷۳	۷.۲۹	۷.۳۳	۶.۶۳
$M_{\min}$	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴

## ۶. سرعت موج برشی و تبدیل نتایج آزمایش نفوذ استاندارد به سرعت موج برشی

اثرات جنبش زمین بر روی ساختگاه وابستگی زیادی به بافت زمین در اعماق ساختگاه دارد. در تهیه روابط کاهندگی از فاکتور سرعت موج برشی استفاده می شود. با توجه به عدم وجود داده مستقیم مربوط به سرعت موج برشی در شهر گرمی، در این تحقیق تلاش کردیم از روابط تجربی تبدیل نتایج آزمایش نفوذ استاندارد به سرعت موج برشی استفاده کنیم.

بدلیل وابستگی هر دو پارامتر SPT و Vs به چگالی، درصد رطوبت، میزان تراکم خاک و عمق، همبستگی زیادی بین این دو پارامتر وجود دارد. علاوه بر این با توجه به مزیت های (SPT) نیاز به تجهیزات ساده، ارزان بودن، وابستگی روابط و محاسبات مهندسی به نتایج (SPT)، محققین زیادی ارتباط این دو پارامتر را برای خاک های ریزدانه و درشت دانه و یا برای تمام خاک ها بررسی کرده اند. روابط حاصله معمولاً از فرم توانی و نمایی تبعیت می کنند. روابط ارایه شده بدلیل سن و تاریخچه زمین شناسی و نوع خاک مورد مطالعه، متغییر هستند. از این رو بایستی برای هر منطقه رابطه خاص آن منطقه را برای پیش بینی سرعت موج برشی استفاده می شود. [۶]

نمودار ۱- رابطه آزمایش نفوذ استاندارد و سرعت موج برشی



جدول ۵- نتایج SPT و Vs نقاط مختلف شهر گرمی

نام محل	پزشکی قانونی	مصلی	هلال احمر	ساختمان ورزشی	ثبت اسناد	زندان	شهرک صنعتی	دانشگاه آزاد
UTMe	۲۴۳۰۹۶	۲۴۵۳۶۸	۲۴۶۸۶۶	۲۴۲۷۴۱	۲۴۷۲۵۶	۲۴۲۴۸۱	۲۴۵۰۱۰	۲۴۲۷۱۵
UTMn	۴۳۲۸۶۱۹	۴۳۲۶۴۴۲	۴۳۲۵۴۰۰	۴۳۲۹۱۱۳	۴۳۲۴۸۰۳	۴۳۲۸۹۴۷	۴۳۲۷۵۴۸	۴۳۲۸۸۴۱
Av. N	۴۱	۳۹	۴۴	۴۹	۴۴	۱۵	۳۵	۳۹
Vs۳۰	۲۹۲	۲۱۰	۲۵۱	۲۹۲	۲۹۷	۲۰۳	۲۵۵	۲۶۲

با توجه به اینکه مقدار سرعت موج برشی بر اساس گمانه های آزمایش SPT ما بین ۲۰۰-۳۰۰ متر بر ثانیه بوده است بنابراین این مورد باید در تعیین ضرایب رابطه کاهندگی مد نظر قرار گیرد.

## ۷. انتخاب روابط کاهندگی یا روابط برآورد جنبش شدید زمین

حساسترین بخش در برآورد احتمالی خطر در یک ساختگاه انتخاب رابطه کاهندگی مناسب با منطقه است. انتخاب روابط کاهندگی بیشترین عدم قطعیت نهایی در برآورد خطر در ساختگاه را بوجود می آورد. بنابر این برخورد مناسب با این عدم قطعیت که جنس آن از نوع عدم قطعیت ذاتی است، کاملاً ضروری است. باتوجه به توضیحات آئین نامه ۶۲۶ سه رابطه کاهندگی زیر برای این تحقیق انتخاب شدند: [۷]، [۸]، [۹] Akbarzade 2015، Ambrasyes 2005، Akkar bomber 2010 با استفاده از درخت منطقی و ضرایب ۰٫۲، برای آکار-بومر، ۰٫۳، برای آمبراسیس و ۰٫۵، برای رابطه اکبرزاده، رابطه کاهندگی نهایی برای این پروژه تهیه شد.

$$\log y = b_1 + b_2 M + b_3 M^2 + (b_4 + b_5 M) \log \sqrt{R_{jb}^2 + b_6^2} + b_7 S_s \quad (7)$$

$$\log y = a_1 + a_2 M + (a_3 + a_4 M) \log \sqrt{d^2 + a_5^2} + a_6 S_s \quad (8)$$

$$\log y = C_1 + C_2 (M - 6) + C_3 (M - 6)^2 + (-0.88 + 0.088 M) \log R + C_4 R \quad (9)$$

در این روابط،  $y$  شتاب زمین،  $M$  بزرگای زلزله،  $R$  فاصله مرکز زلزله تا محل ساختگاه و دیگر ضرایب وابسته به نوع ساختگاه و مکانیسم گسل ایجاد کننده زلزله هستند.

## ۸. تابع چگالی احتمال

ضابطه زیر تابع چگالی احتمال است [۱۰]:

$$f_M(m) = C \beta e^{-\beta(m-m_{min})} \quad (10)$$

ضریب  $C$  به جهت محدود کردن  $m$  به بزرگای حداکثر است:

$$C = \frac{1}{1 - e^{-\beta(m_{max}-m_{min})}} \quad (11)$$

احتمال رخداد سالیانه [۱۱]:

تابع زیر برای تمام مقادیر تقسیم شده  $m$  و  $r$  محاسبه شده و در یک جدول ثبت می شود. از مجموع تمام مولفه های آن جدول برای محاسبات استفاده خواهد شد.

$$P(PHA > acc|m, r) = 1 - \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\ln PHA}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\ln PHA - \overline{\ln PHA}}{\sigma_{\ln PHA}} \right)^2 \right] \right) \quad (12)$$

نرخ وقوع سالیانه که از رابطه گوتنبرگ ریشتر محاسبه می شود:

$$\lambda_m = e^{(\alpha - \beta M_{min})} \quad (13)$$



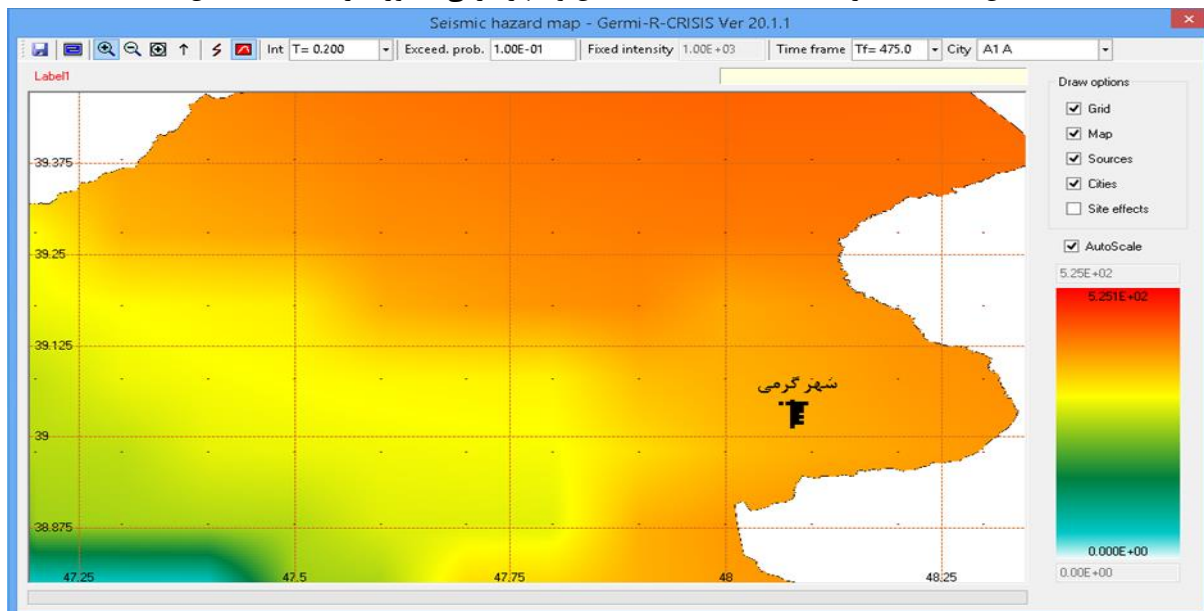
منحنی خطر برای ساختمانگاه از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\lambda_{acc} = \sum_{i=1}^{n_{source}} \lambda_m \int_{m_{min}}^{m_{max}} \int_{r_{min}}^{r_{max}} P(PHA > acc|m, r) f_M(m) f_R(r) dr dm \quad (14)$$

با توجه به اینکه معادله منحنی خطر نیاز به صدها محاسبه دارد نیاز به استفاده از نرم افزارهای تحلیل خطر لرزه ای که در آیین نامه ۶۲۶ معرفی شده اند وجود دارد. در این مطالعه ما از نرم افزار R-CRISIS 20.1.1 استفاده کرده ایم. نتایج آنالیز نرم افزار بصورت زیر ارائه شده است. نکته بسیار مهم در استفاده از نرم افزار ارائه مناسب رابطه کاهندگی به نرم افزار است. مقادیر بزرگ و فاصله باید بصورت زیر تهیه شود:

$$\begin{aligned} \log(R(K)) &= \log(RINF) + (K-1) * DLRAD & M(K) &= MINF + (K-1) * DMAG \\ \text{and} & & \text{and,} & \\ DLRAD &= \frac{(\log(RSUP) - \log(RINF))}{(NRAD - 1)} & DMAG &= \frac{(MSUP - MINF)}{(NMAG - 1)} \end{aligned}$$

شکل ۲- PGA برای نقاط مختلف منطقه مغان و شهر گرمی با دوره بازگشت ۴۷۵ سال



جدول ۶- PGA دقیق نقاط مختلف شهر گرمی

	A	B	C	D	E	F
1			0.390	0.391		
2	0.389	0.389	0.390	0.390	0.391	
3			0.389	0.390	0.391	
4			0.389	0.390	0.391	0.392
5			0.389	0.389		
6			0.389	0.389	0.390	
7			0.388	0.389		
8			0.388		0.389	

## ۹. نتیجه گیری

آنالیز خطر لرزه ای صورت گرفته به روش PSHA ، مقدار PGA ساختگاه شهر گرمی را بصورت زیر نشان می دهد:

PGA برای DBL در پهنه شهر گرمی از ۰,۳۵ تا ۰,۴ g متغیر است که این مقدار در استاندارد ۲۸۰۰ ایران برابر با ۰,۳ g تعیین شده است که با توجه به لرزه خیزی منطقه بویژه نزدیکی به گسل فعال تالش در ۲۵ کیلومتری شرق گرمی و وقوع زلزله هایی نظیر : مغان ۱۸۶۲ با بزرگای ۶,۱ ، گرمی ۱۹۲۴ با بزرگای ۶,۸ و یارديملى ۱۹۹۸ با بزرگای ۶,۰ ، لازم است مورد بازبینی قرار گیرد.

## منابع

۱. N.V. Kondorskaya, (1982), New Catalog of Strong Earthquakes in The U.S.S.R., Pp69
۲. Zare, Mehdi, (2014), Recent developments of the Middle East catalog, Pp.770
۳. Irene Munafò, (2016), On the Relationship between Mw and ML for Small Earthquakes, Pp.2407
۴. J.K. Gardener and L. Knopoff, (1974), Bulletin of the Seismological Society of America, Vol64, No.5, Pp.1365
۵. راهنمای کاربردی انجام تحلیل خطر زلزله، نشریه ۶۲۶، سال ۱۳۹۲، صفحه ۳
۶. Hasancebi Nilsun, (2006), Empirical correlations between shear wave velocity and penetration resistance for ground shaking assessments, Pp.207
۷. John Douglas, (2016), Ground motion prediction equations 1964-2016, Pp.238
۸. John Douglas, (2016), Ground motion prediction equations 1964-2016, Pp.152
۹. اکبرزاده، ۱۳۹۴، رابطه کاهندگی بیشینه شتاب طیفی افقی جنبش زمین برای شمال غرب ایران، ص ۸۴
۱۰. راهنمای کاربردی انجام تحلیل خطر زلزله، نشریه ۶۲۶، سال ۱۳۹۲، صفحه ۲۱
۱۱. Steven L. Kramer, (1996), Geotechnical Earthquake Engineering, Pp.120