

HN10110291163

## پهنه بندی خطر زمینلرزه در استان اصفهان به روش احتمالاتی

دکتر مریم هدهدی<sup>۱</sup>، البرز حاجیان نیا<sup>۲</sup>، سید علی عقیق<sup>۳</sup>

۱- گروه ژئوتکنیک دانشگاه آزاد نجف آباد

۲- گروه سازه دانشگاه آزاد نجف آباد

۳- گروه ژئوتکنیک دانشگاه آزاد نجف آباد

### خلاصه

گستره ۵۶/۲۵-۴۸ درجه طول شرقی و ۲۹-۳۵ درجه عرض شمالی که شامل استان اصفهان و نواحی پیرامون می باشد، برای برآورد خطر زمین لرزه به روش احتمالاتی برای مطالعه انتخاب شده است. کاتالوگ یکنواختی از زمین لرزه ها شامل ۱۷ زمین لرزه تاریخی و ۱۶۸۲ زمینلرزه دستگامی، از سال ۱۹۰۰-۲۰۱۲، با بزرگای  $M_s < 3$  تهیه شده است. مجموعاً ۳ چشمه بالقوه زمینلرزه در گستره مورد مطالعه تعیین شده است. در مطالعه خطر زمینلرزه بر اساس روش احتمالاتی، پارامتر جنبش نیرومند زمین برای چهار احتمال افزایش ۰/۶۴٪، ۰/۳۷٪، ۰/۱۰٪ و ۰/۲٪ در عمر مفید ۵۰ سال محاسبه و رسم شده است. مطابق نقشه خمهای همشتاب در گستره مورد نظر ملاحظه می گردد برای دوره بازگشت ۵۰ سال و احتمال فزونی ۰/۶۴٪ حداکثرشتاب ۰/۰۹g، دوره بازگشت ۲۵۰ و احتمال وقوع ۰/۳۷٪ حداکثرشتاب ۰/۱۱g، دوره بازگشت ۴۷۵ سال و احتمال وقوع ۰/۱۰٪ حداکثرشتاب ۰/۱۶g و برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال احتمال وقوع ۰/۲٪ حداکثرشتاب ۰/۲۴g میباشد.

کلمات کلیدی: سائیزریسک III، بیشینه شتاب، احتمال فزونی

### مقدمه

سرزمین ایران در بخش میانی کوهزایی نوار آلپ - هیمالیا، قرار گرفته است و سطح بالایی از فعالیتهای لرزه ای را نشان می دهد. گرچه ایران زمین بر روی کمربند لرزه خیز دنیا قرار گرفته است اما میزان لرزه خیزی در سراسر آن یکسان نیست و می توان آن را براین اساس به گستره های کوچتری تقسیم نمود. از نظر لرزه زمین ساختی ایران را می توان به نوار چین خورده زاگرس، البرز، که داغ و ایران مرکزی و دشت لوت تقسیم نمود. همین مسئله را می توان به استان های ایران نیز گسترش داد. استان اصفهان از جمله استانهایی است که به دلیل قرار گرفتن در شرایط ویژه ی لرزه زمین ساختی محدوده هایی با خطر نسبی زمین لرزه ی متفاوت را در بر می گیرد. برای شناسایی این محدوده ها و بررسی دقیق تر مناطق پر خطر نیاز است که مطالعات ویژه لرزه خیزی و لرزه زمین ساختی در این محدوده انجام می شود. برآورد خطر زمینلرزه در گستره ۵۶/۲۵-۴۸ درجه طول شرقی و ۲۹-۳۵ درجه عرض شمالی، که عمدتاً شامل استان اصفهان می باشد، انجام شده است و با استفاده از نقشه های زمین شناسی موجود با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، نقشه های تکتونیکی، نگاره های هوایی، گزارش های موجود، کاتالوگ زمین لرزه ها و خرد زمین لرزه ها نقشه لرزه زمین ساختی منطقه تهیه شده است.

گسلش، زمین ساخت و لرزه زمین ساخت

از دیدگاه ساختاری، استان اصفهان گستره ای است که از خاور به باختر مشتمل بر پهنه های ساختاری ایران مرکزی، ارومیه - دختر، سنندج - سیرجان و بخش هایی از بلندی های زاگرس است. استان اصفهان از سمت غرب به شرق دارای زون های مختلف بوده که همین محدوده ها دارای پتانسیل های متفاوت خطرزایی هستند. در غرب استان زون زاگرس مرتفع قرار گرفته است. این قسمت از ایران حاصل عملکرد حرکت صفحه ی عربی به طرف ایران مرکزی بوده و به همین دلیل ضخامت این قسمت از پوسته زمین از بقیه نقاط بیشتر و از مجموعه ای از گسل های مختلف تشکیل شده است که از نظر سنی تفاوت های زیادی با هم دارند. قدیمی ترین گسل معروف به تراست اصلی زاگرس، که بیشتر حالت روراندگی دارد و از یک دسته گسل بزرگ و کوچک که نسبت به همدیگر جابجایی زیادی دارند و اصطلاحاً دارای هورست و گرابن نامیده می شود. گسل دوم زاگرس که به نام گسل جوان زاگرس معروف است به موازات گسل اصلی قرار گرفته دارای همان طول و روند می باشد و بسیار فعال بوده و در طول سال، تعداد زلزله های زیادی در امتداد آن رخ می دهد. علاوه بر گسل های ذکر شده گسل های متعدد دیگری وجود دارد که دارای توان لرزه زایی بالایی بوده و اثرات آن در سکونتگاه ها مؤثر است. از جمله گسل های سفیدکوه در جنوب فریدونشهر، داران در شمال شهر داران، رخ در جنوب شهر چرمین و دنا در دامنه های شمالی کوه دنا در جنوب شهرستان سمیرم که از توان لرزه زایی بالایی برخوردار می باشد. زون سنندج - سیرجان نیز دارای گسل های متعددی بوده که دارای روند شمال غرب - جنوب شرق داشته و در گذشته زلزله های مختلف را از خود بروز داده است. از جمله گسل های این قسمت گسل های رخ و گسل ایران کوه را می توان نام برد. ناحیه میانی استان اصفهان، از نظر ساختار زمین شناسی از دو زون تشکیل یافته که زون بلافاصله بعد از زاگرس، زون سنندج - سیرجان بوده و یک کمر بند و یا محور دگرگونی محسوب می شود. این فاصله، از نظر تاریخ زمین شناسی فازهای کوهزایی متعددی را پشت سر گذاشته است که حداقل سه فاز آن در کنار پل نوغان در شهرستان فریدن است و این فعالیت های کوهزایی، در سطح زمین رخنمون دارد. بیشتر بیرون زدگی های سنگی این محدوده قسمت هایی از شهرستان های گلپایگان، خوانسار، فریدن، تیران و کرون، لنجان، مبارکه و شهرضا را در بر می گیرد. در استان، دو ناحیه از رانش زمین وجود دارد، یکی از این دو، که از دیدگاه زمین شناسی جوان بوده، در بلندی های پشتکوه و پیشکوه، شهرستان فریدون شهر قرار دارد و ناحیه ی دیگر در شهرستان سمیرم، به ویژه در ناحیه ی پادانا و پیرامون رود ماربر قرار دارد. زمین لرزه در استان به ندرت رخ می دهد، لیکن در گستره شمال، شمال شرقی و شرق استان به دلیل وجود گسلهائی بی شمار زمین لرزه هایی در گذشته روی داده است، که گاه شدید گزارش شده است. بارزترین این گسل ها را می توان گسل کاشان، فین، یخاب و گسل های خور و بیابانک برشمرد. گسل کاشان از جنوب فین در راستای شمال باختری - جنوب خاوری کشیده شده است. نقشه زمین لرزه های گستره استان اصفهان نشان می دهد که تمرکز زلزله ها با بزرگی زیاد در بخشهای شمال یا جنوب این استان (درپهنه های گسل های بنیادی کاشان، قم، زفره و گسل رانده اصلی زاگرس) واقع شده است. گستره ی پیرامون زاگرس را نیز، می توان زلزله خیز برشمرد. این گستره، با توجه به ویژگی های زمین ساختی زاگرس، گاه زلزله هایی با بزرگی 4 تا 5 ریشتر را شاهد بوده است.

### تئوری بر آورد خطر زمین لرزه

بر آورد خطر زمین لرزه تخمین پارامترهای جنبش زمین در یک ساختگاه می باشد که از فعالیت چشمه های با پتانسیل لرزه ای در یک دوره زمانی مشخص نتیجه میشود. این کار به روش های مختلف انجام می شود. روش اول، روش تجربی-آماري می باشد این روش ساده ترین راه برای ارزیابی خطر زمین لرزه است و مبتنی بر آمار زمین لرزه های روی داده در منطقه مورد مطالعه می باشد. روش دوم روش قطعی است که انجام بر آورد خطر زمین لرزه با استفاده از این روش شامل چهار مرحله می باشد. نخست تعیین چشمه های بالقوه زمین لرزه، سپس تعیین بیشینه بزرگی که میتوان از هر چشمه انتظار داشت و مرحله بعدی تعیین رابطه تضعیف مناسب برای منطقه مورد انتظار و در نهایت تعیین میزان خطر یا بیشینه شتاب زمین می باشد. در این روش جنبش زمین بدست آمده برای ساختگاه مورد نظر تنها بوسیله زمین لرزه ای با بزرگی مشخص در یک چشمه به فاصله مشخص از ساختگاه بیان می شود. صرف نظر از اینکه احتمال وقوع زمین لرزه ای با خصوصیات متفاوت وجود داشته باشد. به همین دلیل برای ساختگاههای مهم، انجام بر آورد خطر زمین لرزه با این روش قابل اطمینان نیست و روش سوم، روش احتمالاتی که بر خلاف روش قطعی در بر آورد خطر زمین لرزه به روش احتمالی، تمام بزرگی های ممکن (معمولاً بیش از بزرگی معین) حاصل از چشمه های مهم که در فواصل مختلفی از ساختگاه قرار گرفته اند، با در نظر گرفتن درصد احتمال وقوع بیان می شود. بنا براین در این روش تعیین جنبش زمین با یک احتمال مشخص، برای ساختگاه امکان پذیر است. مراحل انجام بر آورد خطر زمین لرزه به روش احتمالی در چهار مرحله انجام می شود. مرحله نخست تعیین چشمه های بالقوه زمین لرزه می باشد. مرحله دوم تعیین رابطه دوره بازگشت، توزیع بزرگی و نرخ میانگین بارز رخدادها می باشد. مرحله سوم به کارگیری رابطه تضعیف مناسب و بالاخره در مرحله چهارم منحنی خطر برای ساختگاه محاسبه می شود. تعیین چشمه های لرزه ای و رابطه تضعیف جنبش

کاملاً مشابه روش قطعی است، در روش احتمالاتی اثر تمام لرزه های دارای اندازه های متفاوت که در مکان های مختلف از چشمه های متفاوت با احتمال رویدادهای متفاوت اتفاق می افتند، روی یک منحنی جمع زده می شوند که احتمال افزایش سطوح مختلف جنبش زمین (به عنوان نمونه، بیشینه شتاب) در یک ساختمان در طول دوره زمانی مشخصی را نشان می دهد. مراحل فوق در فرمول زیر خلاصه می شود:

$$E(z) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \int_{m_0}^{m_u} \int_{r=0}^{r=z} f_i(m) f_i(r) p(Z > z | m, r) dr dm \quad (1)$$

به طوری که  $E(z)$  تعداد دفعات افزایش از سطح جنبش زمین  $Z$  در طول دوره زمانی  $t$  است. نرخ متوسط رویداد زمینلرزه بین محدوده های پایین و بالای بزرگی  $(\mu, m_0)$  است که در چشمه  $i$  م در نظر گرفته شده اند،  $f_i(m)$  توزیع چگالی احتمال بزرگی (رابطه بازگشتی) درون چشمه  $i$  م است،  $f_i(r)$  توزیع چگالی احتمال فاصله رومرکزها (یا چشمه ها) بین مکان های مختلف داخل چشمه  $i$  م و ساختمانی که برآورد خطر در آن انجام می شود، می باشد و  $P(Z > z | m, r)$  احتمال افزایش زمینلرزه ای با بزرگی  $m$  و فاصله رومرکزی  $r$  سطح جنبش زمین  $Z$  است. اگر هدف تحلیل خطر زمینلرزه تخمین احتمال افزایش برخی سطوح جنبش زمین در طول مدت زمان معین  $T$  (مثلاً، طول عمر سازه) باشد، می توان نشان داد، دوره بازگشت معادل با آن احتمال از رابطه زیر بدست می آید:

$$T = \frac{-T}{Lr(1 - (P(Z > z)))} \quad (2)$$

در این حالت  $p(Z > z)$  احتمال افزایش در طول زمان  $T$  است؛ برای دوره های بازگشت خیلی بزرگتر از دوره موردنظر  $p(Z > z)$  تقریباً با تقسیم دوره موردنظر، بر دوره بازگشت بدست می آید نرخ لرزه خیزی زمین لرزه های با بزرگی بین  $M_{min}$ ،  $M_{max}$  را با  $\alpha$  نشان می دهیم. با در نظر گرفتن مدل گوتنبرگ-ریشتر، نرخ لرزه خیزی را به شکل زیر می توان نوشت:

$$\alpha = 10a - bM_{min} - 10a - bM_{max} \quad (3)$$

بطور کلی در چشمه های لرزه ای چندگانه، با فرض مستقل بودن چشمه های از نظر آماری میتوان خطر کل را به آسانی محاسبه نمود. در این حالت خطر کل را می توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$P_{total}(G_t > g) = 1 - \prod_{i=1}^n P_i(G_t \leq g) = 1 - \prod_{i=1}^n e^{-v_{gi}t} \quad (4)$$

رابطه ۴ را می توان چنین نوشت:

$$P_{total}(G_t > g) = 1 - e^{-\sum_{i=1}^n v_{gi}t} \quad (5)$$

زیرنویس  $i$  اشاره به  $i$  امین چشمه در مدل برآورد خطر دارد. برای مدت یک سال  $v_{gi} \ll 0.1$  می توان رابطه ۵ را به صورت زیر نوشت:

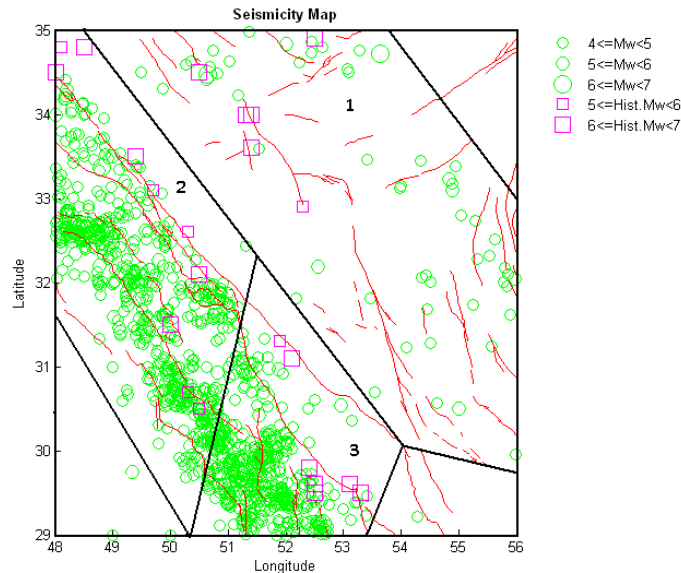
$$P_{total}(G > g) \approx \sum_{i=1}^n v_{gi} \quad (6)$$

با رسم مقادیر  $P_{total}$  حاصل از رابطه (۶) برحسب پارامتر جنبش  $g$  منحنی خطر بدست می آید. این نتیجه اصلی تحلیل خطر است. در صورتی که هدف از مطالعه تعیین خطر برحسب طیف پاسخ مهندسی باشد، چندین منحنی خطر به ازاء هر فرکانس نوسانگر بدست می آید. این نتیجه اصلی تحلیل خطر است. در صورتی که هدف از مطالعه تعیین خطر برحسب طیف پاسخ مهندسی باشد، چندین منحنی خطر به ازاء هر فرکانس نوسانگر بدست می آید.

### چشمه های بالقوه زمین لرزه

اولین گام در تحلیل خطر زمین لرزه، تعیین چشمه یا چشمه های زمین لرزه ای است. چشمه های لرزه زمین ساختی یا چشمه های زمین لرزه ای محل تجلی فعالیت نیروهای زمین ساختی منطقه است. تعیین و شناخت چشمه های لرزه زمین ساختی، غالباً بخش عمده یک تحلیل خطر زمین لرزه را تشکیل می دهد که محتاج دانش زمین شناختی، لرزه شناختی و زمین ساخت ناحیه ای و محلی می باشد. بدین منظور کاتالوگ یکنواختی از زمینلرزه ها در گستره ۵۶/۲۵-۴۸ درجه طول شرقی و ۲۹-۳۵ درجه عرض شمالی، شامل ۱۷ زمین لرزه تاریخی و ۱۶۸۲ زمین لرزه دستگاهی، از سال ۱۹۰۰-

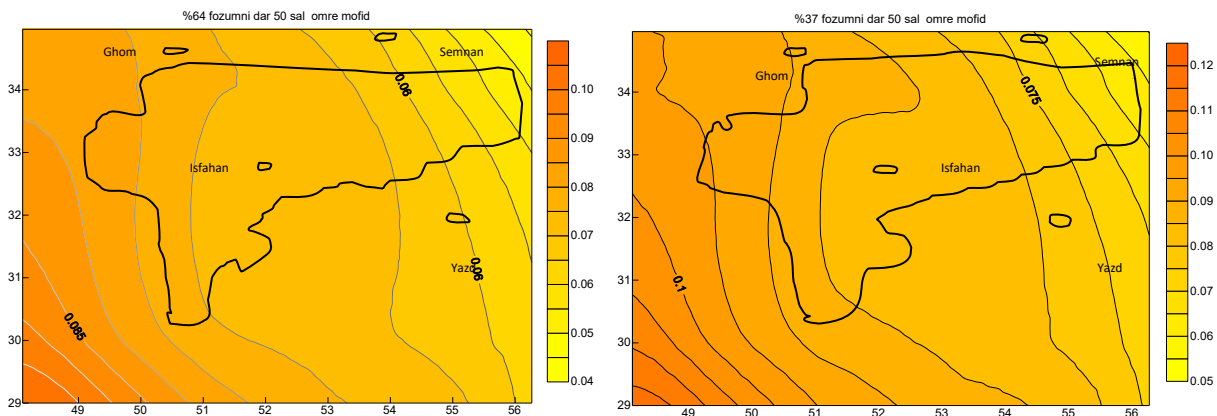
۲۰۱۲ با بزرگای  $M_s < 3$  تهیه شده است. با توجه به لرزه زمین ساخت منطقه و گسلهای موجود سه چشمه لرزه زا طبق شکل (۱) انتخاب گردید. بدلیل عدم وجود اطلاعات کافی از بخش لرزه زای پوسته، چشمه ها به صورت سطحی در نظر گرفته شدند.



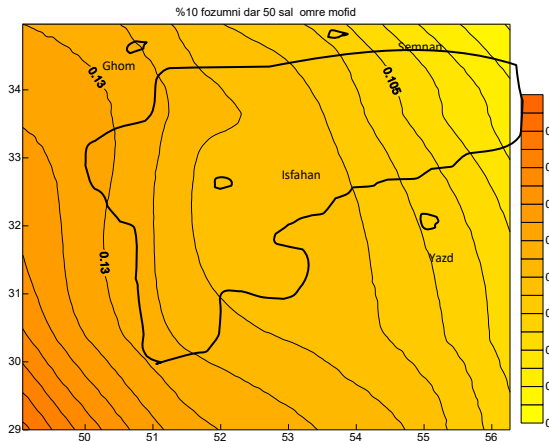
شکل (۱): نقشه شکلها، رومکز زمین لرزه های رخ داده (زمینلرزه های تاریخی و دستگاهی) و چشمه های لرزه ای در گستره مورد مطالعه

### برآورد خطر زمین لرزه در گستره استان اصفهان

اولین گام در تحلیل خطر لرزه ای به روش احتمالاتی مرسوم توسط کرنل برداشته شده که توسط ریتز توصیف شده است. پس از انتخاب یک رابطه تضعیف مناسب نوبت به انجام برآورد خطر در گستره مورد مطالعه می رسد. منحنی خطر، ترکیبی است از نمودار تمامی اطلاعاتی که در بالا شرح داده شد. توزیع فاصله، بزرگی و تابع احتمال جنبش زمین برای چشمه مورد نظر ترکیب می شوند تا مکان احتمالی یک حادثه لرزه ای با بزرگی مشخص در هر کجای چشمه بیان شود (شکلهای ۲، ۳، ۴ و ۵). مطابق این شکلها در گستره مورد مطالعه منحنی خطر لرزه ای ترسیم شده است. برای انجام برآورد خطر در گستره استان اصفهان لازم است برای شبکه ای از نقاط، شتاب افقی ناشی از رویداد زمین لرزه در چشمه بالقوه محاسبه و برای گستره مورد نظر نقشه پهنه بندی زمین لرزه ترسیم شود. این کار نیاز به محاسبات بسیاری دارد و جهت انجام آن می توان از برنامه های کامپیوتری استفاده کرد. در این پژوهش از برنامه SeisriskIII استفاده شده است. در محاسبات روش احتمالی پارامتر جنبش نیرومند زمین، برای چهار احتمال افزایش ۶۴٪، ۳۷٪، ۱۰٪ و ۲٪ در عمر مفید ۵۰ سال محاسبه شده است. قابل ذکر است که محاسبات فوق برای شتاب افقی بر روی سنگ کف با استفاده از رابطه کاهندگی دانوان انجام شد و نتایج در شکل ۶ قابل مشاهده می باشد.

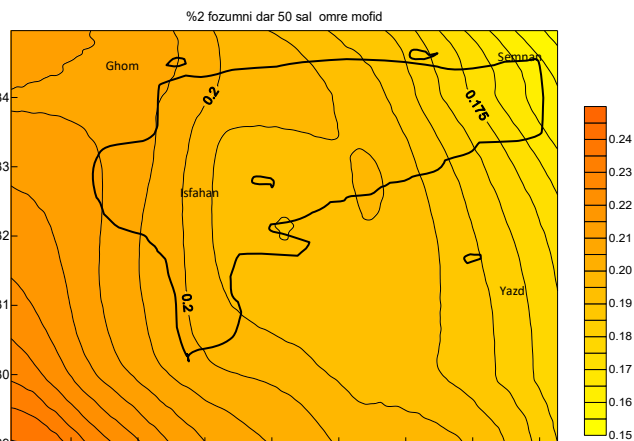


**شکل ۲.** نتایج روش احتمالی برای شتاب افقی، دوره بازگشت ۵۰ سال  
 (۰/۶۴٪ احتمال فزونی در عمر مفید ۱۰۰ سال، برای استان اصفهان)



**شکل ۴.** نتایج روش احتمالی برای شتاب افقی، دوره بازگشت ۴۷۵ سال  
 (۱/۱۰٪ احتمال فزونی در عمر مفید ۱۰۰ سال، برای استان اصفهان)

**شکل ۳.** نتایج روش احتمالی برای شتاب افقی، دوره بازگشت ۵۰ سال  
 (۰/۳۷٪ احتمال فزونی در عمر مفید ۵۰ سال، برای استان اصفهان)



**شکل ۵.** نتایج روش احتمالی برای شتاب افقی، دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال  
 (۱/۲٪ احتمال فزونی در عمر مفید ۵۰ سال، برای استان اصفهان)

### بحث و نتیجه گیری:

در پهنه بندی خطر زمینلرزه ای استان اصفهان و نواحی اطراف بر اساس روش احتمالاتی، پس از بررسی مجموع اطلاعات قابل دسترس زمین شناسی و زلزله شناسی، چشمه های بالقوه لرزه زا و بیشینه توان لرزه زایی هر چشمه در قالب  $M_{max}$  مشخص و سپس جنبش نیرومند زمین برآورد شده است؛ در برآورد خطر زمین لرزه ای گستره مورد مطالعه با رعایت مواردی از قبیل ناکامل بودن داده ها و دخالت آن در محاسبات برآورد پارامترهای زلزله خیزی از نرم افزار SeisriskIII استفاده شده است. از جمله داده هایی که برای ورودی این برنامه لازم است تعداد زمین لرزه های رویداده در سال برای هر یک از بازه های بزرگی می باشد. بنابراین هر قدر کاتالوگ زمین لرزه ها و خرد زمین لرزه های رویداده در منطقه کاملتر باشد جواب حاصل از این برنامه قابل اطمینان تر است. منطقه به ۱۲۶۰ سایت مشبک شده و در هر سایت با استفاده از رابطه کاهندگی دانوان، پارامتر جنبش نیرومند زمین، PGA، برای چهار احتمال افزایش ۰/۶۴٪، ۰/۳۷٪، ۰/۱۰٪ و ۰/۲٪ در عمر مفید ۵۰ سال محاسبه شده است. نقشه خمهای همشتاب برای این در شکل ۶ آورده شده است. ملاحظه می گردد در استان اصفهان و نواحی اطراف، برای دوره بازگشت ۵۰ سال و احتمال فزونی ۰/۶۴٪ حداقل شتاب  $g$  ۰/۰۳۹ و حداکثر  $g$  ۰/۹۸، دوره بازگشت ۲۵۰ و احتمال وقوع ۰/۳۷٪ حداقل شتاب  $g$  ۰/۰۵ و حداکثر  $g$  ۰/۱۱، دوره بازگشت ۴۷۵ سال و احتمال وقوع ۰/۱۰٪ حداقل شتاب  $g$  ۰/۰۸ و حداکثر  $g$  ۰/۱۶، و برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال احتمال وقوع ۰/۲٪ حداقل شتاب  $g$  ۰/۱۵ و حداکثر  $g$  ۰/۲۴ می باشد. همانگونه که در نقشه ها نشان داده شده، از نظر خطر نسبی زمین لرزه می توان استان اصفهان را به پهنه های با میزان خطر نسبی متفاوت تقسیم بندی نمود. مطابق نقشه خمهای همشتاب آرام ترین پهنه در بخش شرقی استان قرار گرفته که محدوده ی همسایه استان یزد است. از سوی دیگر محدوده هایی در جنوب باختر استان، که پیرامون گسل رانده زاگرس قرار دارند خطر نسبی در آنها بالا است. همین وضعیت برای محدوده کوچکی از شمال-شمال باختری استان که در شمال خاوری گسل درود قرار می گیرد وجود دارد.

### منابع

- Berberian M. .” Contribution to the seismotectonics of Iran (part 2)” [J]. Rep Geol Surv Iran, 39: 516. 1976.
- Reiter, L.” Earthquake hazard analysis: issues and insights”, Colombia University Press, New York. 1990.
- Sahil .A. Alsinawi and Zia O. Al-Qasrani. “Earthquake hazards considerations for Iraq”; Fourth International Conference of Earthquake Engineering and Seismology, 12-14 May Tehran, Islamic Republic of Iran. ; 2003.

اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران  
دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی  
۳۰ مهر و ۱ آبان ماه ۱۳۹۲

Sahil, A. & Alsinawi. "Seismicity, Seismotectonics, Crustal structure and attenuation data on iraq the relemr meeting, antakya, turkey", 12-14 December. , 2002.

DATA ON IRAQ The RELEMR Meeting, Antakya, Turkey, 12-14 December.

Zare M., Bard P. Y., Ghafory-Ashtiany M. "Site characterizations for the Iranian strong motion network", soil dynamics and earthquake engineering, 18, 101-123., 1999.

Dynamics and Earthquake Engineering, 18, 101-123.

Cornell, C. A.." Engineering Seismic Risk Analysis", Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 58, No. 5, pp. 1583-1606, 1968.

Cornell, J., The Great International Disaster Book, , Pocket Books, New York, 1979.

Gupta, I. D., The state of art in seismic hazard analysis, ISET, 428, 39, 4,311-346, 2002.

Mirzaei, N, Gao, M. and Chen, Y, "Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran major seismotectonic

Provinces", J. Earthq. Pred. Res. 7, 465-495, 1998.

Mirzaei, N, Gao, M., Chen, Y. and Wang, J.," A uniform catalog of earthquakes for seismic hazard assessment in Iran"1998 .