مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره نوزدهم، بهار ۱۳۹۸
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۱۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۱۲
صفحات: ۱۹۴ - ۱۷۵

برآورد قطعی خطر لرزه‌ای در بندر نوشهر با استفاده از سیستم فازی

فرشاد علیزاده[۱]، نرگس افسری[۲]*، فتانه تقی‌زاده فرهمند[۳]

چکیده

زمین‌لرزه‌ها جزء خطرات طبیعی هستند و گریز از آنها ممکن نیست. افزایش خسارت‌های ناشی از زلزله و تعداد زیاد تلفات جانی و مالی بدلیل ضعف سازه‌ها، بشر را وادار به مطالعاتی برای کاهش این خسارات و آسیب‌ها می‌کند. هدف از تحلیل خطرزمین‌لرزه، پیش‌بینی میزان دامنه جنبش‌های قوی زمین در دوره مشخصی از زمان در یک سایت مشخص است. در تمامی ورودی‌های آنالیز خطر که هر یک بیانگر خصوصیتی هستند عدم‌قطعیت وجود دارد. در نتیجه شناخت عدم‌قطعیت‌ها و چگونگی و میزان در نظر گرفتن آنها توسط روش‌های مختلف تحلیل خطر، می‌تواند نشان دهنده میزان اعتمادپذیری آن روش‌ها در ارزیابی خطر لرزه‌ای باشد. منطق فازی ابزار مناسبی است که هم به عنوان یک روش تصمیم‌گیر در حل مسائل و هم اینکه عدم‌قطعیت‌ها را مدل‌سازی می‌نماید، به کار برده می‌شود. بندر نوشهر در ایالت لرزه زمین‌ساختی البرز واقع است که یکی از مناطق لرزه‌خیز ایران می‌باشد. در این مطالعه برآورد خطر زمین‌لرزه برای گستره‌ای به شعاع ۲۰۰ کیلومتر از بندر نوشهر در موقعیت عرض جغرافیایی ۳۸/۵ – ۳۴ درجه عرض شمالی و ۵۴-۴۹ درجه طول شرقی قرار گرفته، انجام شده است. به همین منظور از ۱۷ چشمه بالقوه زمین‌لرزه در گستره مورد مطالعه، استفاده شده است. ابتدا برآورد خطر لرزه‌ای به روش قطعی مرسوم و سپس برآورد قطعی با استفاده از منطق فازی انجام شد. با توجه به نتایج بدست آمده به روش قطعی مرسوم، تغییرات بیشینه شتاب افقی بین g08/0 تا g52/0 است. نتایج حاصل از برآورد خطر لرزه‌ای قطعی با استفاده از منطق فازی نشان دادند که تغییرات بیشینه شتاب افقی بین g01/0 تا g55/0 است. در نتیجه بیشینه شتاب افقی g55/0 می‌باشد که حاصل از چشمه شماره ۶ با بزرگای ۷/۰ با سازوکار معکوس در فاصله ۲۱/۳ کیلومتری از ساختگاه بندر نوشهر است.

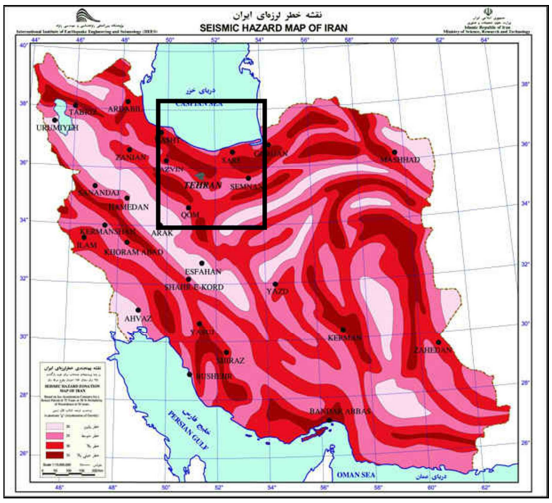
واژگان کلیدی: تحلیل خطر، منطق فازی، روش قطعی، بیشینه شتاب افقی، بندر نوشهر.

[۱]- کارشناسی‌ارشد، گروه عمران، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر alizadehfarsha@gmail.com
[۲]- استادیار، گروه عمران، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر (نویسنده مسئول) ng_afsari@iauns.ac.ir
[۳]- دانشیار، گروه فیزیک، واحد قم، دانشگاه آزاد اسلامی، قم f_farahmand@Qom-iau.ac.ir

مقدمه

زمین‌لرزه‌ها مهمترین خطرات طبیعی هستند که هر ساله شمار کثیری از جمعیت جهان گرفتار اثرات نامطلوب آن می‌شوند، دلیل اول را می‌توان عدم رعایت اصول مهندسی در ساخت و سازه‌ها و دوم ناتوانی‌های موجود در ارزیابی میزان خطرات لرزه‌ای دانست. دلیل اول را می‌توان با توسعه و بهبود ساز و کارهای نظارتی برنحوه‌ی طراحی و اجرای سازه‌ها تا حد قابل توجهی کاهش داد (خسروی، ۱۳۹۰). برای کاهش ناتوانی‌ها در ارزیابی خطرات لرزه‌ای باید از روش‌های تحلیل خطر لرزه‌ای استفاده کرد که به آنچه در طبیعت رخ می‌دهد نزدیک باشند. شناخت ما از چشمه‌های لرزه‌زا و پارامترهای مربوط به آنها و همچنین کاتالوگ زمینلرزه‌های منطقه و عدم امکان کسب اطلاعات لرزه‌ای دقیق و کافی از مطالعات زمین‌شناسی و تکتونیکی و به طور کلی نسبت به پدیده زمین‌لرزه محدود می‌باشد و باعث ایجاد عدم‌قطعیت‌هایی در نتایج حاصل می‌گردد که اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین شناخت این عدم‌قطعیت‌ها و مقادیر آنها و همچنین میزان حساسیت نتایج خطر نسبت به تغییرات پارامترهای ورودی می‌تواند کمک زیادی در تصمیم‌گیری در انتخاب این پارامترها و بدست آوردن نتایج قابل اعتمادتری نماید. ابزار منطق فازی به‌عنوان تحلیل ریاضیاتی که براساس عدم‌قطعیت بنا شده می‌توان بسیاری از مشکلات پیش‌رو را کاهش دهد (قدرتی امیری، ۱۳۹۲). استفاده از منطق فازی این امکان را فراهم می‌کند تا بتوان این عدم‌قطعیت‌ها را در مسأله لحاظ کرد (Boostan and Shafiee, 2011). در واقع منطق فازی راه ساده‌ای را برای رسیدن به یک نتیجه قطعی و معین بر پایه اطلاعات ورودی ناقص، خطادار، مبهم و دو پهلو فراهم می‌کند. روش سیستم فازی در موضوعات مختلف زلزله‌شناسی استفاده می‌شود. از جمله آن‌ها می‌توان به استفاده از سیستم فازی برای طبقه‌بندی خسارات ناشی از زلزله (Lamarre and Dong, 1986)، ارائه روشی برای محاسبهٔ خطرپذیری فازی زلزله جهت ارزیابی شدت در ساختگاه و تلفات شهری (Chongfu, 1996)، مدل استنتاج فازی برای برآورد خطر زلزله (وجودی و همکاران، ۱۳۸۵)، استفاده از منطق فازی روی بزرگای زمین‌لرزه برای تعیین رابطه بازگشت زمین‌لرزه (Chen et al., 1988) و پیش‌بینی خطر زمین‌لرزه (Frangpol et al., 1988) اشاره نمود. همچنین مطالعات اخیر انجام شده عبارتند از ارائه یک مدل برآورد خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی برمبنای تئوری مجموعه‌های فاز (Boostan et al., 2015)، بهبود کنترل ارتعاشات لرزه‌ای بناهای کوچک (Kim et al., 2010) و طبقه‌بندی خسارات لرزه‌ای در ساختمان‌ها (Anaxagoras et al., 2005) می‌باشند. سرزمین ایران به دلیل قرار داشتن درکمربندکوهزایی آلپ‌ـهیمالیا یکی ازمناطق لرزه‌خیزجهان است که به دفعات متحمل زمینلرزه‌های مخرب شده است (موسوی بفروئی و همکاران، ۱۳۹۴). در چنین شرایطی است که انجام تحقیقات وسیع علمی و پژوهشی بر روی خطرات زلزله در نواحی مختلف کشور اهمیت فراوانی می‌یابد. با توجه به قرارگیری منطقه مورد مطالعه (بندر نوشهر) در ایالت لرزه‌زمین‌ساختی البرز و همچنین به علت قرار گرفتن درمجاورت گسل-های فعال و لرزه‌خیز، مطالعات لرزه‌خیزی و برآورد خطر زمین‌لرزه در آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پیش از این مطالعات دیگری برای برآورد خطر در ایران انجام شده است. توکلی و غفوری آشتیانی در سال ۱۹۹۹ با استفاده از روش تحلیل خطر احتمالاتی و با استفاده از زمین‌لرزه‌های تاریخی، اطلاعات زمین‌شناسی، لرزه‌زمین‌ساخت، گسل-های فعال و مدل چشمه‌های لرزه‌ای و با در نظر گرفتن ۲۰ زون لرزه‌زا در گستره ایران، بیشینه شتاب زمین برای

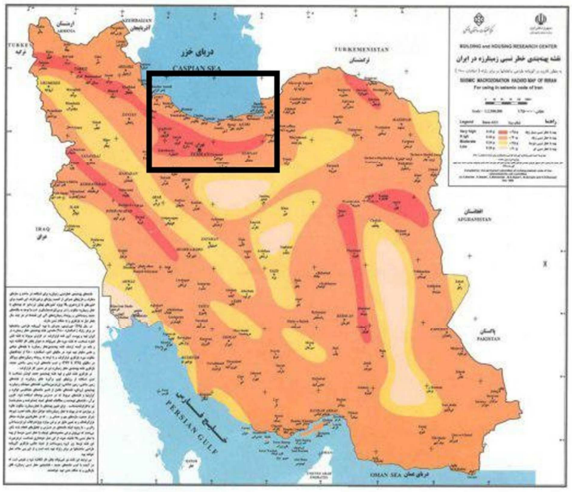
دوره‌های بازگشت ۷۵ سال و ۴۷۵ سال حساب کرده و از آنجا نقشه پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای را بر پایه پربندهای[1] هم-شتاب برای کل ایران تهیه کرده‌اند (شکل ۱).



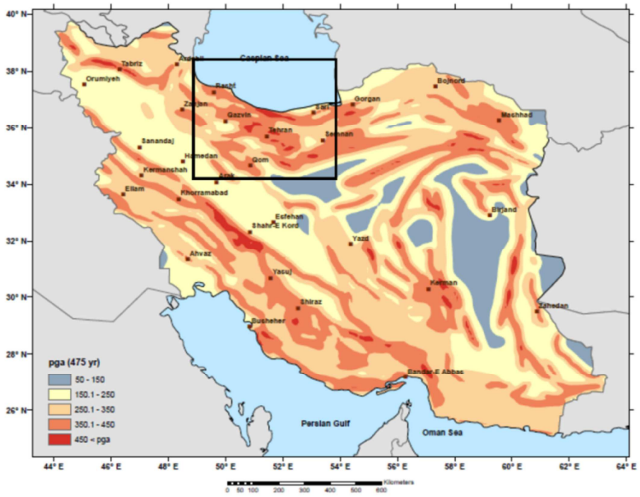
شکل ۱: نقشه پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای ایران (*Tavakoli and Ghafory-Ashtiany, 1999*) چهار پهنه تعریف شده عبارتند از: خطر خیلی بالا، خطر بالا، خطر متوسط و خطر پایین. چهار گوش سیاه رنگ گستره مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

بر اساس یافته‌های آنها بندر نوشهر در منطقه با خطر بالا قرار دارد. متغیرهای اصلی آنها بزرگی، فاصله و شرایط محلی ساختگاه بود. سازمان تحقیقات مسکن به منظور کاربرد در آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، با بازنگری در نقشه قبلی و با استفاده از روش‌های نوین برآورد خطرلرزه‌ای از نقشه‌های زمین-ساختی، زمین‌شناسی، لرزه‌زمین‌ساختی، نقشه‌های هم‌شتاب زمین‌لرزه، نقشه‌های حاصل از تفسیر داده‌های مغناطیسی هوابرد و گزارش‌ها و نقشه‌های مربوطه که در دسترس بودند نقشه جدید پهنه‌بندی خطر نسبی زمین‌لرزه برای ایران تهیه شد و طبق پهنه‌بندی جدید، بندر نوشهر در موقعیت خطر نسبی زیاد قرار دارد (شکل۲). حمزه‌لو و همکاران در ۲۰۱۲ با استفاده از روش احتمالاتی، نقشه پهنه‌بندی بیشینه شتاب زمین در ایران را با احتمال متجاوز از۵۰٪، ۱۰٪، ۵٪ و ۲٪ در ۵۰ سال به ترتیب متناظر با دوره‌های بازگشت ۷۵، ۴۷۵، ۹۷۵ و ۲۴۷۵ سال به دست آوردند (شکل ۳). معین‌فر و همکاران ۲۰۱۲ (وابسته به مرکز تحقیقات مسکن و شهرسازی)، نقشه پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای قبلی را برای طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله با انجام مطالعات تفصیلی‌تر بر روی لرزه‌خیزی، چشمه‌های لرزه‌ای و داده‌های جنبش نیرومند مورد بازنگری کردند. در نقشه جدید، کل ایران به چهار پهنه با شتاب‌های طرح ۰/۳۵g، ۰/۳g، ۰/۲۵g و ۰/۲g که به ترتیب به صورت پهنه‌های با خطر خیلی بالا، خطر بالا، خطر متوسط و خطر پایین تعریف می‌شوند. بر اساس نقشه جدید، بندر نوشهر در پهنه با خطر بالا قرار دارد (شکل۴).

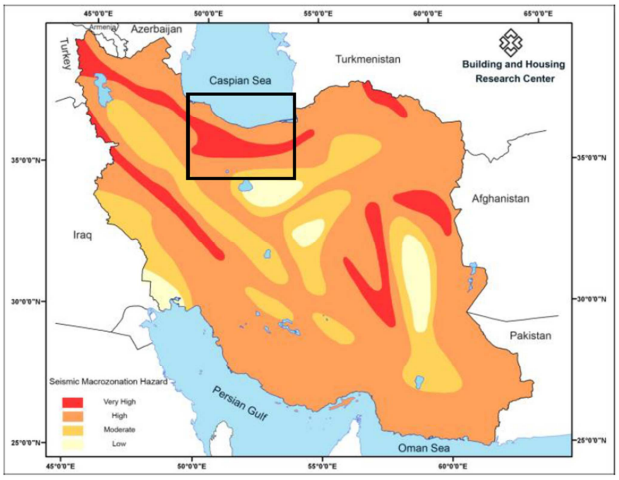
[1]- Contour



شکل۲: نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زمین‌لرزه در ایران(استاندارد۲۸۰۰)، برای طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله. چهارگوش سیاه رنگ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

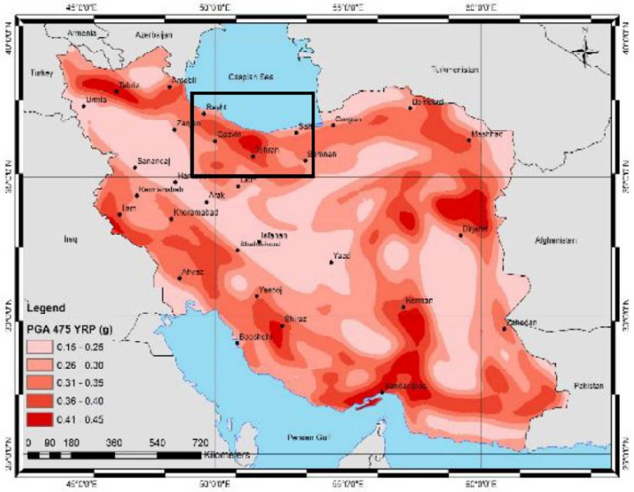


شکل۳: نقشه پهنه‌بندی بیشینه شتاب جنبش زمین برحسب سانتی‌متر بر مجذورثانیه برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال در ایران (*Hamzeloo et al., 2012*). چهار گوش سیاه رنگ گستره مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل۴: نقشه جدید پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای ایران(*Moinfar et al.,, 2012*). **چهار گوش سیاه رنگ گستره مورد مطالعه را نشان می‌دهد**

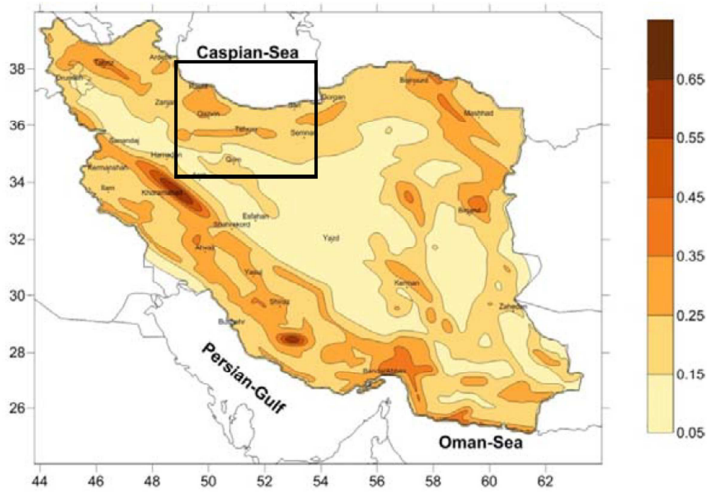
کریمی‌پری‌دری و همکاران، در سال ۲۰۱۳ نقشه پهنه‌بندی بیشینه شتاب جنبش زمین را به روش احتمالاتی برای ایران تهیه کردند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که بیشینه شتاب جنبش زمین در منطقه مورد مطالعه معادل ۰/۳۱ـ۰/۳۵g است (شکل ۵).



شکل ۵: نقشه پهنه‌بندی بیشینه شتاب جنبش زمین برحسبg به روش احتمالاتی برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال در ایران
(*Karimiparidari et al., 2013*). **چهار گوش سیاه رنگ گستره مورد مطالعه را نشان می‌دهد.**

موسوی بفروئی و همکاران (۱۳۹۴) به منظور ارزیابی سطوح جنبش نیرومند روی سنگ بستر برای بیشینه شتاب و مقادیر طیفی برای مراکز استان‌ها در ایران، برآورد خطر زمین‌لرزه را به روش احتمالاتی اصلاح شده انجام دادند.

براساس نتایج مطالعه آن‌ها، برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال، مقدار بیشینه شتاب در نوشهر بین ۰/۳۵g-۰/۲۵ برآورد شده است (شکل ۶).



شکل ۶: نقشه پهنه‌بندی بیشینه شتاب جنبش زمین برحسب g در ایران برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال (۱۰٪ احتمال فزونی در ۵۰ سال) در سنگ بستر(*موسوی بفروئی و همکاران، ۱۳۹۴*) چهار گوش سیاه رنگ گستره مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در این پژوهش با به‌کارگیری سیستم استنتاج فازی و به کمک نرم‌افزارمتلب برآورد خطر لرزه‌ای به صورت قطعی انجام می‌گیرد. سیستم استنتاج فازی در این مطالعه دارای پارامترهای ورودی بزرگای زمین‌لرزه، فاصله چشمه از ساختگاه و نوع گسل است و پارامتر خروجی آن بیشینه شتاب افقی زمین(PGA[1]) است. نتیجه مطالعه انجام شده تعیین بیشینه شتاب افقی زمین ناشی از رخداد حادثه‌ای با بزرگی بیشینه در اثر جنبش گسلی در فاصله‌ای از ساختگاه می‌باشد.

لرزه زمین ساخت گستره مورد مطالعه

گستره مورد مطالعه (به مرکزیت بندر نوشهر) در محدوده ۳۴ تا ۳۸/۵ درجه عرض‌شمالی و ۴۹ تا ۵۴ درجه طول-شرقی قرار گرفته است (شکل ۷). ازدیدگاه تقسیم‌بندی زمین‌شناسی و ایالت لرزه‌زمین‌ساختی در ایران (Mirzaei et al., 1998) بخش اعظم منطقه در البرز مرکزی و بخش جنوبی در شمال ایران مرکزی به حساب می‌آید. ایالت لرزه زمین‌ساختی البرز از دیدگاه لرزه‌خیزی و جنبایی گسل‌های آن، یکی ازمهمترین ایالت‌های لرزه‌زمینساختی ایران به-شمارمی‌رود. رشته کوه البرزکه یک گستره چین خورده وگسل خورده است، یکی ازگستره‌های کوتاه شدگی پوسته

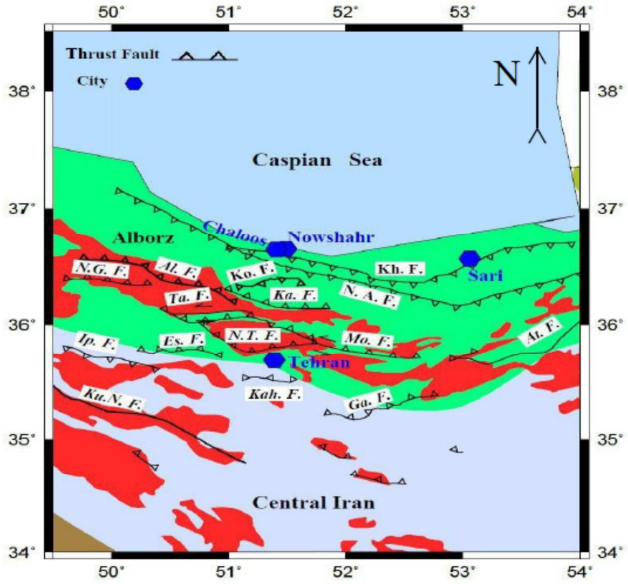
[1]- Peak Ground Acceleration

درایران است. البرز از شمال به حوضه خزرجنوبی و از جنوب به مناطق شمالی ایران مرکزی محدود می‌شود. برپایه داده‌های ژئودتیک (GPS[1])، گستره البرزمرکزی درراستایی شمالی - جنوبی سالیانه پذیرای کوتاه‌شدگی نزدیک ۶ میلی‌متر و برش چپگردی برابر ۳ میلی‌متر است (Djamour et al., 2010). درالبرزبخش بیشتری ازاین دگرشکلی به‌صورت شکننده[2] وروی صفحه‌های گسل شکل می‌گیرد (Masson et al., 2007).

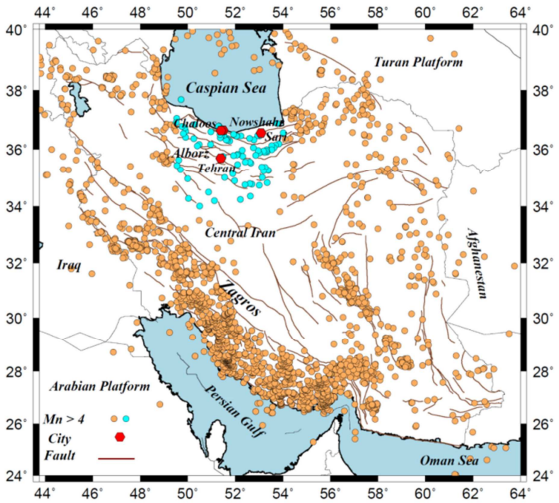
گسل‌های فعال متعددی مانند گسل شمال البرز، گسل خزر (شکل۷) زون البرزمرکزی را متأثر می‌سازند (Berberian, 1983; Berberian et al.,1992; Trifonov et al., 1996). بیشترگسل‌های فوق موازی روند اصلی رشته کوه البرز بوده وتعدیل کننده نیروی حاصل از همگرایی مایل بلوک‌های ایران مرکزی و صفحه اوراسیا هستند. از نظر سابقه لرزه‌خیزی درطول سالیان گذشته، زون البرزمرکزی شاهد زمین‌لرزه‌های متعددی بوده است. در گذشته تاریخی گستره مورد پژوهش موارد بسیاری از زمین‌لرزه‌های ویرانگر چون زمین‌لرزه‌های ۸۵۶ قبل از میلاد کومس(I0X، M=۷/۹) و ۹۵۸ قبل از میلاد طالقان (I_0X، M=۷/۷) را می‌توان پی‌گرفت که از آن‌ها با عنوان بزرگ ترین رخدادهای لرزه‌ای درتاریخ این سرزمین یاد شده است (Ambraseys and Melville, 1982; Berberian and Yeats,1999, 2001) .

از نظر زمین‌لرزه‌های دستگاهی، مهم‌ترین رویدادی که در این زون رخداده، زمین‌لرزه رودبارـ منجیل (۱۹۹۰، ۷/۳ =MS) است که منجر به خسارات مالی و جانی بسیار گردید (Berberian et al., 1992). شکل ۸ توزیع رومرکز زمین‌لرزه‌های محلی ثبت شده در شبکه‌های لرزه‌نگاری وابسته به مؤسسه ژئوفیزیک بین سال‌های۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ درمنطقه مورد مطالعه، در مقایسه با دیگر مناطق ایران را نشان می‌دهد. دایره‌های توپر فیروزه‌ای رومرکز زلزله‌های رخداده در منطقه مورد مطالعه و دایره‌های قهوه‌ای کم‌رنگ رومرکز زلزله‌های رخداده در مناطق دیگر را نشان می‌دهند و به وضوح بر فعالیت لرزه‌خیزی بسیار بالای گستره دلالت دارد. از این رو تخمین خطر زلزله در منطقه نوشهر حیاتی است.

[1]- Global Positioning System
[2]- Brittle



شکل۷: نقشه گسل‌های مهم منطقه مورد مطالعه. گسل خزر:.Kh. F، گسل شمال البرز:.N. A. F، گسل کجور: .Ko. F، گسل کندوان: .Ka.F، گسل الموترود: .Al. F، گسل مشاء: .Mo. F، گسل: شمال تهران: .N.T. F، گسل طالقان: .Ta. F، گسل شمال قزوین: .N.G. F.، گسل ایپک: .Ip. F، گسل اشتهارد:.E.s. F، گسل کوشک نصرت: .Ku.N. F، گسل کهریزک: .Kah. F، گسل گرمسار: .Ga. F، گسل عطاری: .At.F



شکل ۸: توزیع زلزله‌های محلی، منطقه مورد مطالعه (از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ با بزرگای بیش از ۴ در مقیاس ناتلی) در مقایسه با بقیه مناطق ایران را که نمایش توسط شبکه‌های لرزه‌نگاری مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران به ثبت رسیده‌اند، نشان می‌دهد. دایره‌های توپر فیروزه‌ای رنگ و قهوه‌ای روشن به ترتیب نشان دهنده رومرکز زمین‌لرزه‌های منطقه گستره البرز مرکزی و بقیه مناطق ایران را نشان می-دهند. همانطور که از شکل پیداست گستره مورد مطالعه (البرز مرکزی) از پتانسیل لرزه‌خیزی بالایی برخوردار است.

داده‌ها و روش‌ها

تحلیل خطر زمین‌لرزه روشی جهت بدست آوردن تخمینی از زلزله‌های آینده بر اساس شواهد موجود زمین‌شناسی و همچنین زلزله‌های ثبت شده گذشته می‌باشد. به عقیده گرین و هال (۱۹۹۴) هدف اصلی ارزیابی خطر لرزه‌ای، برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین (بیشینه جابه‌جائی زمین، بیشینه سرعت زمین و بشینه شتاب زمین و ...) می‌باشد. روش‌های برآورد خطر زمین‌لرزه را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود (Mirzaei et al., 1998)؛ روش اول، روش تجربی-آماری می‌باشد. این روش ساده‌ترین راه برای ارزیابی خطر زمین‌لرزه است و مبتنی بر آمار زمین‌لرزه‌های روی داده در منطقه مورد مطالعه است. روش دوم، روش قطعی است؛ این روش مبتنی بر تشخیص موثرترین چشمه زمین‌لرزه است که با فرض وقوع بیشینه زمین‌لرزه در آن چشمه و محاسبه جنبش‌های زمین در ساختگاه، چشمه مورد نظر بیشترین اثر را نسبت به چشمه‌های دیگر در آن ساختگاه اعمال می‌کند و روش سوم، روش احتمالاتی است. در تحلیل خطر به روش احتمالاتی، بزرگی همه زلزله‌های ممکن را (معمولاً بیشتر از یک مقدار مینیمم) بر روی همه چشمه‌های موجود در همه فواصل ممکن را در نظر می‌گیرد و یک احتمال کلی از ترکیب نتایج را می‌دهد. در این پژوهش به منظور ارزیابی خطر لرزه‌ای در بندر نوشهر از روش تعینی یا قطعی استفاده شده است. برای برآورد خطر زمین‌لرزه با استفاده از روش قطعی لازم است که مراحل زیر انجام شود.

نخست تعیین چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه، سپس تعیین بیشینه بزرگی (Mmax) که می‌توان از هر چشمه انتظار داشت و فاصله ساختگاه تا چشمه لرزه‌ای(R)، برای تمامی چشمه‌ها؛ و مرحله‌ی بعدی تعیین مناسب‌ترین رابطه تضعیف (رابطه کاهندگی) برای جنبش نیرومند زمین؛ و در نهایت تعیین میزان خطر یا بیشینه شتاب زمین (PGA) می‌باشد (Green & Hell, 1994).

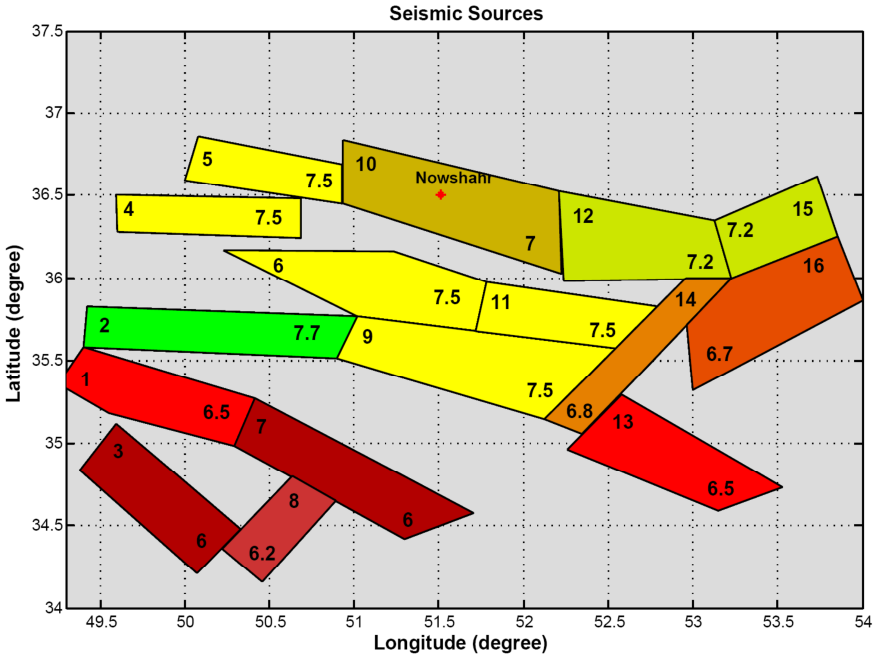
۱- تعیین چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه:

چشمه‌های لرزه‌ای یا چشمه‌های لرزه‌زمین‌ساختی محل تجلی فعالیت نیروهای زمین‌ساختی منطقه است و غالباً بخش عمده یک تحلیل خطر زمین‌لرزه را تشکیل می‌دهد که محتاج دانش زمین‌شناسی، لرزه‌شناختی و زمین‌ساخت ناحیه‌ای و محلی می‌باشد (Mirzaei et al., 1998). بدین منظور لازم است تا چشمه‌های زمین‌لرزه در گستره مورد مطالعه تعیین گردد. از ۲۳۸ چشمه پهنه‌ای مدل شده برای ایران (موسوی بفروئی و همکاران، ۱۳۹۴) تعداد ۱۶ چشمه پهنه‌ای لرزه‌ای در گستره مورد مطالعه قرار دارد که در برآورد خطر لرزه‌ای از آنها استفاده شده است. شکل ۹ توزیع چشمه‌های لرزه‌ای بالقوه در گستره مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۲- تعیین Mmax و R برای هر چشمه:

در تعیین بیشینه زمین‌لرزه یک چشمه بالقوه زمین‌لرزه استنباط پژوهشگر و قضاوت علمی نقش قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت. در شرایطی که چشمه زمین‌لرزه‌ای دارای تاریخچه زلزله‌خیزی مستندی باشد، از آن به‌عنوان راهنماییارزشمند برای تخمین بیشینه زمین‌لرزه استفاده می‌شود (Green and Hell, 1994). بیشینه زمین‌لرزه برای

هر چشمه توسط فرد خبره تعیین می‌شود، در این مطالعه بیشینه زمین‌لرزه (Mmax) برای هر چشمه لرزه‌ای مطابق مطالعات (موسوی بفروئی و همکاران، ۱۳۹۴) انتخاب شدند. همچنین به کمک کدنویسی در متلب کوتاه‌ترین فاصله هر چشمه تا ساختگاه (بندر نوشهر) برحسب کیلومتر محاسبه گردید. مقادیر به دست آمده برای (Mmax) و فاصله برحسب کیلومتر در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۹: نشان دهنده چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه در گستره مورد مطالعه. شماره چشمه‌ها و M_{MAX} چشمه‌ها در شکل مشخص شده است. علامت ستاره، موقعیت بندر نوشهر را نشان می‌دهد.

۳- تعیین رابطه کاهندگی:

روابط کاهندگی جنبش‌های زمین، تخمینی از پارامتر جنبش زمین ارائه می‌کند و به عوامل مختلفی از جمله بزرگی زلزله، فاصله تا محل سایت، مکانیسم گسلش، شرایط محلی سایت و غیره بستگی دارد که در هر منطقه با توجه به تکتونیک و ساختار پوسته رابطه کاهندگی خاصی صادق است (Green and Hell, 1994). انتخاب رابطه کاهندگی مناسب تاثیر بسیار زیادی در نتایج برآورد خطر لرزه‌ای خواهد داشت. در این مطالعه از رابطه کاهندگی (Ambraseys et al., 2005) استفاده شده است.

$$LogY = [a_1 + a_2 M_{Max} + (a_3 + a_4 M_{Max}) Log\sqrt{R^2 + a_5^2} + a_6 S_s + a_7 S_a + a_8 F_N + a_9 F_T + a_{10} F_O]$$

که شامل اثر بزرگی، سازوکار گسلش، فاصله و نوع خاک محل ساختگاه می‌باشد، برای برآورد خطر لرزه‌ای است. در رابطه کاهندگی،Y بیشینه شتاب افقی زمین برحسب متر بر مجذور ثانیه، M_{Max} بیشینه بزرگی چشمه لرزه‌ای، R

فاصله چشمه تا ساختگاه، S_S=۱ برای ساختگاه‌های با خاک نرم و برای بقیه خاک‌ها برابر صفر، Sa=۱ برای سایت‌های با خاک سفت و برای بقیه خاک‌ها برابر صفر است.F_N=۱ برای گسلش با سازوکار نرمال و برای بقیه برابر صفر، F_T =۱ برای گسلش با سازوکار فشاری و برای بقیه برای صفر، F_O=۱ برای گسلش با سازوکار شیب‌لغز و برای بقیه برابر صفر است. a_1 تا a_{10} ضرایب ثابت هستند. جدول۱ ضرایب کاهندگی بیشینه شتاب افقی زمین را در رابطه کاهندگی (Ambraseys et al., 2005) نشان می‌دهد.

جدول ۱: ضرایب کاهندگی برای بیشینه شتاب زمین در رابطه کاهندگی (Ambraseys et al., 2005)

a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}
۲/۵۲۲	-۰/۱۴۲	-۳/۱۸۴	۰/۳۱۴	۷/۶	۰/۱۳۷	۰/۰۵	-۰/۰۸۴	۰/۰۶۲	-۰/۰۴۴

۴- محاسبه بیشینه شتاب افقی زمین (PGA):

در مرحله آخر با داشتن بیشینه بزرگی زمین‌لرزه برای هر چشمه و محاسبه کوتاه‌ترین فاصله ساختگاه از چشمه (R) و با استفاده از رابطه کاهندگی، بیشینه شتاب برای هر چشمه (PGA) به دست می‌آید. بیشترین مقدار PGA به عنوان خروجی برای برآورد خطر به روش قطعی مرسوم تلقی می‌شود. زمین‌لرزه‌ای که بیشینه شتاب افقی را در ساختگاه ایجاد می‌کند، به عنوان زلزله مبنای طرح در نظر گرفته می‌شود. جدول ۲ نتایج بدست آمده برای کوتاه‌ترین فاصله ساختگاه از هر چشمه و بیشینه شتاب افقی حاصل از آن را نشان می‌دهد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که بیشینه شتاب افقی در برآورد خطر به روش قطعی ۰/۵۲g می‌باشد که مربوط به چشمه شماره ۶ با بیشینه بزرگای ۷/۵ که در فاصله تقریبا ۴۸ کیلومتر از بندر نوشهر می‌باشد.

سیستم فازی

همانطور که قبلاً گفته شد، عدم قطعیت‌های زیادی در روند ارزیابی خطر زلزله وجود دارد. توانایی منطق فازی در کار با عدم‌قطعیت‌ها باعث برتری این تئوری در مدل کردن پدیده‌های طبیعی مانند زمین‌لرزه شده است. استفاده از روش فازی توسط محققین در مباحث مختلف زلزله‌شناسی متداول است. وجود عدم‌قطعیت که ناشی از ناکامل بودن داده-های مرتبط می‌باشد، لزوم استفاده از روش‌های مناسب را در بررسی خطر زمین‌لرزه اجتناب‌ناپذیر می‌کند. شکی نیست که هر کدام از گام‌های برآورد خطر زمین‌لرزه با عدم‌قطعیت‌هایی روبرو است. به عبارت دیگر، ذات مسئله به-گونه‌ای است که نمی‌توان یک عدد را به یک متغیر نسبت داد. استفاده از روش فازی در این مبحث این امکان را فراهم می‌نماید که بتوان این عدم‌قطعیت‌ها را در مسئله لحاظ نمود (بوستان و همکاران، ۱۳۹۰). ازآنجاکه برآورد خطر زمین‌لرزه، پایه و اساس تمام برنامه‌ریزی‌های مهندسی و اقتصادی است، لذا استفاده از سیستم استنتاج فازی که بتواند با دقت مناسبی برآورد خطر را انجام داده و نتایج قابل اعتمادی ارائه نماید، می‌تواند بسیاری ازمشکلات پیش-روی برنامه‌ریزان اقتصادی، بیمه‌ای و ... را کاهش دهد که مسلماً مدل استنتاج فازی، با سرعت و انعطاف‌پذیری بالا

چنین نتیجه‌ای را خواهد داشت (وجودی و همکاران، ۱۳۸۵). در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی در زمینه کاربرد منطق فازی در علم تحلیل خطر و تحلیل ریسک انجام شده است از جمله مفاهیم پیش‌بینی خطر زمین‌لرزه (Frangpol et al., 1988) کمی کردن برآورد خطرزمین‌لرزه متغیر با زمان توسط (Deyi and Ichikawa, 1989)، همچنین ارائه روشی برای محاسبهٔ خطرپذیری فازی زلزله، برای ارزیابی شدت در ساختگاه و تلفات شهری است (Chongfu, 1996) اخیراً (Anaxagoras et al., 2005) یک سیستم فازی را برای طبقه‌بندی خسارات ناشی از زمین-لرزه ارائه کرده‌اند که سیستم پیشنهاد شده روی یک سازه‌ی بتنی و مستحکم هیجده طبقه مورد آزمایش قرار گرفته است. همچنین می‌توان به برآورد ریسک زلزله و به‌سازی لرزه‌ای با استفاده از سیستم استنتاج فازی (قدرتی امیری و همکاران، ۱۳۹۲)، اشاره نمود. در این مطالعه روشی جهت برآورد ریسک و ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای سازه‌ها، براساس سیستم‌های استنتاج‌گر فازی ارائه شده است. در مطالعات (Boostan et al., 2015) یک مدل برآورد خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی برمبنای تئوری مجموعه‌های فازی ارائه کرده‌اند. با توجه به کاستی‌هایی که روش قطعی تحلیل خطر زلزله در ارتباط با مدل‌سازی برخی عدم‌قطعیت‌ها دارد، به کارگیری روش دیگری برای مدل‌سازی این دسته از عدم‌قطعیت‌ها لازم به نظر می‌رسد. تئوری منطق فازی یکی از روش‌هایی است که به کمک آن می‌توان این کمبودها را جبران کرد.

به طور کلی برای استخراج خروجی در منطق فازی مراحل زیر صورت می‌گیرد:

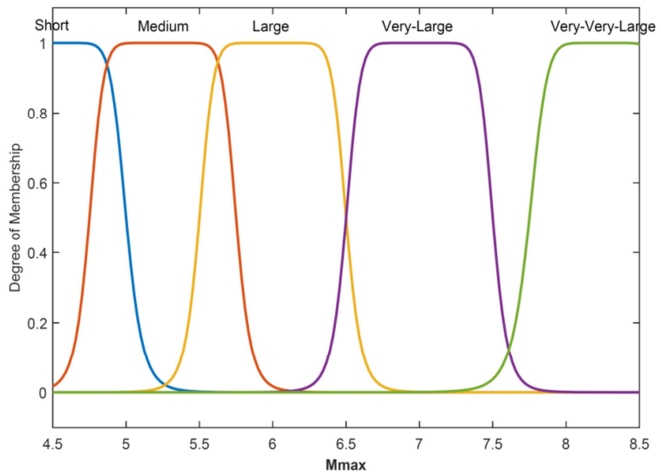
۱ـ نقطه شروع ساخت یک سیستم فازی به دست آوردن مجموعه‌ای از قواعد اگر- آنگاه فازی از دانش افراد خبره یا دانش حوزه مورد بررسی می‌باشد؛

۲ـ در مرحله بعد فازی کردن پارامترهای ورودی به وسیله تابع عضویت؛ مهمترین بخش طراحی یک سیستم فازی، طراحی توابع عضویت فازی برای هر یک از پارامترهای ورودی و خروجی است. روند تبدیل متغیرهای زبانی را فازی-سازی می‌گویند. (کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۸۴). در این مطالعه مطابق با گستره پارامترهای ورودی و خروجی و نظر فرد خبره از تابع عضویت زنگوله‌ای استفاده شد.

۳ـ مرحله سوم، موتور استنتاج فازی، با استفاده از الگوریتم‌های استنتاج، قوانین را ارزیابی و استنتاج می‌کند (تجمیع قوانین خروجی). و

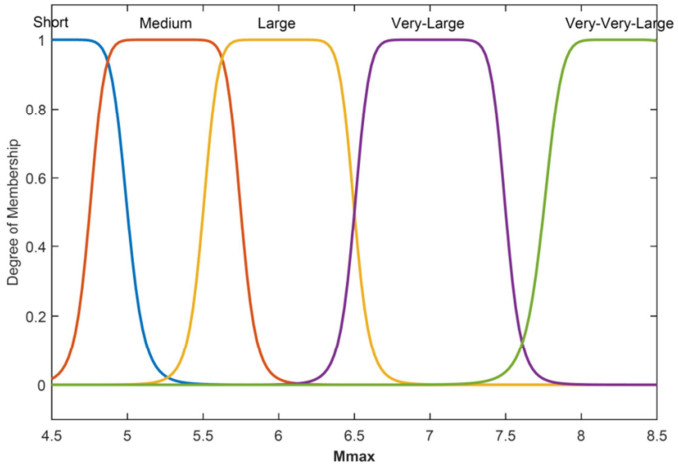
۴ ـ مرحله چهارم نافازی‌ساز است که در این قسمت پس از تجمیع قوانین خروجی توسط واحد نافازی‌ساز به مقدار صریح یا عددی تبدیل می‌شود.

در این مطالعه به منظور برآورد خطر زمین‌لرزه به روش قطعی با به کارگیری سیستم فازی مراحل زیر انجام شده است:



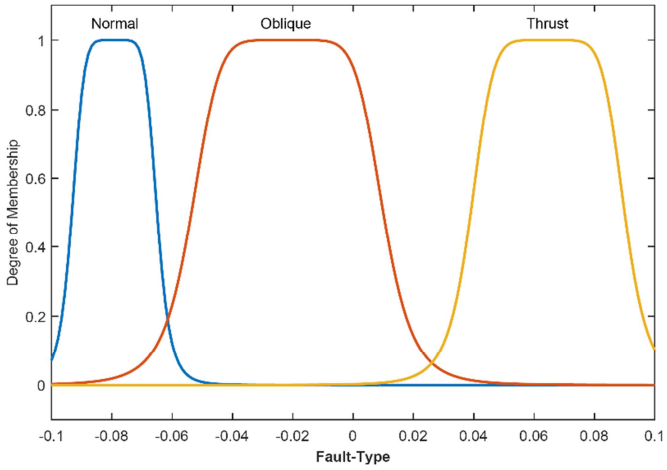
شکل ۱۰: توابع عضویت فازی فاصله ساختگاه تا چشمه.

برای پارامتر ورودی، (M_{Max})، مقادیر بین ۴/۵ تا ۸/۵ در نظر گرفته شد. از ۵ تابع عضویت زنگوله‌ای متناظر با متغیرهای زبانی کم، متوسط، بزرگ، خیلی بزرگ و خیلی خیلی بزرگ استفاده شد. شکل ۱۱ توابع عضویت فازی(M_{Max}) را نشان می‌دهد.



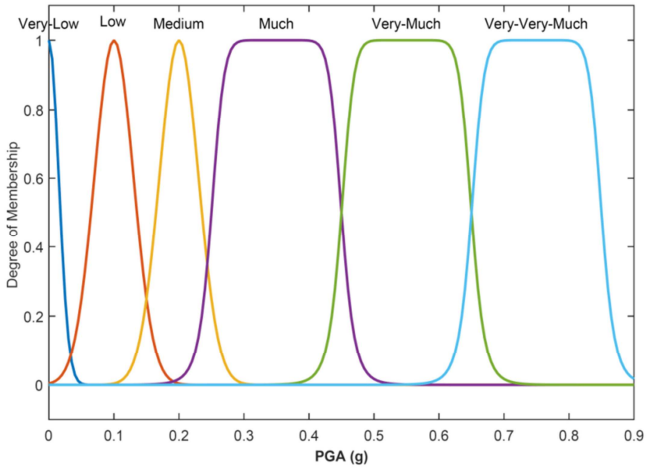
شکل ۱۱: توابع عضویت فازی(M_{Max})

سه نوع گسلش اصلی (نرمال، معکوس و ترکیبی وجود دارد. برای پارامتر ورودی نوع گسلش، سه مقدار درنظر گرفته شد و از ۳ تابع عضویت فازی زنگوله‌ای متناظر با گسل نرمال، معکوس و مایل استفاده شد. شکل ۱۲ توابع عضویت فازی نوع گسل را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲: توابع عضویت فازی نوع گسلش.

پارامتر خروجی سیستم، بیشینه شتاب زمین افقی(PGA) است، مقادیر صفر تا۰/۹g(g برابر شتاب گرانش زمین معادل ۹/۸ متر بر مجذور ثانیه است) در نظر گرفته شده است. از ۶ تابع عضویت زنگوله‌ای متناظر با متغیرهای زبانی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد و خیلی خیلی زیاد استفاده شده است. شکل ۱۳ توابع عضویت فازی بیشینه شتاب افقی زمین را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳: توابع عضویت بیشینه شتاب افقی زمین(PGA).

- طراحی قوانین استنتاجی فازی

سیستم‌های استنتاج فازی[1] سیستم‌های مبتنی‌بر دانش یا قواعدمی‌باشند. هسته یک سیستم فازی یک پایگاه دانش بوده که از قواعد اگر آنگاه فازی تشکیل شده است (تشنه لب و همکاران، ۱۳۹۳). مطابق با پارامترهای ورودی و

[1]- Fuzzy Inference System

خروجی۶۰ قانون تعریف شد. به‌عنوان نمونه، چند مورد از قوانینی که مورد استفاده قرار گرفته است در زیر آورده شده است.

* اگر "فاصله نزدیک" و "بیشینه زمین‌لرزه کم" باشد آنگاه "شتاب کم" خواهد بود.
* اگر "فاصله متوسط" و "بیشینه زمین‌لرزه زیاد" باشد آنگاه "شتاب متوسط" خواهد بود.
* اگر "فاصله دور" و "بیشینه زمین‌لرزه خیلی زیاد" باشد آنگاه "شتاب زیاد" خواهد بود.
* اگر "فاصله خیلی دور" و "بیشینه زمین‌لرزه خیلی خیلی زیاد" باشد آنگاه "شتاب خیلی خیلی زیاد" خواهد بود.

برای ایجاد یک سیستم استنتاج فازی از رابط گرافیکی جعبه ابزار منطق فازی در نرم‌افزار متلب و از سیستم استنتاج فازی ممدانی استفاده شد. ورودی فرآیند غیرفازی‌سازی، یک مجموعه‌ی فازی است (حاصل عملیات تجمیع) و خروجی آن، یک عدد می‌باشد. در این مطالعه از غیرفازی‌ساز مرکز سطح استفاده شد.

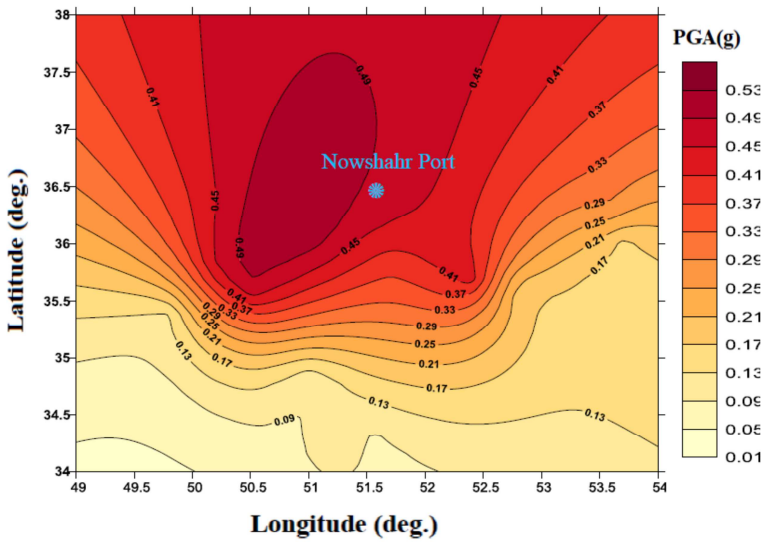
پس از محاسبه پارامترهای برآورد خطر به روش قطعی به سیستم استنتاج فازی متصل گردیدند و با استفاده از سیستم فازی بیشینه شتاب افقی مربوط به هر چشمه بدست آمد. در نهایت از بین بیشترین شتاب بدست آمده برای هر چشمه، بیشینه شتاب بین چشمه‌ها به‌عنوان شتاب ساختگاه در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از برآورد خطر قطعی با استفاده از سیستم استنتاج فازی در جدول ۲ آورده شده است.

جدول۲: شماره چشمه لرزه‌ای، مقدار پارامتراهای ورودی (M_{Max}) و R برحسب کیلومتر) و پارامتر خروجی(PGA (g))

شماره چشمه	فاصله چشمه تا ساختگاه	بیشینه بزرگای هر چشمه	نوع گسلش	PGA (g) به روش قطعی	PGA (g) به روش فازی
۱	۱۸۲/۸	۶/۵	-۰/۰۴۴	۰/۱۳	۰/۱۶
۲	۹۷/۹	۷/۷	-۰/۰۴۴	۰/۴۵	۰/۵۲
۳	۲۵۵/۸	۶/۰	-۰/۰۴۴	۰/۰۸	۰/۰۱
۴	۹۱/۵	۷/۵	۰/۰۶۲	۰/۴۳	۰/۳۸
۵	۶۴/۲	۷/۵	۰/۰۶۲	۰/۴۸	۰/۴۲
۶	۴۷/۷	۷/۵	۰/۰۶۲	۰/۵۲	۰/۵۳
۷	۱۸۱/۹	۶/۰	-۰/۰۴۴	۰/۰۹	۰/۰۱
۸	۲۱۲/۶	۶/۲	-۰/۰۴۴	۰/۱۰	۰/۰۲
۹	۹۶/۹	۷/۵	-۰/۰۴۴	۰/۳۸	۰/۲۶
۱۰	۲۱/۳	۷/۰	۰/۰۶۲	۰/۴۸	۰/۵۵
۱۱	۶۵/۳	۷/۵	-۰/۰۴۴	۰/۴۳	۰/۲۹
۱۲	۷۷/۷	۷/۲	۰/۰۶۲	۰/۳۶	۰/۳۵
۱۳	۱۷۸/۸	۶/۵	۰/۰۶۲	۰/۱۵	۰/۲۷
۱۴	۱۵۴/۳	۶/۸	-۰/۰۴۴	۰/۱۹	۰/۲۰
۱۵	۱۸۰/۰	۷/۲	۰/۰۶۲	۰/۲۸	۰/۳۵
۱۶	۱۸۳/۱	۶/۷	-۰/۰۴۴	۰/۱۶	۰/۲۰

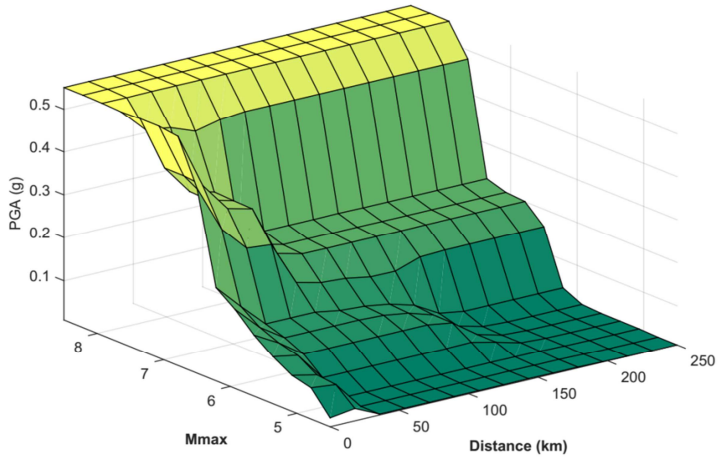
نتایج و بحث

برآورد بیشینه جنبش زمین در یک ساختگاه به روش قطعی، بر اساس ویژگی‌های زمین‌ساختی منطقه استوار است. به منظور برآورد خطر در بندر نوشهر از ۱۶ چشمه بالقوه زمین‌لرزه در گستره مورد مطالعه (عرض جغرافیایی ۳۸/۵ـ ۳۴ درجه عرض شمالی و ۵۴ـ۴۹ درجه طول شرقی) که بر اساس داده‌های زمین‌شناختی، زمین‌ساختی، زمین‌لرزه‌ای و ژئوفیزیکی و بیشینه بزرگای آنها تعیین شده بود (موسوی بفروئی و همکاران، ۱۳۹۴)، استفاده شد. همچنین رابطه کاهندگی مناسب (Ambraseys et al., 2005) تعیین شد. نهایتاً میزان خطر لرزه‌ای برای ساختگاه بندر نوشهر برآورد شده و خم‌های هم‌شتاب در گستره مورد مطالعه ترسیم گردید (شکل ۱۴). با توجه به شکل ۱۴ گستره مورد مطالعه دارای مناطقی با خطر پایین، متوسط و بالا می‌باشد. حداقل شتاب مورد انتظار در منطقه ۰/۰۸g و حداکثر ۰/۵۲g است.



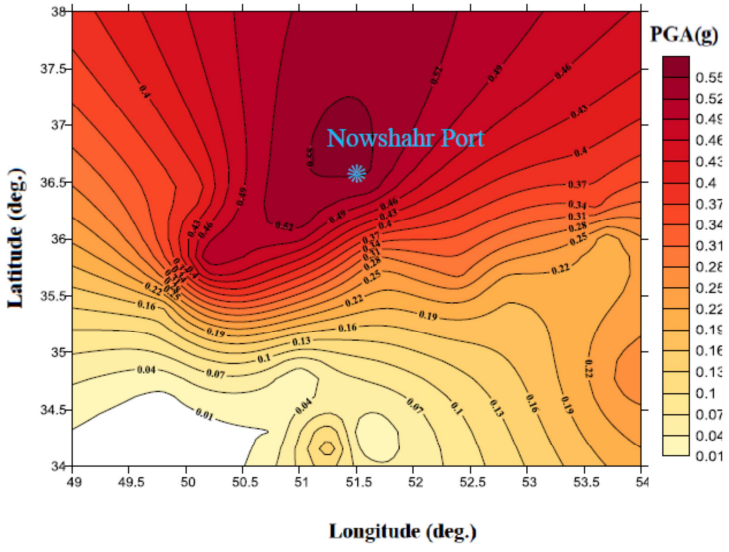
شکل ۱۴: نقشه پربندهای هم‌شتاب گستره مورد مطالعه بر اساس راهکار برآورد خطر زمین‌لرزه به روش قطعی. ستاره آبی رنگ، موقعیت بندر نوشهر را نشان می‌دهد.

به دلیل ناکامل و مبهم بودن داده‌های مرتبط که ایجاد عدم‌قطعیت می‌کند، در ادامه برای برآورد دقیق خطر لرزه‌ای از منطق فازی استفاده کردیم. پارامترهای ورودی بیشینه بزرگای هر چشمه، فاصله ساختگاه تا هرچشمه، نوع سازوکار گسلش و شرایط خاک محلی و بیشینه شتاب افقی به عنوان پارامتر خروجی در نظر گرفته شد و به کمک استنتاج فازی ممدانی، برآورد خطر لرزه‌ای انجام شد. شکل ۱۵ نمودار تغییرات بیشینه شتاب افقی را نسبت به پارامترهای ورودی بیشینه بزرگا و فاصله ساختگاه تا چشمه نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده می‌کنیم که تغییرات بیشینه شتاب افقی با تغییرات فاصله و بیشینه بزرگا نسبت به هم با آنچه انتظار می‌رود هم‌خوانی دارد.



شکل ۱۵: سطوح سه بعدی سیستم ورودی–خروجی سیستم‌های فازی. محور افقی M_{Max} و فاصله چشمه تا ساختگاه را نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج بدست آمده، برآورد خطر لرزه‌ای قطعی با استفاده از منطق فازی، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه (خم‌های هم‌شتاب) را رسم شد (شکل ۱۶).



شکل ۱۶: نقشه خم‌های هم‌شتاب گستره مورد مطالعه براساس راهکار برآورد خطر زمین‌لرزه به روش قطعی با استفاده از منطق فازی. ستاره آبی رنگ، موقعیت بندر نوشهر را نشان می‌دهد.

نتایج نشان می‌دهد تغییرات بیشینه شتاب افقی زمین در البرز مرکزی نسبت به ساختگاه بندر نوشهر در بازه۰/۰۱g تا ۰/۵۵g قرار دارد. بیشینه شتاب افقی در ارزیابی قطعی خطر لرزه‌ای ۰/۵۵g می‌باشد که ناشی از چشمه شماره ۱۰ با بزرگای ۷/۰ و سازوکار گسلش معکوس در فاصله ۲۱ کیلومتری از بندر نوشهر است. همچنین با توجه به شکل۱۶ مشاهده می‌کنیم که در محدوده جنوب‌غربی بندر، خم‌های هم‌شتاب به یکدیگر نزدیک هستند. مطابق با نقشه پهنه-بندی خطر لرزه‌ای در ایران البرز مرکزی در منطقه خطر لرزه‌ای بالا قرار دارد (Tavakoli and Ghafory-Ashtiany, 1999; BRCH,2008; Hamzehloo et al., 2012; Moinfar et al., 2012). نتایج به دست آمده در این مطالعه هم-خوانی خوبی با دیگر مطالعات انجام شده را نشان می‌دهد. در مطالعات اخیر موسوی بفروئی و همکاران (۱۳۹۴) پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در ایران و برآورد مقادیر بیشینه شتاب برای مراکز استان‌ها صورت گرفته است. آن‌ها بیشینه شتاب در گستره مورد مطالعه را بین ۰/۴g-۰/۶g تخمین زده‌اند که مطالعه اخیر نتایج آن‌ها را تائید می‌کند در روش قطعی چشمه‌ها به‌صورت مجزا در نظر گرفته می‌شوند بنابر این زمانی که بیشینه شتاب یک چشمه به‌عنوان شتاب ساختگاه در نظر گرفته شد، شتاب سایر چشمه‌ها در برآورد خطر قطعی درنظر گرفته نمی‌شوند. روش‌های نوین محاسباتی، امکان ارزیابی پارامترهای لرزه‌خیزی برای داده‌های ناکامل و دارای عدم‌قطعیت را فراهم می‌کند. سیستم فازی پیشنهادی با توجه به اینکه عدم‌قطعیت‌ها را برای پارامترها در نظرمی‌گیرد دقیق‌تر است و این که در سیستم استنتاج فازی محاسبات ریاضی برآورد خطرکمترشده و سیستم فازی باعث ساده‌سازی فرآیند برآورد خطر می‌شود. بعلاوه انعطاف‌پذیری سیستم استنتاج فازی براساس دانش فرد خبره برای حل مسائل پیچیده‌ی چون برآورد خطر لرزه‌ای و ساده‌سازی پردازش تحلیل خطر قطعی با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت‌ها، با بهبود قطعیت می‌تواند به زلزله‌شناسان کمک کند. لذا نتایج ما از اعتبار خوبی برخوردار است و سیستم فازی طراحی شده با قوانین فردخبره یک رفتارصحیحی برای برآوردخطر زمین‌لرزه را دارا می‌باشد.

نتیجه‌گیری

تحلیل خطر زمین‌لرزه روشی جهت بدست آوردن تخمینی از زلزله‌های آینده است. در این مطالعه پهنه‌بندی زمین-لرزه‌ای بندر نوشهر و نواحی اطراف به روش تعینی مرسوم و با استفاده از سیستم فازی انجام گرفت. مجموعاً ۱۶ چشمه بالقوه زمین‌لرزه در گستره مورد مطالعه بر اساس داده‌های زمین شناختی، زمین‌ساختی، ژئوفیزیکی و زمین-لرزه‌ای تعیین شده است. در برآورد خطر لرزه‌ای به روش قطعی مرسوم، حداقل شتاب مورد انتظار در منطقه۰/۰۸g و حداکثر۰/۵۲g بدست آمد. نتایج بدست آمده (شکل ۱۴) نشانگر آن است که گستره مورد مطالعه دارای مناطقی با خطر پایین، متوسط و بالا می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از برآورد خطر لرزه‌ای به روش قطعی با استفاده از منطق فازی نشان می‌دهد که تغییرات بیشینه شتاب افقی زمین در البرز مرکزی نسبت به ساختگاه بندر نوشهر در بازه ۰/۰۱g تا ۰/۵۵g قرار دارد. با توجه به شکل ۱۵ مشاهده می‌کنیم که تغییرات بیشینه شتاب افقی با تغییرات فاصله و بیشینه بزرگا نسبت به هم با آنچه انتظار می‌رود هم‌خوانی دارد.

تقدیر و تشکر

برخود لازم می‌دانیم که آقای دکتر میرزایی عضو هیئت علمی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و دکتر موسوی بفرویی به جهت در اختیار قرار دادن مشخصات چشمه‌های لرزه‌ای قدردانی به عمل آوریم.

منابع

بوستان الهامِ؛ شفیعی علی (۱۳۹۰). برآورد خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی-فازی برای منطقه تهران، فصلنامه زمین، سال ششم، شماره بیستم، صص۴۵-۵۲.

تشنه‌لب محمد؛ افیونی داریوش؛ صفارپور نیما (۱۳۹۵). سیستم‌های فازی و کنترل فازی، انتشارات: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، نوبت چاپ: ۱۱، ص۵۲۶.

خسروی، آیدین (۱۳۹۰). مدلسازی و پهنه‌بندی خطر زلزله با استفاده از منطق فازی. پایان‌نامه. دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی (استاد راهنما: ذوالفقاری، محمدرضا).

قدرتی امیری غلامرضا؛ اثمری سعدآباد سهیل؛ زارع حسین‌زاده علی (۱۳۹۲). تحلیل ریسک زلزله با استفاده از سیستم استنتاج‌گر فازی و کاربرد آن در مطالعات به‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، مجله علمی-پژوهشی عمران مدرس، سال ۱۳، شماره ۴، صص۷۱ -۸۴.

موسوی-بفرویی سیدحسن؛ میرزائی نوربخش؛ شعبانی الهام؛ اسکندری قادی مرتضی (۱۳۹۳). پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در ایران و برآورد مقادیر بیشینه شتاب برای مراکز استانها، مجله فیزیک زمین و فضا، سال۴۰، شماره۴، صص ۳۸-۱۵.

وجودی مهدی؛ زارع مهدی؛ نورزاد اسدالله (۱۳۸۵). مدل استنتاج فازی برای تحلیل خطر زلزله، دومین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه طبیعی، تهران.

Ambraseys, NN. Douglas, J. Sarma, SK. Smith, PM., (2005). "Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration", Bull. Earthq. Eng., 3, 1-53.

Ambraseys, NN. & Melville, CP., (1982). "A History of Persian Earthquakes", Cambridge University Press, 0521021871.

Berberian, M. & Yeats, RS., (2001). "Contribution of archeological data to studies of earthquake history in the Iranian Plateau", Journal of Structural Geology, 23, 563-584.

Berberian, M. and Yeats, RS., (1999)."Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau", Bulletin of seismological America, 89 (1), 120-139.

Berberian, M., (1983)."The southern Caspian: A compressional depression floored by a trapped, modified oceanic crust". Can. J. Earth Sci., 20, 163– 183.

Berberian, M. Qorashi, M. Jackson, JA. Priestley, K. and Wallace, T., (1992)."The Rudbar–Tarom earthquake of 20 June 1990 in NW Persia: preliminary field and seismological observations, and its tectonic significance", Bull. Seism. Soc. Am., 82, 1726–1755.

Boostan, E. Tahernia, N. Shafiee, A., (2015). "Fuzzy-probabilistic seismic hazard assessment case study: Tehran region", Iran, Springer Science+Business Media Dordrecht, 77, 525-541.

Boostan, E. Mirzaei, N. Eskandari Ghadi, M. and Shafiee, A., (2011). "Seismic zoning of Tehran Region using fuzzy sets", J. earth and Space Physics, 38 (2), 29-44.

Building research center housing., (2800) Regulations designed buildings against standard earthquake.

Chen, D. Dong, W. Shah, HC., (1988)."Earthquake recurrence relationships from fuzzy earthquake magnitudes", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 7, 136-142.

Chongfu, H., (1996). "Fuzzy risk assessment of urban natural hazards, Fuzzy Sets, and Systems", 83, 271-282.

Deyi, F. Ichikawa, M., (1989). "Quantitative estimation of time-variable earthquake hazard by using fuzzy set theory", Tectonophysics, 169, 175-196.

Djamour, Y. Vernant, P. Bayer, R. Hatam, Y. Ritz, JF. Hinderer, J. Luck, B. Nankali, H. Le, Moigne, N. and Sedighi, M., (2010). "Geodetic signatures of present-day tectonic deformation in central Alborz and Tehran region (Iran)", Geophys. J. Int., 183, 1287–1301, doi:10.1111/j.1365- 246X.2010.04811.x.

Frangpol, M. Ikejima, K. Hong, K., (1988). "Seismic Hazard Prediction Using A Probabilistic-Fuzzy Approach", Structural Safety, 5, 109-117.

Green, A. Hell, J., (1994). "In An Overview of Selected Seismic Hazard Analysis Methodologies", Civil Engineering studies, Structural Research Series, 592.

Hamzehloo, H. Alikhanzadeh, A. Rahmani, M. Ansari A., (2012)." Seismic hazard maps of Iran", In Proceedings of the 15th world conference on earthquake engineering, Lisbon, Portugal.

Karimiparidari, S. Zare, M. Memarian, H. Kijko, A., (2013)." Iranian Earthquakes; A Uniformed Catalog with Moment Magnitude", Journal of Seismology, 17, 897-911.

Kim, Y. Hurlebus, S. Langari, R., (2010). "Model-Based Multi-input, Multi-output SupervisorySemi-active Nonlinear Fuzzy Controller". J Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 25, 387-393.

Lamarre, M. Dong, W., (1986)."Evaluation of seismic hazard with fuzzy algorithm". In: 3rd U.S. national Conference on earthquake engineering, Charleston, South Carolina. 221-231.

Masson, F. Anvari, M. Djamour, Y. Walpersdorf, A. Tavakoli, F. Daigni`eres, M. Nankali, H. and Van Gorp, S. (2007)., "Large-scale velocity field and strain tensor in Iran inferred from GPS measurements: new insight for the present-day deformation pattern within NE Iran". FASTTRACK PAPER, Geophys. J. Int., GJI Tectonics, and geodynamics, 170, 436–440 doi: 10.1111/j.1365-246X.2007.03477.x.

Mirzaei, N. Gao, M. and Chen YT., (1998). "Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: major seismotectonic provinces", J. Earthq. Pred. Res, 7, 465-495.

Moinfar, AA. Naderzadeh, A. Nabav.I, MH., (2012)."New Iranian Seismic Hazard Zoning Map for New Edition of Seismic Code and Its Compersion with Neighbor Countries," In Proceedings of the 15th world conference on earthquake engineering, Lisbon, Portugal.

Reiter, L., (1990)." Earthquake Hazard, Analysis". Colombia University Press, New York, 254.

Tavakoli, B. Ghafory-Ashtiany, M., (1999)." Seismic hazard assessment of Iran", J Annali DiGeofisica, 42, 1013-1022.

Trifonov, VG. Hessami, KT., and Jamali, F., (1996). "West-Trending Oblique Sinitral–Reverse Fault system in Northern Iran". IIEES Special Pub., 75. Tehran, Iran.

Evaluation of Deterministic seismic hazard in Nowshahr Port by using the fuzzy system

Farshad Alizadeh[1], Narges Afsari*[2], Fataneh Taghizadeh-Farahmand[3]

Received: 03-09-2017 Accepted: 02-06-2018

Abstract

The purpose of the seismic hazard analysis is to predict the extent of the strong ground movements over a certain period of time on a specific site. There are uncertainties in all the inputs of the risk analysis, each of which expresses a property. As a result, recognizing uncertainties and how they are considered by different risk analysis methods can indicate the reliability of those methods in seismic hazard assessment. Fuzzy logic is a suitable tool that is used as a decision-making method for solving problems and modeling uncertainties and ambiguities. Nowshahr Port is located in the Alborz seismic province which is one of the seismic regions in Iran. In this study, a seismic hazard estimate for a range of 200 km radius from Nowshahr port was carried out at a latitude position of 34-38 degree north latitude and 49- 54 degree east longitude. For this purpose, 16 potential seismic sources have been used in the studied area. First, seismic hazard estimation was done by the Conventional deterministic method and then using fuzzy logic. According to the results obtained in the conventional deterministic method, Peak Ground Acceleration values estimated from Conventional deterministic method 0.52g and 0.55g application fuzzy Logic System.

Keywords: Seismic hazard, Deterministic, Fuzzy Logic, PGA, Nowshahr.

[1]- MSc., Civil engineering Department, Nowshahr Branch, Islamic Azad University, Nowshahr, Iran
[2]*- Assistant Professor, Civil engineering Department, Nowshahr Branch, Islamic Azad University, Nowshahr, Iran
Email: ng_afsari@iauns.ac.ir
[3]- Associate Professor, Physics Department, Qom Branch, Islamic Azad University, Qom, Iran