

## تعریف پهنه‌بندی لرزه‌ای جدید برای منطقه ایران جهت استفاده در مدل زمان و بزرگای قابل پیش‌بینی

رسول میرزائی خاکی

کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
rasoulmirzaee@ut.ac.ir

حمید زعفرانی

استادیار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله، تهران، ایران  
h.zafarani@iiees.ac.ir

یعقوب قلی پور

استاد، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
ygholipour@ut.ac.ir

کلید واژه‌ها: پهنه بندی لرزه‌ای، مدل زمان و بزرگای قابل پیش‌بینی، لرزه زمین ساخت، ژئومورفولوژی، ایران

### چکیده

یکی از مدل‌های مورد استفاده در پیش‌بینی احتمالی زمان و بزرگای زلزله آینده، مدل زمان و بزرگای قابل پیش‌بینی پیش‌بینی پشینهادی پاپازخوس و همکاران است، که در بسیاری از مناطق لرزه‌خیز دنیا مورد استفاده بوده است. این مدل با استفاده از داده‌های زلزله رخ داده در یک پهنه لرزه‌زاه، زمان و بزرگای زلزله محتمل بعدی را تخمین می‌زند. پهنه لرزه‌زاه قسمت‌های نسبتاً کوچکی از پوسته زمین است که شامل مناطق گسیختگی (گسل‌ها) ناشی از زلزله‌های بزرگ در این قسمت از پوسته و همچنین گسل‌های ثانویه ناشی از زلزله‌های اصلی کوچک، می‌باشد. مناطق یا پهنه‌های لرزه‌ای برمبنای معیار شباهت رژیم‌های تکتونیکی هر منطقه تعریف می‌شود. همچنین خاصیت مشخصه یک منطقه لرزه‌زاه تعامل میان گسل‌های آن در طی تحریک‌های مهم لرزه‌ای (توزیع مجدد تنش و غیره) است.

تفکیک یک ناحیه لرزه‌زاه بر اساس معیارهای لرزه زمین ساخت و ژئومورفولوژی معین انجام می‌شود که این معیارها عبارتند از خوشه بندی مکانی لرزه خیزی، تغییرات توپوگرافی، ابعاد مناطق گسیختگی زمین لرزه‌های بزرگ ( آثار گسل‌های سطحی، توزیع حجم پس لرزه از رویدادهای اخیر و نقاط کانونی زمین لرزه‌های تاریخی که به خوبی ثبت شده‌اند) و شواهد برای فعل و انفعال (برهم کنش) بین رخداد‌های لرزه‌ای.

در این مطالعه، منطقه ایران برمبنای موارد ذکر شده در فوق و با استفاده از استان‌های لرزه زمین ساخت معرفی شده توسط نوروزی (۱۹۷۹) و توکلی (۱۹۹۶) و همچنین پهنه بندی لرزه‌ای معرفی شده توسط کاراکایسیس (۱۹۹۴) و پاپازخوس و همکاران (۱۹۹۷)، به ۳۰ منطقه منبع زلزله تقسیم شده است.

### مقدمه

زلزله معمولاً بدون هشدار و مشخص شدن به واسطه اثرات مستقیم و غیرمستقیم متعدد، بر خلاف خطرات طبیعی دیگر که سریع رخ می‌دهند، به وقوع می‌پیوندد. زلزله‌ها از جهت خسارت وارده در یک زمان بسیار کوتاه مخرب‌تر از هر فاجعه طبیعی دیگر می‌باشند. بنابراین به دلیل مشکلات شدید و خسارات عظیم ناشی از وقوع زلزله، مطالعه در خصوص پیش‌بینی زلزله امری ضروری جهت حفظ زندگی انسان‌ها محسوب

می‌شود. از مطالعات پیش‌بینی زلزله، ارائه مدل‌های قابل پیش‌بینی وابسته به زمان می‌باشد. عمدتاً دو نوع مدل وابسته به زمان را بر اساس رابطه بین مقدار لغزش یک زلزله و زمان رخداد زلزله بزرگ بعدی می‌توان در نظر گرفت: مدل پیش‌بینی لغزش و مدل پیش‌بینی زمان. اما با توجه به اینکه برای استفاده از این مدل‌ها احتیاج به پیش‌نیازهایی است که یکی از این موارد مهم پهنه‌بندی لرزه‌ای دقیق منطقه مورد مطالعه می‌باشد، پهنه‌بندی دقیق منجر به بهبود نتایج حاصل از کاربرد مدل زمان و بزرگای قابل پیش‌بینی منطقه‌ای خواهد شد (Papazachos et al. 1997). این مدل پیش از این توسط (Karakaisi (1994 و بعد از او بوسیله (Papazachos et al. (1997، در فلات ایران نیز بکار رفته است. گذشت مدت زمان بیست سال از این مطالعات و وقوع زلزله‌های جدید و متعدد لزوم بازنگری در این مدل و کالیبراسیون مجدد آنرا ضروری ساخته است. در اینجا به عنوان یک گام اساسی در این راه، سعی شده که مدل پهنه‌بندی پیشنهادی این دو مطالعه بروز شود.

## لرزه‌زمین‌ساخت ایران

ایران یکی از مناطق زلزله‌خیز در جهان محسوب می‌شود. با این حال، توزیع مکانی و بزرگای زلزله در مناطق مختلف فلات ایران مشابه نیست. ایران یک قطعه پوسته‌ای واحد به نظر نمی‌رسد و تصور می‌شود که میان سه کمربند فعال زاگرس، کوپه‌داگ-البرز-تالش و ایران مرکزی و حوضه دشت لوت متمرکز شده است. در ایران، بدلیل وجود مناطق لرزه‌زا بسیار، زلزله‌های مخرب هر چند سال رخ می‌دهد. بسیاری از زمین‌لرزه‌های مخرب در قرن گذشته تاییدی بر لرزه‌خیزی بالا ایران می‌باشد: سیلاخور ( $M_w = 7.4$ , 1909)، کوپه‌داگ ( $M_w = 7.3$ , 1909)، سلماس ( $M_w = 7.4$ , 1903)، مازندران ( $M_w = 7.4$ , 1957)، بوئین‌زهرا ( $M_w = 7.2$ , 1962)، دشت بیاض ( $M_w = 7.4$ , 1968)، فارس ( $M_w = 7.2$ , 1972)، طبس ( $M_w = 7.7$ , 1978)، کرمان ( $M_w = 7.3$ , 1981)، رودبار-منجیل ( $M_w = 7.2$ , 1990)، بیرجند-قائن ( $M_w = 7.3$ , 1997). با توجه به فعالیت‌های لرزه‌ای ایران و اثرات زلزله بر زندگی انسان‌ها و اقتصاد ملی، توجه به خطر زلزله در منطقه لرزه‌ای ایران معقول به نظر می‌رسد.

مشخص شده است که ترکیبی از داده‌های لرزه‌نگاری و زمین‌ساختی، درک بهتری از فرآیندهای پیچیده حاکم بر منشاء زمین‌لرزه در طول دوره‌های طولانی و در واحد ساختاری زمین‌شناسی مختلف ارائه می‌دهد. در بسیاری از مناطق، حتی در مناطق بسیار لرزه‌خیز جهان، اطلاعات کافی جهت تعیین پتانسیل وقوع زلزله در مناطق لرزه‌ای با درجه کافی از قابلیت اطمینان وجود ندارد. اگرچه در طول دهه‌های گذشته تلاش‌های قابل توجهی توسط (Nowroozi (1971, 1972 و (McKenzi (1972 و (Berberian (1976a, 1977a, 1981, 1983, 1995) Jackson (1980a, b), (Jackson and McKenzie (1984, 1988), (Ni and Barazangi (1986), (Byrne et al. (1992), (Baker et al. (1993), (Priestley et al. (1994) and (Jackson et al. (1995) انجام شده است، اما دانش در مورد ساختار تولید زلزله هنوز برای تعیین جزئیات منابع لرزه‌ای نا کافی می‌باشد. واضح است، داده‌های زلزله در دسترس نمی‌تواند به طور کامل فعالیت لرزه‌ای در ایران را بیان کند و عدم وجود هرگونه اطلاعات اضافی موجب می‌شود که تعیین پتانسیل مناطق لرزه‌ای با یک درجه بالایی از قابلیت اعتماد انجام نگیرد.

یک استان لرزه زمین‌ساخت، مرز ناحیه‌ای است که ویژگی‌های زمین‌شناسی و لرزه‌ای متفاوتی با استان‌های هم‌جوار خود دارا می‌باشد؛ هر استان لرزه زمین‌ساخت دارای پتانسیل لرزه‌ای برابر و اغلب دارای وحدت در ساختار زمین‌شناسی و نوع لغزش می‌باشند. مرزهای استان لرزه زمین‌ساخت از طریق تجزیه و تحلیل زلزله‌های تاریخی، تغییر مکان مراکز زلزله برای چند دهه گذشته، محیط‌های زمین‌ساختی، گسل‌های فعال، ژئومورفولوژی منطقه‌ای تعیین می‌شود. (Nowroozi, 1972) در تعیین محدوده هر منطقه، اطلاعات مربوط به فرکانس وقوع و بزرگی زلزله هم استفاده می‌شود.

(Stocklin (1968 ایران را به ۹ منطقه با تکتونیک لرزه‌ای متفاوت تقسیم کرد که عبارتند از: جلگه شط العرب، کمربند چین‌خوردگی زاگرس، منطقه راندگی زاگرس، سنج-سیرجان، ایران مرکز، رشته کوه البرز، کوپه‌داگ، دشت لوت و منطقه شرق ایران و مکران. همچنین (Takin (1972 ایران را به چهار منطقه ساده تقسیم نمود. (Nowroozi (1972 با استفاده از مفهوم تکتونیک صفحات منطقه ایران را به چندین استان لرزه زمین‌ساختی تقسیم نموده است. (Nowroozi (1976 با استفاده از داده‌هایی از جمله نقشه‌های زمین‌شناسی از شرکت ملی نفت ایران،



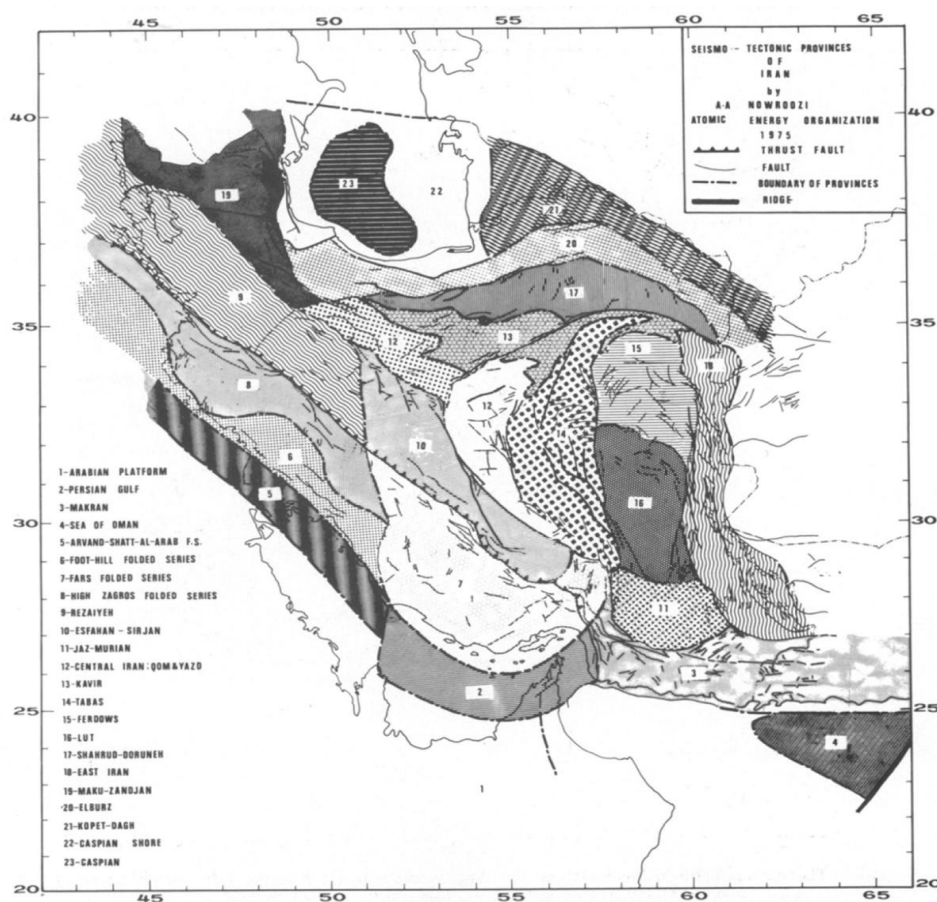
نقشه‌های تکتونیکی ایران، جابجایی مراکز زلزله از سال ۱۹۲۰-۱۹۷۲، فیزیوگرافی منطقه‌ای و توزیع گنبد‌های نمک و گسل‌های فعال، منطقه ایران را به ۲۳ استان لرزه زمین ساخت تقسیم نموده است. (شکل ۱). (Tavakoli (1996) منطقه ایران را به ۲۰ استان لرزه زمین ساختی (seismotectonic) تقسیم نموده است. (شکل ۲).

در تحقیق حاضر، تلفیقی از استان‌های تکتونیک لرزه‌ای پیشنهاد شده توسط (Nowroozi (1976) و (Tavakoli (1996) برای تفکیک اولیه در نظر گرفته شده است.

## گسل‌های اصلی و ساختار لرزه‌ای

شکل ۳ نشان دهنده گسل‌های اصلی فعال شناخته شده در ایران می‌باشد. جهت‌های حرکت برای این گسل‌ها از اهمیت زیادی برای تفسیر تکتونیک منطقه‌ای ایران برخوردار هستند؛ در حال حاضر برخی از حرکت‌ها برای گسل‌ها، یا از جابجایی ناشی از زمین لرزه‌های اخیر یا از جابجایی کانال‌های جریان که در عکس‌های هوایی مشاهده شده است، شناخته شده‌اند.

پس از زلزله دشت بیاض (۱۹۶۸) ۴.۵ متر جابجایی چپگرد جانبی مشاهده شده است. (Niazi, 1969). مطالعه عکس‌های هوایی نشان داد که گسل‌های شاهرود و درونه، چپگرد جانبی و احتمالاً گسل زاگرس راستگرد جانبی می‌باشد. (Wellman, 1966). اما در نقشه‌های تکتونیک ارائه شده برای ایران، گسل زاگرس، یک گسل راندگی معرفی شده است. (Tchalenko and Braud (1974) بیان نمودند که بخشی از گسل زاگرس در طول زلزله ۱۹۰۹ دارای جابجایی راستگرد جانبی بوده است. جهت‌های حرکت برخی از گسل‌های شرق ایران توسط (Ashjai et al. (1975 تعیین شده است.

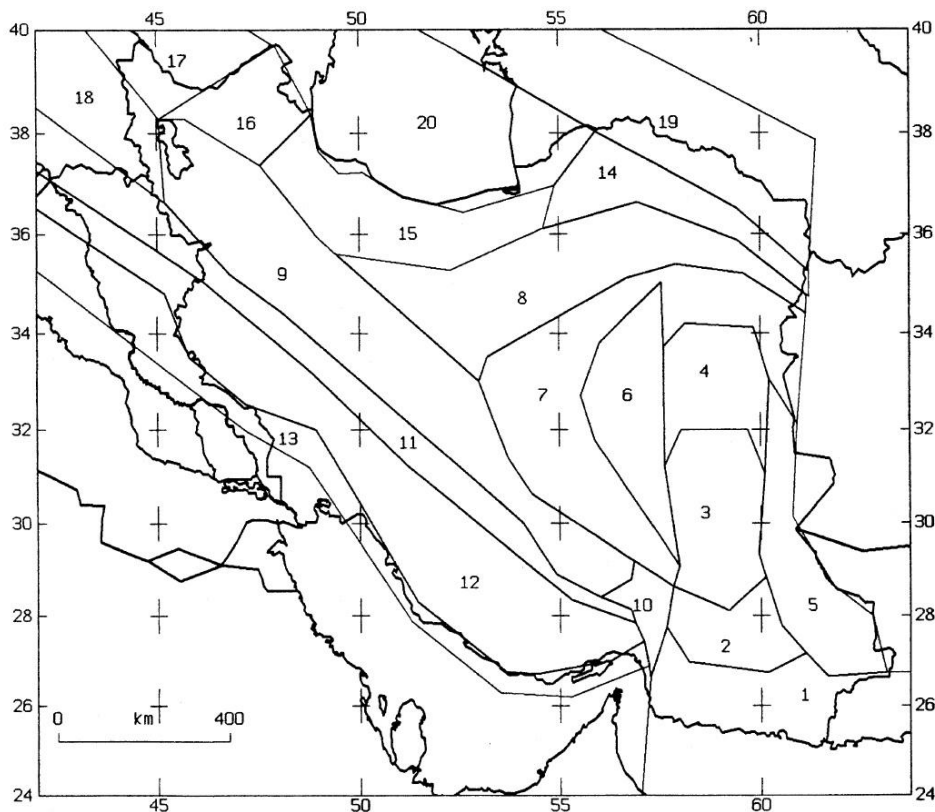


شکل ۱: استان‌های لرزه زمین ساخت معرفی شده توسط نوروزی. (Nowroozi, 1976)

مشاهده شده است که گسل‌های منطقه البرز عمدتاً از نوع راندگی می‌باشد، ولی در شرق این منطقه جابجایی به صورت امتداد لغز مشاهده شده است. در مناطق جنوبی دریای خزر که رشته کوه‌های البرز را نیز شامل می‌شود زلزله‌ها بصورت سطحی با عمق متوسط  $8 \pm 20$  کیلومتر می‌باشد. همچنین تحقیقات زمین‌شناسی نشان داده است که عمق پوسته در منطقه البرز مرکزی تقریباً ۳۵ کیلومتر است. در قسمت غربی حوزه دریای خزر که شامل منطقه تالش می‌شود زلزله‌ها با عمق تقریبی ۳۰ کیلومتر و با کمترین زاویه راندگی رخ می‌دهد. (Engdahl et al. 2006)

در منطقه شرقی ایران مشاهدات تاریخی و دستگامی حاکی از این است که این منطقه دارای زلزله‌هایی با شدت زیاد و گسیختگی‌های سطحی است. که اکثر زلزله‌ها دارای عمق کمتر از ۲۰ کیلومتر می‌باشند. (تقریباً دارای عمق متوسط  $5 \pm 12$  کیلومتر). به عنوان مثال زلزله بم که در قسمت جنوب غربی صفحه لوت رخ داده بود، پس‌لرزه‌هایی با عمق ۸-۲۰ کیلومتر را به همراه داشت.

داده‌های لرزه‌ای حاکی از این است که چین‌خوردگی راندگی زاگرس دارای فعالیت لرزه‌ای زیادی بوده که اکثر آنها دارای بزرگای کمتر از ۷ ( $M_w \leq 7$ ) می‌باشند و زمین لرزه‌های کوچک در سراسر این منطقه رخ می‌دهد این در حالی است که منطقه مرکزی و شرقی ایران دارای فعالیت لرزه‌ای کمی می‌باشند. (Tavakoli and Ghafory-Ashtiany, 1999).



شکل ۲: استان‌های لرزه زمین ساخت معرفی شده توسط توکلی. (Tavakoli and Ghafory-Ashtiany, 1999)

خط عمان (Oman line) از زلزله‌های سطحی در منطقه زاگرس به سمت زلزله‌های عمیق مکران کشیده شده است. خط عمان یک اصطلاح زمین‌شناسی است، جایی که گسل‌ها و چین‌خوردگی‌های زاگرس خمیدگی چشمگیری برای ارتباط با منطقه مکران پیدا می‌کند. این قسمت زلزله‌ها با عمق کمتر از ۳۰ کیلومتر و هم زلزله‌ها با عمق بیش از ۴۰ کیلومتر را شامل می‌شود.

منطقه مکران دارای زلزله‌هایی می‌باشد که هم در عمق‌های فوقانی پوسته و هم اعماق بیش از ۴۰ کیلومتر را در بر می‌گیرد و یک عمق متوسط  $19 \pm 25$  کیلومتر را می‌توان برای این منطقه در نظر گرفت (لازم به ذکر است که در این منطقه زلزله با عمق بیش از ۶۰ کیلومتر نیز



وجود دارد). علت وقوع زلزله‌های منطقه مکران را می‌توان فرورانش صفحه اقیانوس هند زیر صفحات تقریباً ثابت لوت و افغانستان دانست. (Engdahl et al. 2006)

### حذف حوادث وابسته از کاتالوگ و پیشنهاد پهنه‌بندی جدید

کاتالوگ اصلی حاوی کلیه اطلاعات شامل زلزله‌های اصلی و پس‌لرزه‌ها می‌باشد. اما برای تحلیل خطر زلزله به روش احتمالاتی برای یک منطقه نیاز به داده‌های مستقل و یا به عبارتی نیاز به زلزله‌های اصلی می‌باشد. بنابراین ما باید با استفاده از روش‌های مناسب داده‌های وابسته را از کاتالوگ مورد نظر حذف نماییم. یکی از این روش‌ها، روش پنجره‌های زمانی و مکانی (Gardner-Knopoff (1974 است؛ این روش در واقع یک روش عددی بر پایه عملیات دستی می‌باشد. در عملیات دستی که معمولاً در مورد حوادث بزرگ اعمال می‌گردد، فرد آنالیز کننده با بررسی دسته دسته بزرگ و حوادث نزدیک به آن از حیث زمانی و مکانی اقدام به حذف پس‌لرزه‌ها و پیش‌لرزه‌ها می‌کند. (Gardner and Knopoff (1974. با بررسی حوادث و کاتالوگ لرزه‌ای کالیفرنیا آمریکا، با روش دستی اقدام به حذف پس‌لرزه‌ها نمود، سپس با استفاده از داده‌ها دسته‌بندی شده اقدام به برازش منحنی نمود. بر این اساس می‌توان یک پنجره زمانی-مکانی مناسب انتخاب کرد که بر اساس بزرگ‌ترین تغییر می‌باشد. بزرگترین حادثه در این پنجره زمانی-مکانی به عنوان حادثه اصلی انتخاب می‌گردد و سایر حوادث حذف می‌شوند.

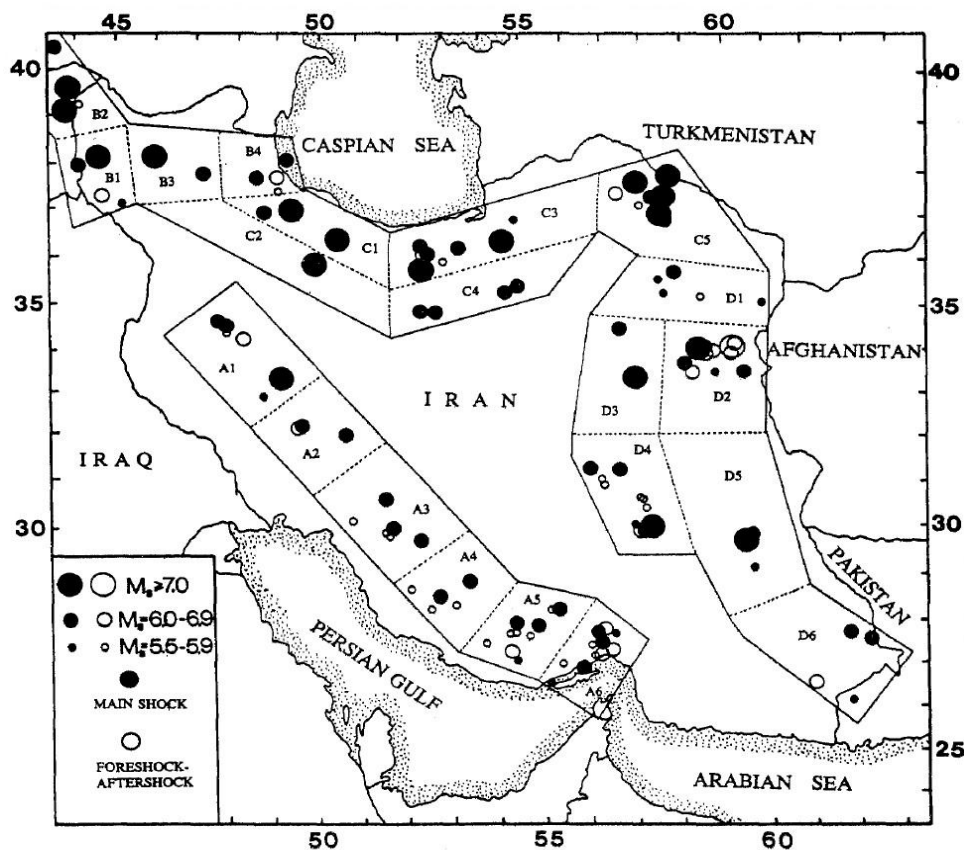


شکل ۳: گسل‌های فعال ایران

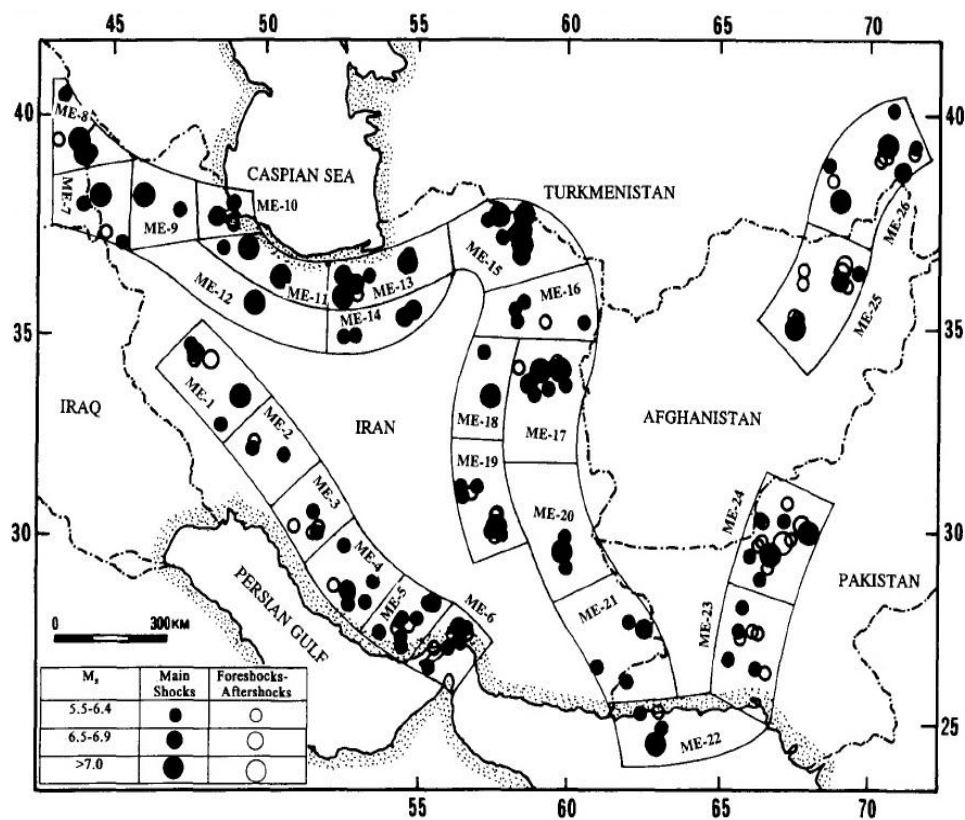
در تحقیق حاضر برای زلزله‌های تاریخی از کاتالوگ جمع‌آوری شده (Berberian (1995) و برای زلزله‌های دستگاهی تا ۲۰۱۲/۳/۲۶ از کاتالوگ پیشنهادی (Shahvar et al. (2013) و تا ۲۰۱۴/۷/۳۰ از زلزله‌های ثبت شده در شبکه شتابنگاری ایران وابسته به موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، استفاده شده است. با استفاده از جعبه ابزار Zmap در متلب به حذف حوادث وابسته از کاتالوگ در دسترس پرداختیم. سپس با استفاده از نرم افزار QGIS کاتالوگ اولیه و کاتالوگ اصلاح شده را بر روی منطقه ایران قرار داده و مرزهای مناطق لرزه‌ای طوری انتخاب شدند که حوادث وابسته مکانی و زمانی در یک منطقه لرزه‌ای قرار گیرند.

(Karakaisi (1994، براساس استان‌های لرزه زمین‌ساختی پیشنهاد شده توسط (Ambraseys and Melville (1982 که ایران را به ۴ منطقه کلی تقسیم کرده بودند، پهنه‌بندی لرزه‌ای برای منطقه ایران پیشنهاد داده است که طبق آن ایران به ۲۱ منطقه منبع زلزله تقسیم شده است. (شکل ۴)

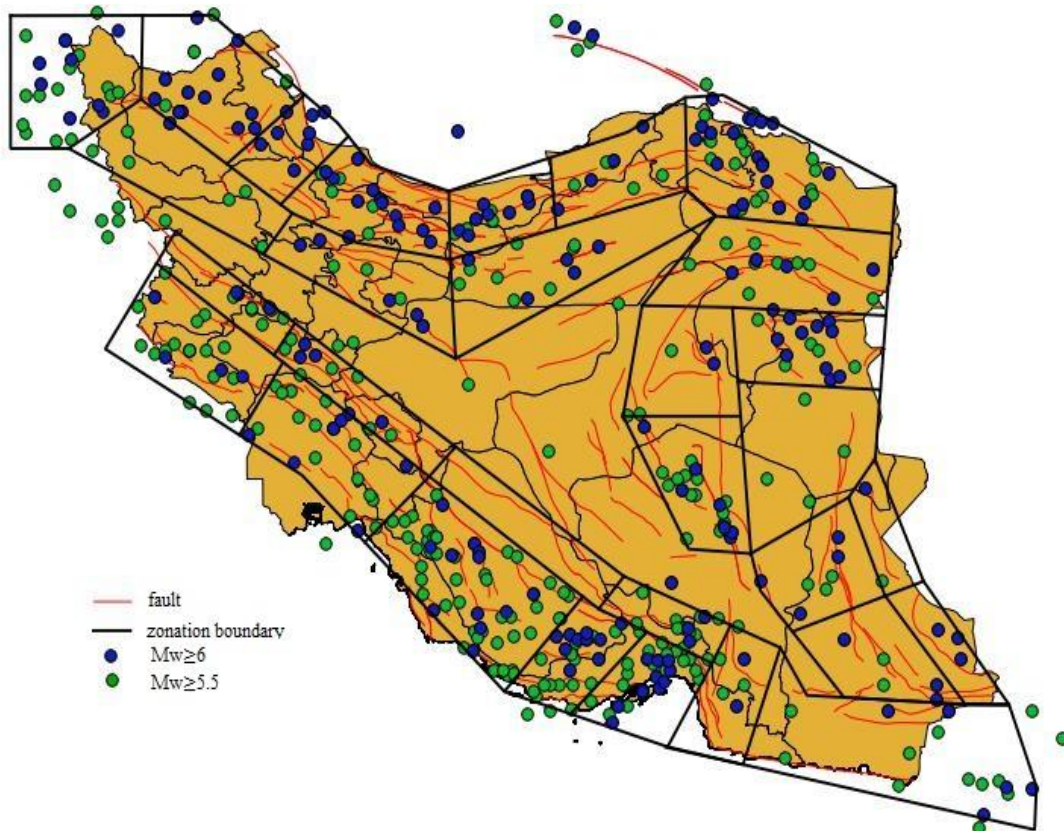
(Papazachos et al. (1997 نیز پهنه‌بندی لرزه‌ای برای منطقه خاور میانه پیشنهاد نموده‌اند که منطقه ایران را نیز در بر می‌گیرد که طبق این تقسیم‌بندی که شباهت بسیاری به پهنه‌بندی ارائه شده توسط (Karakaisi (1994 دارد، ایران به ۲۱ منطقه منبع تقسیم شده است. (شکل ۵)



شکل ۴: پهنه‌بندی لرزه‌ای پیشنهاد شده توسط کاراکایسیس. (Karakaisi, 1994)



شکل ۵: پهنه بندی لرزه‌ای ارائه شده توسط پاپازخوس و همکاران. (Papazachos et al. 1997)



شکل ۶: پهنه بندی لرزه‌ای پیشنهادی در تحقیق حاضر



## بحث و نتیجه گیری

شکل ۶ مرزهای پهنه‌بندی پیشنهاد شده در مطالعه حاضر را همراه با گسل‌های فعال و زلزله‌های اصلی بزرگتر از ۶ و ۵.۵ نشان می‌دهد. مطالعه حاضر با استفاده از استان‌های لرزه‌زمین‌ساخت پیشنهاد شده توسط نوروزی (۱۹۷۶) و توکلی (۱۹۹۶) و دقت به توزیع مکانی زلزله‌های تاریخی و دستگاهی، انجام شده است. سعی شده است که مرزهای مناطق لرزه‌ای طوری تعیین شود که زلزله اصلی و زلزله‌های وابسته به آن در یک منطقه قرار گیرند. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود قسمت شرقی ایران شباهت بسیاری به پهنه‌بندی لرزه‌ای انجام شده توسط کاراکایسیس (۱۹۹۴، شکل ۴) و پاپازخوس و همکاران (۱۹۹۷، شکل ۵) دارد و میتوان علت آن را فعالیت لرزه‌ای کم در این منطقه دانست. در مناطقی که فعالیت‌های لرزه‌ای بیشتری داشته‌اند؛ به علت افزایش اطلاعات لرزه‌ای، سعی شده مرزهای مناطق طوری تعیین شوند که فعالیت‌های جدید را نیز پوشش دهد. در پهنه‌بندی کاراکایسیس (۱۹۹۴) و پاپازخوس و همکاران (۱۹۹۷)، منطقه مکران و خط عمان کاملاً تحت پوشش قرار نگرفته است. همچنین با افزایش اطلاعات لرزه‌ای در منطقه زاگرس از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۴، در پهنه‌بندی این منطقه نیز باید تغییراتی اعمال می‌گردید. در این مطالعه تغییرات لازم اعمال شده است. همچنین، سعی شده که قسمت‌های شمالی و جنوبی رشته کوه‌های البرز با استفاده از در نظر گرفتن توزیع مکانی زلزله‌ها، مطلوب‌ترین حالت پهنه‌بندی را داشته باشد. علاوه بر این، سعی شده که تعداد زلزله‌های حداقل لازم (برای تحلیل‌های آماری مدل زمان و بزرگای قابل پیش‌بینی) در هر منطقه موجود باشد تا بتوان با کاربرد این مدل، در ادامه تخمین مناسبی از پتانسیل لرزه‌خیزی آن منطقه بدست آورد.

## فهرست مراجع

- Akinci A, Galadini F, Pantosti D, Petersen M, Malagnini L and Perkins D (2009) Effect of Time Dependence on Probabilistic Seismic-Hazard Maps and Deaggregation for The Central Apennines, Italy, *Bull Seismol Soc Am*, 99: 585-610
- Berberian M (1981) Active Faulting and Tectonics of Iran, in Gupta HK and elany FMD ( Editors), Zagros-Hindu Kush-Himalay Gaeodynamic Evolution, *Am. Geophys, Union, Geodyn, Series 3*: 33-69
- Berberian M (1982) Aftershock tectonics of the 1978 Tabas-e-Golshan (Iran) earthquake sequence: a documented active 'thin- and thick-skinned tectonic' case, *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 68: 499-530
- Berberian M (1983a) Generalized Tectonic Map of Iran, in M. Berberian (Editor), Continental Deformation in the Iranian Plateau, Contribution to Seismotectonics of Iran, part IV, *Geol. Surv. Iran* 52: 625
- Berberian M (1983b) The Southern Caspian: A Compressional Depression Floored by a Trapped, Modified Oceanic Crust, *Canadian J. Earth Sci.* 20: 163-183
- Berberian M (1995) Master " Blind" Thrust Faults Hidden Under The Zagros Folds: Active Basement Tectonics and Surface Morphotectonics, *Tectonophysics*, 241: 193-224
- Boyd O, Zeng Y, Bufe C and Wesson R (2008) Toward a Time-Dependent Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Alaska. *Geophysical Monograph*, 179: 399-416
- Engdahl ER, Jackson JA, Myers SC, Bergman EA and Priestley K (2006) Relocation and Assessment of Seismicity in The Iran Region, *Geophys. J. Int.* 167: 761-778
- Gardner J and Knopoff L (1974) Is the Sequence of Earthquakes in Southern California, with Aftershocks Removed, Poissonian, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 64:1363-1367
- Jackson JA and McKenzi D (1984) Active Tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between Western Turkey and Pakistan, *Geophys. J. R. Astr. Soc. London* 77: 185-264





- Jackson JA and McKenzie D (1988) The Relationship between plate Motions and Seismic Moment Tensors, and the Rates of Active Deformation in The Mediterranean and Middle East, *Geophys. J.* 93: 45-73
- Jackson JA, Haines J and Holt W (1995) the Accommodation of Arabia-Eurasia Plate Convergence in Iran, *J. Geophys. Res.* 100: 15205-15219
- Karakaisi GE (1994) Long Term Earthquake Prediction in Iran Based on The Time and Magnitude Predictable Model. *Phys Earth Planet. Inter.*, 83: 129-145
- McKenzie DP (1972) Active Tectonics of The Mediterranean Region, *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 30: 109-158
- Nowroozi AA (1976) Seismotectonic Provinces of Iran, *Bull Seismol Soc Am*, 66: 1249-1276
- Papazachos BC, Papadimitriou EE, Karakaisi GF and Panagiotopoulos DG (1997) Long Term Prediction in The Circum-Pacific Convergent Belt. *Pure Appl. Geophys.*, 149: 173-217
- Petersen M, Cao T, Campbell K and Frankel A (2007) Time-Independent and Time-Dependent Seismic Hazard Assessment for The State of California: Uniform California Earthquake Rupture Forecast Model 1.0, *Seismological Research Letter*, 78: 99-109
- Qin Ch, Papadimitriou EE, Papazachos BC and Karakaisi GF (2001) Time-Dependent Seismicity in China, *Journal of Asian Earth Sciences*, 19: 97-128
- Shahvar MP, Zare M and Castellaro S (2013) A Unified Seismic Catalog for The Iranian Plateau (1900–2011), *Seismological Research Letters*. 84 233-249
- Tavakili B (1996) Major Seismotectonic Provinces of Iran, Unpublished Map, IIEES, international document
- Tavakoli B and Ghafory-Ashtiany M (1999) Seismic Hazard Assessment of Iran, *ANNALI DI GEOFISICA*, 42: 1013-1021
- Zafarani H and Ghafoori SMM (2013) Probabilistic Assessment of Strong Earthquake Recurrence in The Iranian Plateau, *Journal of Earthquake Engineering*, 17: 449-467