نشریه بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، شماره ۲، جلد ۱۹، تابستان ۱۳۸۷، صفحه ۸۸-۸۱
ویژه‌نامه مهندسی عمـــران

برآورد خطر زمینلرزه در استان مرکزی

محمدرضا حسین‌نژاد و حمیدرضا رمضی

چکیده: در این مقاله به برآورد خطر زمینلرزه در استان مرکزی پرداخته شده است. برای رسیدن به این هدف ابتدا زمینلرزه‌های مهمی که در گذشته در استان مرکزی و یا پیرامون آن روی داده اند مورد بررسی قرار گرفته و پیشینه شتاب ناشی از آن در این استان برآورده شده است. از سوی دیگر گسل‌های مهم استان و پیرامون آن شناسایی شده و زمینلرزه‌های منتسب به آنها شناسایی و با تلفیق داده‌های زمینلرزه‌ای و گسل‌ها نقشهٔ لرزه‌زمین ساختی استان با مقیاس ۱: ۲۵۰/۰۰۰ تهیه شده، سرانجام مدل ریاضی چشمه‌های لرزه زا تهیه شد. برای برآورد ویژگی‌های لرزه خیزی هر یک از چشمه‌های لرزه زا از تکنیک‌های متفاوتی استفاده شد که مهمترین آن تکنیک Time Normalization است. با این تکنیک می‌توان تا حد چشمگیری نبود داده‌های کوچک و متوسط را در دوره‌های طولانی برطرف نمود [۱]. پس از تعیین مدل ریاضی چشمه‌های لرزه‌زا و ویژگی‌های لرزه‌خیزی هر یک از چشمه ها و گزینش پیوندهای کاهیدگی مناسب، آنالیز خطر زمینلرزه برای شبکه نقاطی با فواصل ۰/۱ × ۰/۱ درجه انجام و نقشه‌های هم شتاب برای دوره‌های بازگشت مختلف تهیه شده است. بررسی نقشه‌های هم شتاب تهیه شده نشان می‌دهد که خطر نسبی زمینلرزه در بخش‌های مختلف استان متفاوت است. بگونه‌ای که بخش شمالی استان از دیدگاه زمینلرزه در پهنهٔ با خطر نسبی بالا قرار گرفته و بخش‌های مرکزی بویژه باختر شهر اراک به نسبت آرام‌تر از بقیهٔ مناطق استان است [۲].

کلید واژه‌ها: خطر زمینلرزه، لرزه زمین ساخت، مدل ریاضی چشمه‌های لرزه‌زا اراک، استان مرکزی، ایران

۱. مقدمه

برای برآورد خطر نسبی زمینلرزه در یک محل یا یک محدوده لازم است که موارد زیر بررسی، مطالعه، برآورد و یا محاسبه شوند.

- لرزه‌خیزی Seismicity
- لرزه زمین ساخت Seismotectonics
- پیوندهای کاهیدگی Attenuation Laws
- مدل ریاضی چشمه‌های لرزه‌زا Earthquake Sources Model
- گسل سطحی Surface refaulting
- اثرساختگاهی (محلی) Site (local effect)

موارد فوق در محدودهٔ استان مرکزی و پیرامون آن مورد بررسی قرار گرفت براساس بررسی‌ها، مدل سازی‌ها و داوری‌های مهندسی خطر زمینلرزه در سطح استان مرکزی و برای شبکه‌ای با فواصل ۰/۱ ×۰/۱ درجه برای دوره‌های بازگشت متفاوت برآورد و نتیجه به صورت نقشه‌های هم شتاب ارائه شده است.

۲. لرزه خیزی

با بررسی داده‌های در دسترس زمینلرزهایی که در گذشته در استان مرکزی و پیرامون آن روی داده است می توان نتیجه گرفت که مهمترین زمینلرزه روی داده در قرن بیستم در استان مرکزی زمینلرزه بیست وسوم ژانویه ۱۹۰۹ درود با بزرگی ۷/۴ ریشتر بوده است. مرکز این زمین لرزه در نزدیکی شهر درود و به فاصله ۹۶ کیلو متری اراک می‌باشد و پیشینه شتاب ناشی از آن حدود ۰/۱۴ g برآورد شده است [۲]. در ایران معمول است که برای بررسی لرزه‌خیزی، گستره‌هایی با شعاع‌های مختلف پیرامون ساختگاه در نظر گرفته می‌شود و براساس آن ویژگی‌های لرزه‌خیزی برای گستره‌های متفاوت برآورد می‌شود. این عمل بعنوان یک برآورد مقدماتی و برای استفاده و کنترل محاسبات در مراحل دیگر لازم است اما به تنهایی مسئله‌ای را حل نمی‌کند. گرچه در این مطالعه نیز رابطه بزرگی – فراوانی زمینلرزه‌ها و دوره بازگشت زمینلرزه‌ها با بزرگی‌های متفاوت برای گستره طرح تا شعاع ۲۵۰ کیلومتری برآورد شده است. ولی این برآورد تنها برای کنترل محاسبات در مراحل بعدی انجام شده است. مهم‌تر از برآورد این روابط برای گستره طرح، برآورد آنها برای هر یک از زون‌های لرزه زمینساختی است. در صورت نبود و یا کمبود داده‌ها (که معمولاً اینطور است) برآورد آنها با روش‌های معمول در بسیاری موارد با خطاهای زیاد همراه بوده حتی ممکن است گمراه کننده باشد.

برای رفع این مشکل ابتدا داده‌های زمینلرزه‌ای بکمک تکنیک Normlization Time نرمالایز شده، بازه‌های زمانی مناسب تعیین و سپس ویژگی‌های لرزه‌خیزی هر یک از زون‌های لرزه‌خیز برآورده شده است.

این مقاله در تاریخ ۸۴/۹/۱۰ دریافت و در تاریخ ۸۶/۸/۹ به تصویب نهایی رسیده است.

دکتر محمدرضا حسین‌نژاد، استادیار دانشگاه علم و صنعت ایران، hnejad@iust.ac.ir
دکتر حمیدرضا رمضی، دانشیار دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ramazi@aut.ac.ir

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]

۳. نرمالایز کردن داده‌های زمینلرزه‌ای

برای انجام بررسی‌های آماری زمینلرزه‌ها و از همه مهمتر در برآورد خطر زمینلرزه، داده‌های زمینلرزه‌ای در مورد زمینلرزه‌های روی داده در گذشته مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ایران بیشتر معمول است که زمینلرزه‌های سده بیستم میلادی به این منظور بکار گرفته شوند که در این صورت دو مشکل پدید می‌آید:

الف- در مورد زمینلرزه‌های بزرگ (بزرگتر از ۶ و در موارد بزرگتر از ۵/۵) با کمبود داده روبرو هستیم، زیرا طول دوره زمانی که داده‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند کافی نیست.

ب- در مورد زمینلرزه‌های کوچک و گاهی متوسط (با بزرگی بین ۴ تا ۵) نیز با کمبود داده روبرو هستیم، زیرا در دهه‌های نخست و میانی سده بیستم به دلیل عدم پیشرفت لرزه‌نگارها، نبود تراکم کافی پایگاه‌های لرزه‌نگاری، عدم پیشرفت و نبود دقت کافی روش‌های محاسباتی مربوط به لرزه‌نگاشت‌ها و ... بسیاری از زمینلرزه‌های کوچک و متوسط ثبت و یا گزارش نشده‌اند.

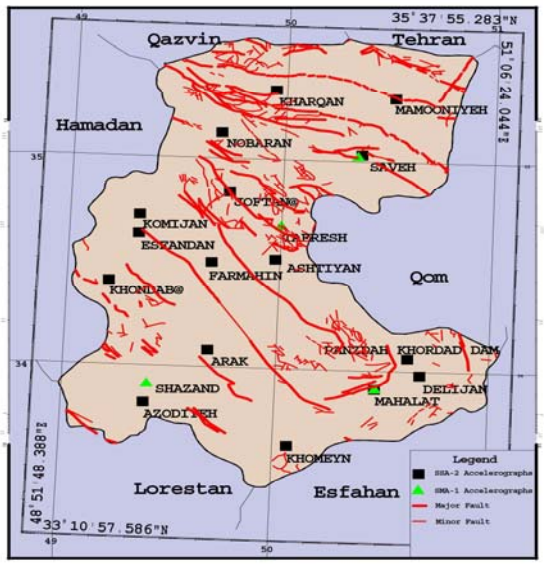
بنابراین همواره این سوال باقی مانده است که بازه زمانی مناسب برای استفاده از داده‌ها کدام است. اگر این بازه را کم بگیریم با نبود داده در مورد زمینلرزه‌های بزرگ روبرو هستیم و اگر بازه زمانی را زیاد در نظر بگیریم با نبود داده در مورد زمینلرزه‌های کوچک و متوسط روبرو خواهیم بود. تکنیک Time normalization زمینلرزه‌ها پاسخ مناسبی به این سوال است. با اجرای این تکنیک در مورد داده‌های زمینلرزه‌ای، روشن می‌شود که بازه زمانی مناسب برای استفاده از داده‌های زمینلرزه به فراخور بزرگی آنها افزایش می‌یابد و برای گروه‌های زمینلرزه‌ای با بزرگی‌های مختلف، متفاوت است. تکنیک Time normalization اولین بار توسط Schenk در سال ۱۹۸۲ ارائه شد و هم اکنون به حد وسیع کاربرد جهانی یافته است[۳]. این تکنیک در مورد زمینلرزه‌های روی داده در ایالت‌های لرزه‌زمینساختی مختلفی که گستره طرح را پوشش می‌دهند بکار گرفته شده است. در مطالعه انجام شده در مورد استان مرکزی نیز از این تکنیک استفاده شده و بازه‌های زمانی مناسب برای زمینلرزه-های با بزرگی متفاوت تعیین و با توجه به آن ضرایب لرزه خیزی هر یک از زونهای لرزه زمین ساختی و همچنین چشمه‌های لرزه زا برآورد شده است.

۴. لرزه زمین ساخت

پس از مطالعه زمینلرزه‌های تاریخی و دستگاهی و پس از تهیه نقشه گسل‌های استان با تلفیق این داده‌ها و با بررسی پیوند میان زمینلرزه‌ها و گسل‌ها و زمین ساخت نقشهٔ لرزه زمین ساختی استان با مقیاس ۱: ۲۵۰/۰۰۰ تهیه شد. براساس این نقشه گسل کوشک نصرت، گسل ایندس، گسل تفرش، گسل تبرته، گسل تلخاب و... مهمترین گسل‌هایی هستند که در استان مرکزی گسترش دارند و این گسل‌ها مهمترین چشمه های لرزه زایی هستند که در استان گسترش دارند.

۴-۱. شبکه شتابنگاری استان مرکزی

نگاشت جنبش نیرومند زمین بصورت نمودارهای شتاب و سرعت امکان کاربرد این نگاشت‌ها را در طراحی سازه‌ها فراهم نموده است. شتابنگارها از جمله دستگاه‌هایی هستند که امروزه بطور گسترده در سراسر جهان بویژه در گستره‌های لرزه‌خیز مورد استفاده قرار می‌گیرند و در بیشتر کشورهای لرزه‌خیزی شبکه شتابنگاری شامل صدها دستگاه شتابنگار، دایر و در دست بهره‌برداری می‌باشد. در ایران نیز از سال ۱۳۵۲ نصب دستگاه‌های شتابنگار SMA1 به منظور برپایی شبکه شتابنگاری کشور، در شهرهای مهم آغاز و بعدها (سال ۱۳۷۳) از دستگاههای جدیدتر استفاده شد. از اینرو حدود ۱۲۰۰ دستگاه دیجیتال SSA2 خریداری و از سال ۱۳۷۲ نصب این دستگاهها در سراسر کشور آغاز گردید و تا پایان سال ۱۳۷۹ حدود ۱۱۰۰ دستگاه اعم از SMA1 و SSA2 در کشور نصب شد. محل نصب این دستگاه‌ها براساس ضوابطی و با در نظر گرفتن شرایط لرزه‌زمینساختی، لرزه‌خیزی، زمین‌شناسی ساختگاهی، توپوگرافی و امکانات محلی برگزیده شده‌اند (رمضی ۱۹۹۵). در استان مرکزی نیز در شهر اراک و سایر شهرهای استان و همچنین در روستاهای مهم تعداد ۲۲ دستگاه شتابنگار قبلاً و اخیراً نیز ۱۹ دستگاه جدید نصب شده است. چگونگی توزیع این دستگاه ها در پهنه استان مرکزی در شکل ۱ نشان داده شده است. تاکنون شتابنگاشت های زیادی در اثر رویداد زمینلرزه های مختلف توسط این دستگاه‌ها ثبت شده اند که چند نمونه از این شتابنگاشت‌ها در شکل های ۳ و۴ نشان داده شده‌اند (برگرفته از Web Site مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن). با اضافه شدن این نگاشت‌ها در سالهای اخیر ، باید گفت که تعداد آنها اکنون در حدی است که می توان از آنها برای بررسی پیوندهای کاهیدگی استان استفاده نمود.



شکل ۱. پراکندگی گسلها و ایستگاه های شبکه شتابنگاری در استان مرکزی

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]

۲-۴. پیوندهای کاهیدگی

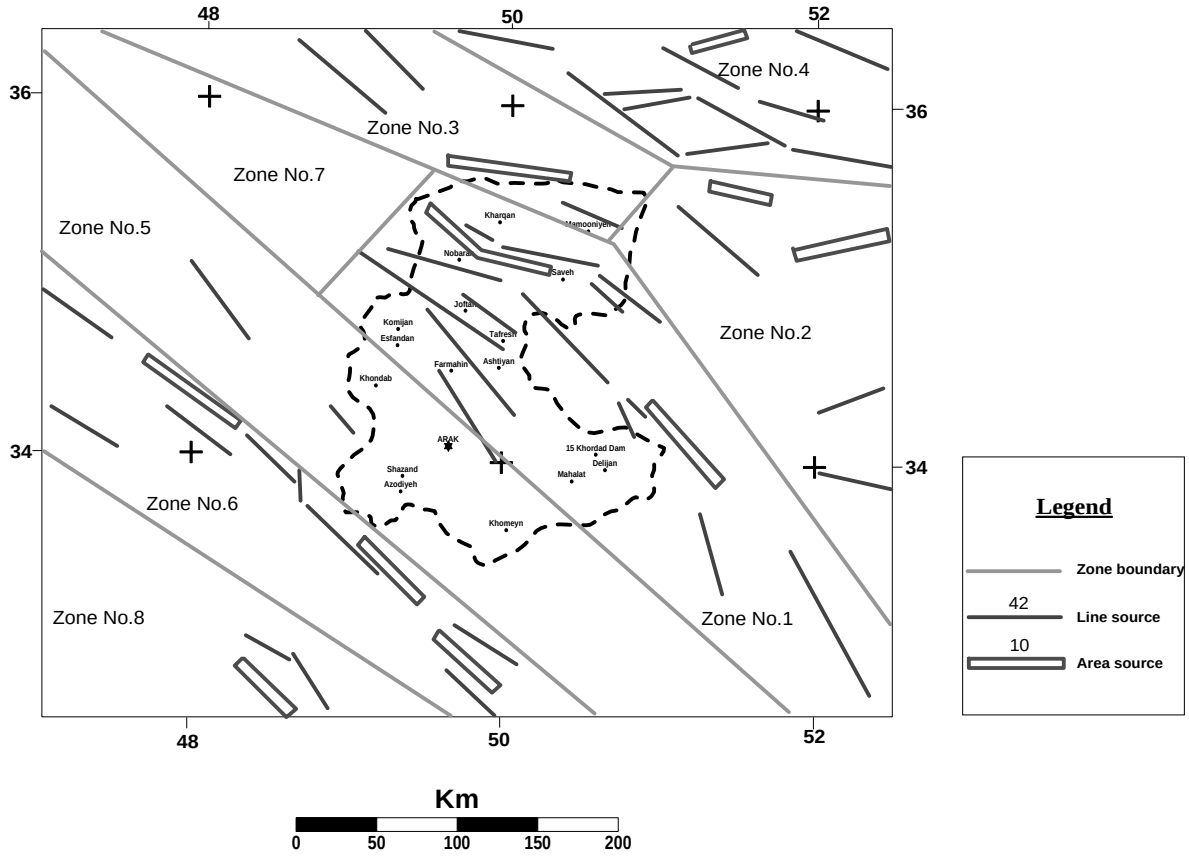
اگر شرایط ساختگاهی و ویژگی‌های زمین‌شناسی ناحیه‌ای یکسان فرض شوند، کاهیدگی پارامترهای اساسی جنبش زمین (شتاب، سرعت و جابجائی) تابعی از بزرگی و فاصله از کانون زمینلرزه و یا فاصله از چشمه مسبب رویداد زمینلرزه می‌باشد.

بررسی زمینلرزه‌های ویرانگر ایران زمین نشان می‌دهد که این زمینلرزه‌ها با گسلش سطحی چشمه مسبب رویداد آنها همراه بوده‌اند[۴]. از سوی دیگر بررسی پارامترهای نگاشته شده نشان می‌دهد که کاهیدگی آنها پیروی بهتری از فاصله از گسلش سطحی دارد تا از فاصله از کانون زمینلرزه، بنابراین برای برآورد خطر زمینلرزه در چنین شرایطی باید از پیوندهای کاهیدگی استفاده نمود که بر مبنای فاصله از گسلش سطحی تعیین شده‌اند.

بررسی داده‌های سراسر ایران زمین می‌تواند پیوندهایی را پیشنهاد نماید که باید گفت به مراتب مناسب‌تر از پیوندهای بدست آمده از دیگر نقاط دنیاست. در این گزارش از رابطهٔ کاهیدگی کمپل ۱۹۹۷ و از رابطه کاهیدگی (رمضی و شنک ۱۹۹۴) که برای ایران زمین بدست آمده است استفاده شده و پیوندهای دیگر از جمله امبرسیز (۱۹۹۵)، کمپبل و بزرگنیا (۱۹۹۴)، آبراهامسون و لی‌تیسر (۱۹۸۹) و پیوندهای رمضی (۱۹۹۷) که در تحلیل آماری آنها از زمینلرزه‌های ایران زمین نیز استفاده شده است، جهت مقایسه برگزیده شده‌اند[۵].

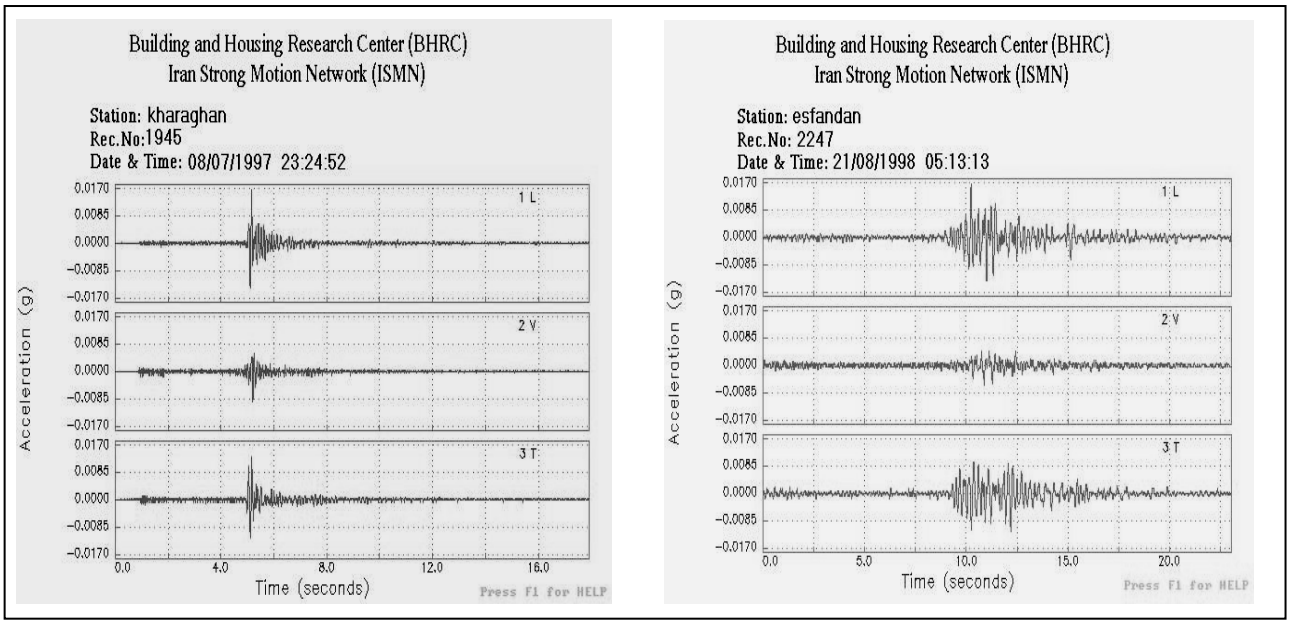
۳-۴. مدل چشمه‌های لرزه‌زا

یکی از کلیدی‌ترین المان‌ها در برآورد خطر زمینلرزه مدل چشمه‌های لرزه‌زاست. با توجه به اینکه تنها چشمه‌های لـرزه‌زای شناخته شده در ایران زمین گســـل‌ها می‌باشند، شناسایی گسل‌ها و مدل‌سـازی آنها که در مدل ریاضی معمولا بصورت چشمه‌های خطی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، دارای اهمیت ویژه‌ای است. افزون بر گسل‌ها و زون‌های گسلی بسیار باریک، زون‌های زمینساختی نسبتاً باریکی وجود دارند که از چندین گسل بزرگ و کوچک تشکیل شده‌اند که ممکن است پهنای آنها به چندین کیلومتر برسد. در پیوند با این زون ها دو مسئله حائز اهمیت است، اول آنکه در بسیاری از موارد پیوند دادن زمینلرزه‌ها به یکی از گسل‌ها مشکل و حتی ناممکن است و دوم اینکه احتمال جنبش همزمان همه با برخی از این گسل‌ها وجود دارد. در چنین شرایطی بجای تعریف یک چشمه خطی، یک چشمه باریکه‌ای، زونی و یا ناحیه‌ای (area source) تعریف می‌شود (بکار بردن عبارت "چشمه باریکه‌ای" مفهوم را بهتر می‌رساند). چشمه‌های لرزه‌ای استان مرکزی و پیرامون آن مطابق شکل۲ مدل سازی شده‌اند. در این راستا ۴۲ چشمه خطی و ۸ چشمه باریکه‌ای بکار گرفته شده است. با توجه به شرایط لرزه زمینساختی و مکانیزم هر یک از چشمه‌ها و همچنین با عنایت به زون لرزه زمینساختی که چشمهٔ لرزه‌زا در آن قرار گرفته است، ویژگی‌های لرزه‌خیزی آنها برآورد شده و در مدل بکارگرفته شده است.

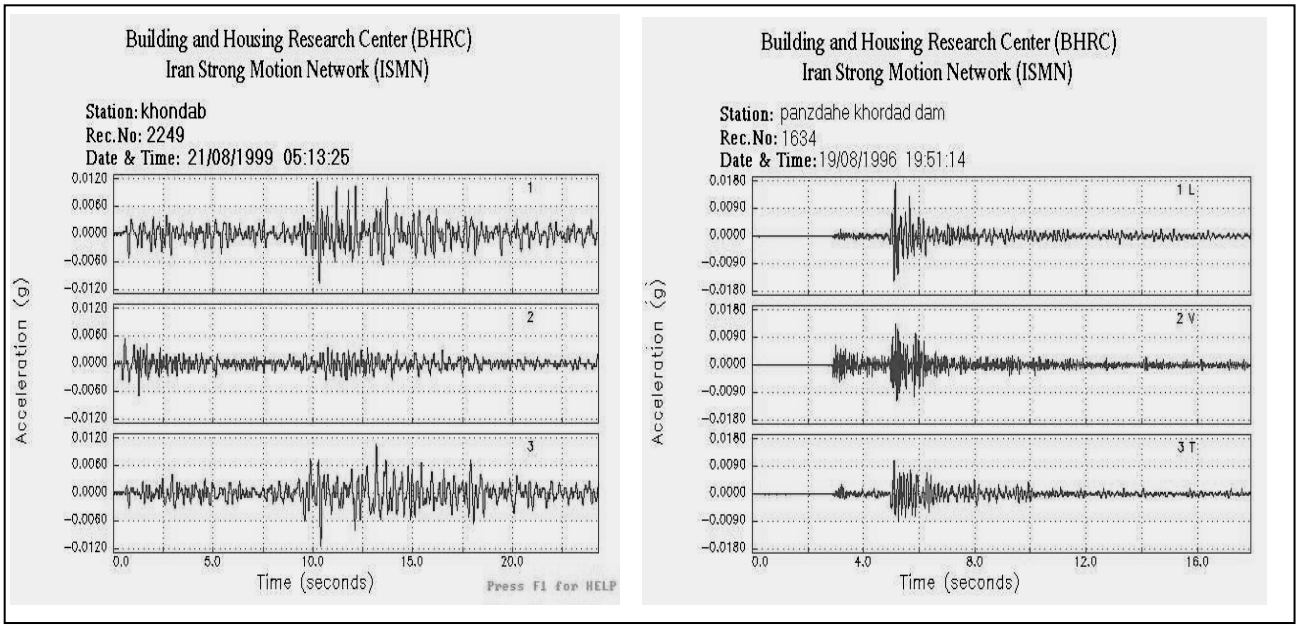


شکل۲. زون‌های لرزه زمین‌ساختی و مدل چشمه‌های لرزه‌زای پیرامون استان مرکزی

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]



شکل ۳. شتابنگاشت ثبت شده در ایستگاه شتابنگاری خرقان و اسفندان در اثر رویداد زمینلرزه ۸ ژوئیه ۱۹۹۷و ۲۱ اگوست ۱۹۹۸



شکل ۴. شتابنگاشت ثبت شده در ایستگاه شتابنگاری خنداب و سد ۱۵ خرداد در اثر رویداد زمینلرزه ۲۱ اگوست ۱۹۹۹و ۱۱۹اگوست ۱۹۹۶

۵. بررسی احتمال رویداد زمینلغزه و روانگونگی در مناطق مسکونی

زمینلغزه و روانگونگی دو پدیده طبیعی هستند که در هنگام رویداد زمینلرزه‌های ویرانگر معمولاً در نقاط مستعد احتمال پدید آمدن آنها زیاد است. در سطح استان مرکزی در نقاط مسکونی که در دامنه‌ها و کوهپایه‌های سست قرار گرفته‌اند امکان بروز زمینلغزه وجود دارد. در این میان باید به پتانسیل لغزش در روستاهای جنوب و جنوب باختری تفرش اشاره نمود. در بخشهایی از محدوده شمالی استان نیز روستاهای بسیاری در معرض روی داد زمینلغزه هستند. احتمال لغزش در برخی از محل‌های مسکونی محدوده جنوب باختری استان مرکزی یعنی در سربند زیاد است. در این میان روستاهایی که در سواحل رودخانه ها قرار دارند این احتمال بیشتر

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]

می‌باشد. پدیده زمینلغزه در نواحی خمین، محلات، کمیجان و آشتیان نیز وجود دارد. در برخی از مناطق شهری از جمله در شهرهای آشتیان، تفرش، آستانه، و حتی در بخش‌هایی از شهرهای اراک، ساوه و خمین که در پیرامون رودخانه‌ها قرار دارند احتمال ایجاد زمینلغزه هست. بعنوان مثال احتمال لغزش در کناره‌های رودخانه اراک بطرف کرهرود زیاد است و رویداد زمینلرزه این احتمال را به شدت افزایش می‌دهد. اما باید گفت که احتمال لغزش در دامنه‌های جنوبی و باختری اراک به علت گسترش سنگهای سخت آهکی در این مناطق اندک ولی احتمال سنگ ریزش بویژه در کناره‌های جاده کمربندی جنوبی بیشتر است.

در مورد خطر روانگونگی در استان مرکزی با داده های فعلی نمی توان به درستی داوری نمود و بررسی این موضوع نیازمند مطالعات ویژه است. اما روشن است که در بخش‌هایی از استان لایه های سست شن و ماسه‌ای وجود دارد که در صورت بروز زمینلرزه امکان روانگرایی در آنها زیاد است. این لایه‌های سست را می‌توان در جنوب خاوری آستانه در خاور شازده در، در پیرامون خمین، فرمیهن و کمیجان، بخش‌هایی از ساوه، تفرش و حتی در قسمت-هایی از دلیجان ملاحظه نمود.

۱-۵. ناپایداری بزرگ مقیاس زمین

محل‌هایی که امکان بوجود آمدن این پدیده وجود دارد باید به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گیرد. این پدیده از اثر ساختگاهی فراتر است و تحت کنترل کننده‌های مطرح در مقیاس ناحیه‌ای نیز نمی‌باشد.

ناپایدار شدن بزرگ مقیاس زمین می‌تواند تأثیر درخور توجهی برروی آبهای زیرزمینی بویژه تغییرات سطح آب زیرزمینی بگذارد در چنین شرایطی معمولاً پدیده‌های مانند گل افشان و آب‌فشان بصورت محلی ایجاد می‌شوند. گاهی همین پدیده سبب خشک شدن چاه‌های آب در مناطق یا بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و آبدار شدن چاه‌های خشک شده در این مناطق می‌شود. ناپایداری بزرگ مقیاسی در شرایط ساحلی و یا در شرایطی که ضخامت‌های در خور توجهی از نهشته‌های نامتراکم وجود دارد بیشتر پدید می‌آید. امکان پدیدآمدن این گونه ناپایداری‌ها در شهرهای کوهپایه-ای استان مرکزی اندک است. اما در دشت‌هایی که لایه‌های بسیار سست از شن، ماسه و گراول وجود دارد امکان ناپایدار شدن بزرگ مقیاس زمین زیاد است. این پدیده زمانی حادتر است که ضخامت لایه‌های سست زیاد و سطح آب زیرزمینی بالا باشد. احتمال ناپایدار شدن بزرگ مقیاسی زمین در مناطق مسکونی و شهرهایی که در دشت‌هایی با شرایط فوق قرار دارند، وجود دارد. در این میان می توان به شهرهای خمین، دلیجان، فرمیهن و حتی بخش‌هایی از ساوه بخش‌های شمالی اراک، شازند و آستانه نیز اشاره نمود. بهرحال ناپایدار شدن بزرگ مقیاس از جمله پدیده‌هایی است که باید مورد توجه قرار گیرد. این ناپایداری هم می‌تواند باعث افزایش گزندهای زمینلرزه شود و در این صورت تأثیر آن مانند تأثیر شرایط ساختگاهی است و هم می‌تواند تأثیرهای بلند مدت برروی آب‌های زیرزمینی مناطق مستعد بگذارد. این تأثیرها گاهی می‌تواند مفید هم باشد مانند بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در مناطقی که سطح آب پایین است. به هر ترتیب همانگونه که اشاره شد بررسی پدیده ناپایدار شدن بزرگ مقیاس زمین نیازمند مطالعات ویژه است از اینرو پیشنهاد می‌شود که بررسی های ویژه ای از دیدگاه زمین‌شناسی ساختگاهی بویژه از نظر چگونگی کم و کیف گسترش لایه‌های بسیار سست شن و ماسه و لای در مناطق مستعد فوق انجام شود.

۲-۵. گسلش سطحی

بررسی زمینلرزه‌های ویرانگر گذشته در ایران زمین نشان می‌دهد که تقریباً همهٔ این زمینلرزه‌ها با گسلش سطحی چشمهٔ مسبب رویداد زمینلرزه همراه بوده‌اند. زونی که در آن گسلش سطحی پدید می‌آید از نظر ویژگی‌های مربوط به پارامترهای جنبش نیرومند زمین، شرایط خاصی دارد و با روش‌های معمولی نمی‌توان این پارامترها را در این زون بررسی نمود. وقتی که جابجایی‌هایی دائمی در حدود چند ده سانتیمتر و گاهی در حد چند متر پدید می‌آید ویرانی‌هایی را بوجود می‌آورد که با ویرانی‌های خارج از زون گسلش سطحی قابل مقایسه نیست. در واقع از جاهایی که احتمال گسلش سطحی در آنها زیاد است نباید برای ساختگاه سازه‌های مهم با طول عمر مفید زیاد استفاده نمود. گرچه گسل مسبب برخی از زمینلرزه‌ها از جمله زمینلرزه‌های طبس و زمینلرزه اخیر رودبار-منجیل قبل از این زمینلرزه‌ها ناشناخته بوده‌اند و در نقشه‌های قبل از این زمینلرزه‌ها اثری از آنها نیست ولی این امر به دلیل عدم مطالعهٔ دقیق زمین‌ساختی، به ویژه نو زمینساختی محل‌های مورد نظر می‌باشد. کماآنکه بررسی‌های دقیق نگاره‌های هوایی و ماهواره‌ای (نگاره‌هایی که قبل از زمینلرزه‌ها تهیه شده‌اند) و آنالیزهای نو زمینساختی نشان می‌دهد که این گسل‌ها وجود داشته و قابل شناسایی هم بوده‌اند[۶].

به هر ترتیب نمی‌توان به یقین گفت که در محلی به هیچ وجه امکان گسلش سطحی وجود ندارد. ولی با توجه به شواهد موجود می‌توان به این نتیجه رسید که احتمال وقوع چنین پدیده‌ای در برخی محل‌ها بسیار اندک و در برخی دیگر زیاد است. در محل‌هایی که احتمال گسلش وجود دارد باید افزون بر برآوردهای معمول، به مسئله ویژگی‌های جنبش نیرومند زمین در فاصله نزدیک از چشمه توجه نمود. محتوی فرکانس امواج در فواصل نزدیک (نزدیک‌تر از ۵ کیلومتر) با محتوی فرکانسی امواج در فواصل دور متفاوت است. افزون بر آن در فاصله‌های نزدیک بر خلاف فاصله‌های دور معمولاً شتاب قائم بیش از شتاب افقی است. احتمال گسلش سطحی در

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]

محل گسل‌های بزرگ استان از جمله گسلهای ایندس، کوشک نصرت، خشک رود، تفرش، تلخاب، تبرته و .... وجود دارد. از این رو در هنگام کاربری زمین در پیرامون زونهای این گسل‌ها باید به پدیده گسلش سطحی توجه نمود و در این زونها تا حد امکان برای ساخت و ساز استفاده نکرد.

۶. بررسی زون‌های پرخطر پیرامون گسل‌های جنبا استان مرکزی

در نقشه لرزه زمین ساختی استان مرکزی که با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه شده است گسل‌های مهم در سطح استان شناسایی و ارائه شده‌اند. احتمال گسلش سطحی در محل گسل‌های جنبا که در دهه‌ها و حتی سده‌های اخیر جنبش داشته‌اند زیاد است. از این رو باید توجه نمود که این امکان در درازنای گسل کوشک نصرت و گسل خشک رود، گسل ایندس، گسل تفرش و چندین گسل دیگر در شمال استان مرکزی وجود دارد. بر روی زون این گسل‌ها بویژه گسل‌های ایندس و تفرش روستاهای بسیاری قرار دارند که در صورت ایجاد گسلش سطحی در آنها این روستاها گزند اساسی می‌بینند. سد ساوه نیز بر روی گسل ایندس واقع شده که در صورت چنین رویدادی آسیب جدی خواهد دید.

در محدوده مرکزی استان نیز گسل‌های تلخاب، تبرته و چندین گسل بزرگ دیگر وجود دارد (نقشه لرزه زمین‌ساختی پیوست) که در درازنای این گسل ها نیز احتمال گسلش سحطی وجود دارد. در صورت چنین رویدادی محل‌های مسکونی که بر روی زون این گسل‌ها قرار گرفته‌اند از جمله روستاهای تلخاب، رکس، چشمه، خورهن، تبرته، فیض آباد، شهوه، انجدان و ... ویران خواهند شد. از همین رو لازم است در دراز مدت برنامه‌ای تدوین کرد که روستاهای واقع بر این زون‌ها به محل‌های دیگری منتقل شوند و حتی‌المقدور این زون به فضاهای آزاد اختصاص یابد. به طور کلی باید اشاره نمود که در محل گسل‌های بزرگ استان که لرزه‌خیز هستند و یا پتانسیل لرزه‌زایی دارند احتمال گسلش سطحی وجود دارد. این گسل‌ها در نقشه لرزه زمین ساختی استان ارائه شده‌اند و از این نقشه می‌توان برای توسعه صنعتی، عمرانی و .... استان استفاده نمود. به هر حال باید توجه نمود که باید از ساخت و ساز در حریم گسل‌ها (تا چند کیلومتری) حتی المقدور دوری گزید [۷].

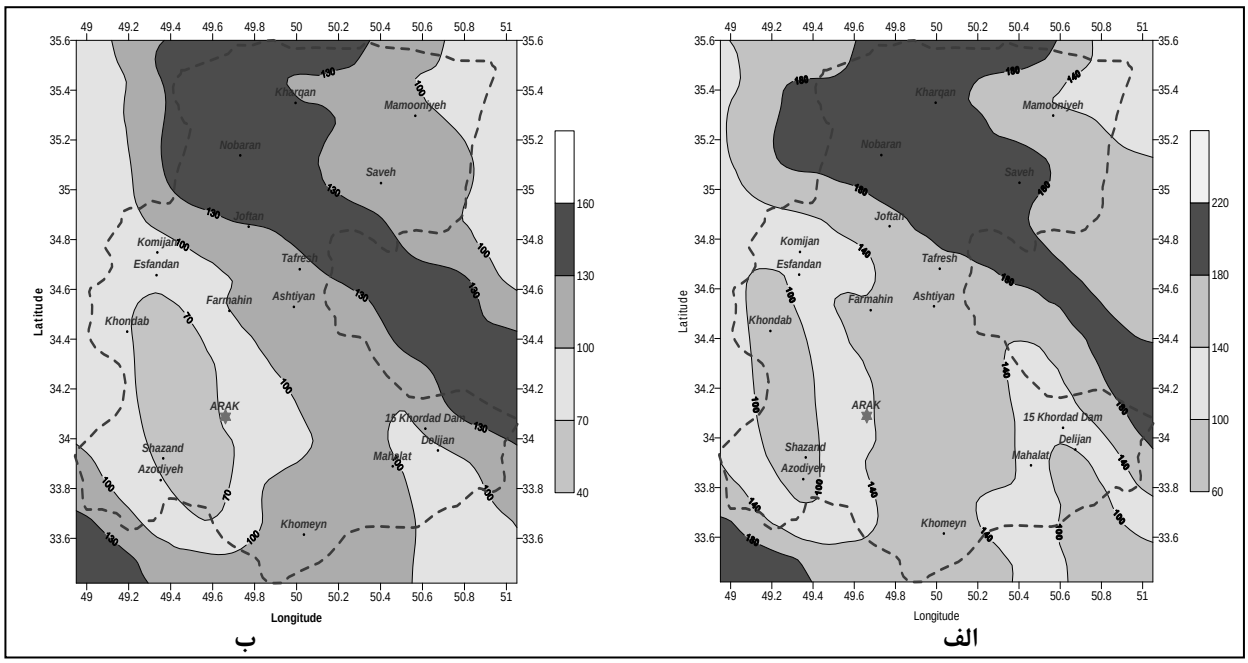
۶-۱. آنالیز خطر زمینلرزه

بررسی‌های انجام شده امکان مدل‌سازی چشمه‌های لرزه‌ای استان مرکزی و پیرامون آن را فراهم کرد. آنالیز خطر برای سراسر استان مرکزی با استفاده از نرم افزار HAZ 2003 و در یک شبکه ۰/۱×۰/۱ درجه طول و عرض جغرافیایی انجام شده و در مواردی که لازم بوده (از جمله در پیرامون زون‌های گسلی) این فواصل به ۰/۰۵×۰/۰۵ درجه کاهش یافته است. برآوردهای فوق برای دوره‌های بازگشت ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰و ۵۰۰ ساله انجام و نقشه‌های هم شتاب مربوط به هر یک از این دوره‌ها تهیه شد. (شکلهای ۵و۶)

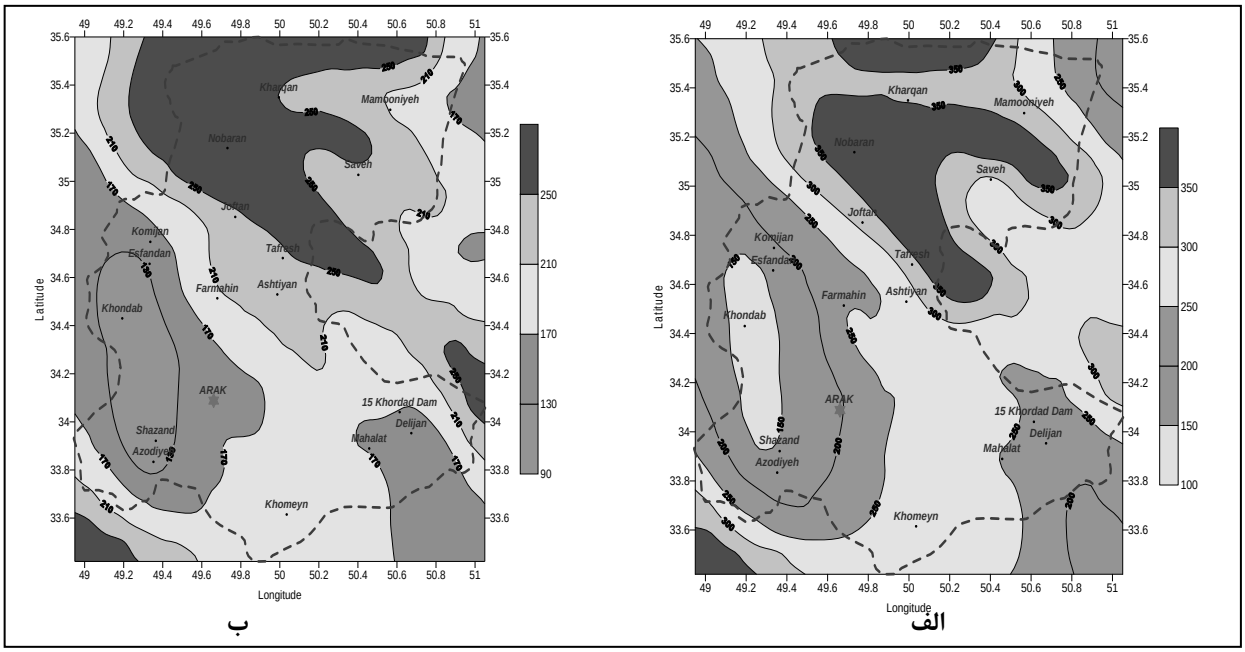
۷. نتیجه‌گیری

برمبنای آنچه اشاره شد نقشه‌های هم شتاب جنبش نیرومند زمین برای دوره‌های بازگشت متفاوت تهیه شده است. همانگونه که از نقشه لرزه زمینساختی استان و پیرامون آن انتظار می‌رود، شمال استان به لحاظ گسترش گسل کوشک نصرت، گسل خشک رود، گسل ایندس و همچنین تحت تأثیر گسل ایپک که در منطقه بوئین زهرا قرار دارد، دارای میزان لرزه خیزی بیشتری نسبت به بقیه مناطق استان است و محدوده باختری استان به نسبت آرام‌تر از بقیهٔ نقاط می‌باشد. در نقشهٔ هم شتاب مربوط به دورهٔ بازگشت ۵۰ ساله (شکل ۵ الف) محدوده شامل شهرهای ساوه و تفرش در شمال تا شمال خاوری و خاور و یا به عبارت بهتر نوار پهنی از شمال، شمال خاوری و خاور استان در زون با خطر نسبی بالا قرار می‌گیرند و مناطق جنوبی و مرکزی استان از جمله شهر اراک در یک زون با خطر نسبی متوسط قرار می گیرند و مناطق جنوب باختری و باختر در زون های نسبتا آرامتری واقع می شوند. در نقشهٔ هم شتاب مربوط به دورهٔ بازگشت ۱۰۰ ساله (شکل۵ ب) نیز مناطق شمالی، شمال خاوری و حاشیه شمال خاوری که در جنوب استان قم قرار می‌گیرد در یک زون با خطر نسبی بالا قرار می‌گیرند و شتاب مربوط به آنها بیش از ۰/۱۸g برآورد می‌شود در صورتی که مناطق مرکزی و جنوبی از جمله شهرهای اراک، خمین، محلات و دلیجان در یک زون با خطر نسبی متوسط در محدودهٔ شتاب‌های ۰/۱۸g تا ۰/۱۴g قرار دارند و مناطق جنوب خاوری و خاوری استان در زون های آرام‌تر قرار می‌گیرند. در نقشهٔ هم شتاب مربوط به دورهٔ بازگشت ۲۰۰ ساله (شکل ۶ الف) مشاهده می‌شود که مناطق شمالی و شمال خاوری از جمله شهرهای ساوه، تفرش و پیرامون آن در زون با خطر نسبی خیلی زیاد قرار می‌گیرد که برای آنها شتاب بیش از ۰/۲۵g پیشنهاد می‌شود و مناطق مرکزی از جمله شهر اراک در زون با خطر نسبی زیاد و شتاب بین ۰/۲۱g تا ۰/۲۵g قرار دارند، در صورتی که مناطق جنوبی از جمله شهرهای خمین، محلات و دلیجان در زون با خط متوسط و شتاب حدود ۰/۱۷g تا ۰/۲۱g واقع هستند و بخش های باختری استان نیز در زون نسبتاً آرامی قرار می‌گیرند. شتاب‌های برآورد شده برای دورهٔ بازگشت ۵۰۰ ساله برای قسمت‌های شمالی از جمله ساوه و پیرامون آن ۰/۳۰g و در مواردی حتی بیشتر از ۰/۳۵g و برای مناطق مرکزی بین ۰/۲۵g تا ۰/۳۰g برآورد شده است (شکل ۶ ب) و همانگونه که مشاهده می‌شود مناطق باختری و گوشه جنوب خاوری استان در یک زون نسبتا آرامتر قرار دارند. اما باید توجه نمود که گوشه جنوب باختری استان نیز به علت نزدیک شدن به گسل زمینلرزه ای دورود در یک زون پر خطر قرار می گیرد.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]



شکل ۵. شتاب‌های برآورد شده برای دورهٔ بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله



شکل ۶. شتاب‌های برآورد شده برای دورهٔ بازگشت ۲۰۰و ۵۰۰ ساله

References

[1] Ramazi, H.R., *Earthquake catalogue of Iran*, up to 2002 unpublished, 1999.

[2] Ramazi, H.R., Hosseinnejad, M.R., "*Seismotectonic and Earthquake Hazard Microzonation in Markazi Province*", 232, 2005.

[3] Schenk, V., *Achievements and Probable Trends in Seismic Hazard Assessment Tectonophysics*, 167, 1989, PP. 56-169.

[4] Campbell, K.W., *Empirical Near-Source Attenuation Relationships for Horizontal & Vertical components of Peak Ground Acceleration*, Peak Ground Velocity & Pseudo-Absolute Acceleration response spectra, seismological research letters, V.68, No.2, 1997.

[5] Ramazi, H.R., *Earthquake catalogue of Iran*, up to 2002 unpublished.

[6] Ramazi, H.R. Schenk, V., "*Preliminary Results Obtained by a Processing of Iranian Accelerograms*, XXIV

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]

General Assembly of European Seismological Commision, 1994 Sept.19-14, Athens, Greece.

[7] Ambraseys, N.N., Melville, C.P., *"A History of Persian Earthquakes Cambridge Earth"* Science Series, 1982.

[8] Yousefi, E., *"Magnetic lineament Map of Iran Based on Results Obtained From an Aeromagnetic Survey*, G.S.I, 1993.

[9] Schenk, V., *On the Problem of Time Normalization of Earthquake Magnitude-Frequency Relations Annual*. Geophysica, 1983.

[10] Ramazi, H.R., "*Attenuation Laws OfIranian Earthquakes*", the 3rd International conference on earthquake engineering and seismology, Tehran. Iran, 1999.

[11] Ramazi, H.R., Heidari, GH., *Strong Ground Motion Attenuation Relationships OfIran and its Seismotectonic Provinces*, Technical report, Building and housing research center ofIran, 2001.

[12] Mosavi, E., *A Comparison of Attenuation Laws by Fitting to the Recent Iranian Strong Motion Data*, Technical report, Building and housing research center of Iran, 1999.

[13] lranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings (standard 2800) 2nd edition, 1999.

[14] Ramazi, H.R., Heidari, GH., "*Seismotectonic and Earthquake Hazard Assessment for the Ghomi Province, Technical Report"*, Building and housing research center of Iran, 2000.

[15] Ramazi, H.R., *Earthquake Epicenter and Tectonic Lineament Map of Iran*, Scale: 1:2,500,000 Pub. By BHRC Tehran, Iran, 1995.

[16] USGS (NEIS), *National Earthquake Information Service*, Preliminary Determination of Epicenters, monthly listing.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]