

مقیاسی برای برآورد شدت زمین لرزه‌ها در ایران

دکتر حمیدرضا رمزی^۱

چکیده

در این مقاله، یک مقیاس برای برآورد شدت زمین لرزه‌ها در ایران تعیین شده است. که دو ویژگی بارز دارد. ۱: از میزان و نحوه گزند وارد بر سازه‌ها، بناها و ساختمان‌هایی که در ایران وجود دارند همچنین از وسایل، ابزار و ویژگی‌های فرهنگی و زیست محیطی ایران به عنوان معیارهای اساسی استفاده شده است. ۲: درجه‌های مقیاس شدت معرفی شده، با درجه‌های شدت مطرح در دنیا بویژه با مقیاس MSK هماهنگ است. از این رو، انطباق آن با مقیاس‌های بین‌المللی بسیار آسان است. معیارهای مورد استفاده بر سه اصل اساسی گزند بر سازه‌ها، تغییرات در محیط و سطح زمین استوار است. از این رو، سازه‌ها و بناها به پنج گروه، از گروه A (خیلی سست) تا گروه E (بسیار مقاوم) در برابر زمین لرزه تقسیم بندی است. میزان گزندهای وارده به آنها نیز به پنج درجه، از درجه یک (خیلی سبک) تا درجه پنج (ویرانی کامل) گروه بندی است. ساختمان‌ها و بناهایی که در هر یک از کوته‌های ساختمانی قرار می‌گیرند به اختصار معرفی شده‌اند. معیارهای مربوط به میزان حس شدن زمین لرزه و تغییرات در محیط و سطح زمین نیز تا حد ممکن به روشنی تعریف و بیان شده‌اند. مقیاس معرفی شده دوازده قسمتی است که از درجه I (بسیار خفیف) تا درجه XII (کاملاً ویرانگر) را در بر می‌گیرد.

کلمات کلیدی

شدت زمین لرزه، گونه‌های سازه ای، درجه‌های گزند و مقیاس شدت

A Scale for determination of Iranian earthquakes intensity

Hmidreza Ramazi
Amirkabir University of Technology
ramazi@aut.ac.ir

ABSTRACT

This paper is devoted to introduce an earthquake intensity scale for evaluation of intensity of earthquakes in Iran. The introduced scale is based on two important points of view, first; damage to buildings and structures which exist in Iran have been taken into the account, second; the scale is compatible to international intensity scales specially to the MSK scale.

The utilized criteria are mainly based on; damage to building and structures, disturbing and changes of the earth surface and under ground water, and earthquake effect observations. Buildings and structures were classified into 5 types from (A) very weak to (E) very good. Damages were classified as they are in the MSK scale. The introduced scale has 12 degrees. From (I) very weak (not noticeable) to (XII) strongly destructive. Each one of the degrees were defined by clarified criteria.

KEYWORDS

Earthquake Intensity, Structure Types, damage degrees, Intensity scale, Iran.

^۱ عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ramazi@aut.ac.ir

۱- مقدمه

مقیاس‌ها دوازده درجه‌ای هستند و از شدت‌های خفیف، شدت I نامحسوس تا شدت XII را، که ویرانی کامل است پوشش می‌دهند. مقیاس (JMA)^۲ نیز در ژاپن کاربرد دارد [۱۲] و یک مقیاس هشت درجه ای است و از شدت نامحسوس درجه VII صفر تا شدت زیاد، زمین لرزه‌های ویرانگر درجه VII تقسیم‌بندی شده است. این سه مقیاس در جدول (۱) با هم مقایسه شده‌اند.

جدول (۱): مقایسه سه مقیاس اصلی شدت (JMA-MSK- MMI)

JAPAN		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
MSK	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
MMI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	

۳- مقیاس شدت پیشنهادی برای ایران

واقعیت این است که شرایط ساخت و ساز در ایران به گونه‌ای بوده است و هنوز هم در بسیاری مناطق چنین است که احساس می‌شود به یک مقیاس شدت مستقل نیاز است. شاید به همین خاطر است که امبرسیز (۱۹۸۲) برای بررسی زمین لرزه‌های تاریخی ایران مهین (ایران فعلی و پیرامون آن) از یک مقیاس ویژه، که دارای پنج درجه است، استفاده کرد. [۱۳]. در این مقیاس، درجه ۱، شدت زمین لرزه‌ای است که با ویرانی کامل و تلفات بسیار همراه است ... و شدت ۵، درجه‌ای است که زمین لرزه در گستره وسیعی حس می‌شود، اما با ویرانی چندانی همراه نیست مشکل اساسی در مقیاس مطرح شده از سوی امبرسیز این است که تطبیق آن با مقیاس‌های متداول در دنیا مشکل است. از این رو، ضمن بررسی گسترده‌ای که در مورد زمین لرزه‌های گذشته ایران انجام شد، این نتیجه به دست آمد که مقیاس پیشنهادی علاوه بر در برگرفتن معیارهای ویژه باید به سادگی قابل انطباق با مقیاس‌های مطرح دنیا، به ویژه دو مقیاس مهم، یعنی MSK و MMI باشد. بنابراین، بر اساس مطالعه گزارش‌های مربوط به زمین لرزه‌های ایران [۱] - [۱۱] مقیاس پیشنهادی ۱۲ درجه دارد که درجات آن تقریباً با درجات مقیاس‌های فوق، بویژه با مقیاس MSK هماهنگ است. دلایل این انتخاب را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد.

۱- حفظ ماهیت علائم، نشانه‌ها و زبان مشترک با

مقیاس‌های مطرح در جهان

۲- انطباق آسان با مقیاس‌های مطرح در جهان

شدت زمین لرزه، یک مقیاس توصیفی است که بر مبنای میزان احساس شدن، گزندها، ویرانی‌سازه‌ها و اثرهایی که در محیط و سطح زمین و یا آبهای زیرزمینی ایجاد می‌کند، بنا نهاده شده است. از یک سو، زمین لرزه یک پدیده مطرح در سراسر جهان است و به زبان، علائم و مقیاس‌های جهانی در این زمینه نیاز وجود دارد. از این روست که مقیاس‌های بین‌المللی شدت مطرح شده‌اند و در این میان دو مقیاس شدت (MMI) مقیاس مرکالی اصلاح شده و MSK مقیاسی که بانیان آن از بلوک شرق سابق بودند و در اروپا کاربرد گسترده‌ای دارد، به علت نزدیکی زیادی که به هم دارند کاربرد چشمگیری در جهان از جمله در ایران یافته‌اند.

از سوی دیگر، میزان احساس شدن زمین لرزه‌ها و اثرهای آنها در محیط و حتی ویرانی‌سازه‌ها، به محیط و نوع سازه بستگی دارد. از این رو، تعیین مقیاس شدت برای مناطق مختلف دنیا بویژه برای مناطقی که از نظر گونه‌های ساختمانی و حتی از نظر وسایل زندگی و فرهنگ با هم تفاوت دارند، می‌تواند متفاوت باشد. به عنوان مثال به صدا در آمدن ناقوس کلیساها به عنوان یک معیار در کشورهای مسیحی مطرح است در صورتی که در کشورهای دیگر ممکن است کلیسا وجود نداشته باشد. کشورهایمانند ایران و کشورهای همسایه شرایط ویژه‌ای از نظر ساخت و ساز دارند و در آنها بناهایی وجود دارد که در کشورهای دیگر بویژه در اروپا و آمریکا یافت نمی‌شود یا نادر است.

در این مقاله کوشش شده است که با مطالعه زمین لرزه‌های ویرانگری که در گذشته در ایران روی داده‌اند و با توجه به شرایط زندگی و فرهنگی ایران، ساخت و سازه‌ها و بناهای موجود در آن و ... معیارهایی عملی برای برآورد شدت زمین لرزه‌ها معرفی کرد.

۲- مقیاس‌های شدت زمین لرزه

با توجه به توصیفی بودن مقیاس‌های شدت و شرایط متفاوت زیست محیطی، محیطی و سازه‌ها در مناطق مختلف دنیا، مقیاس‌های شدت متفاوتی نیز وجود دارد. از جمله می‌توان به وجود چندین مقیاس متفاوت در ژاپن و چین اشاره کرد. از سوی دیگر، نیاز به زبان و علائم مشترک و جهان شمول، سبب شده است تا از مقیاس‌هایی استفاده شود فراملیتی باشند. از این رو دو مقیاس (MSK)^۱ و [12] (MMI)^۲ کاربرد بسیار وسیعی در دنیا دارند. هر دوی این

۳- استفاده از معیارهای فراملیتی در برآورد شدت زمین لرزه

۴- گنجاندن معیارهای مربوط به ایران

۵- قابل استفاده ماندن پژوهش‌های انجام شده و گزارش‌های موجود در مورد زمین لرزه‌های ایران که بر مبنای مقیاس‌های MMI و MSK تهیه شده است.

۴- معیارهای در نظر گرفته شده برای برآورد

شدت زمین لرزه‌ها

برای برآورد شدت زمین لرزه‌ها از سه گونه معیار استفاده می‌شود معیارهای حسی میزان حس شدن زمین لرزه‌ها، معیارهای سازه‌ای اثر روی ساختمان‌ها و معیارهای محیطی اثر روی سطح زمین، آب‌های زیرزمینی و ...

برای بررسی، طبقه بندی و تدوین این معیارها، مقاله‌ها و گزارش‌های مربوط به زمین لرزه‌های ویرانگر ایران [۱] - [۱۲] مطالعه شد.

برای برآورد شدت زمین لرزه‌ها باید این معیارها را کمی نمود یا به عبارت دیگر، استفاده از این معیارها را عملی‌تر و شفاف‌تر کرد. از این رو، لازم است سازه‌ها را طبقه بندی، گزندهای وارده را درجه بندی و اثر روی محیط را نیز به گونه‌ای شفاف‌تر کرد. واضح است که معیارهای حسی را نمی‌توان به سادگی معیارهای دیگر طبقه‌بندی کرد.

۴-۱- معیارهای حسی و مشاهده‌ای در هنگام رویداد

زمین لرزه

میزان حس شدن زمین لرزه به وسیله افراد و مشاهدات آنها از حرکت زمین، نوسان اشیای آویزان، حرکت وسایل، لغزیده شدن و واژگونی وسایل و اسباب و اثاثیه ... از جمله معیارهای اساسی در برآورد شدت زمین لرزه‌ها هستند که مهم ترین نقش را در تعیین شدت زمین لرزه‌ها در درجه‌های کم ایفا می‌کنند، و کمی کردن این معیارهای مشکل است.

۴-۲- معیارهای سازه‌ای و گزندهای وارد بر بناها

برای کاربردی کردن معیارهای سازه‌ای و گزندهای وارد بر بناها لازم است سازه‌ها و بناها را دسته بندی، و گزندهای وارد به آنها را نیز درجه بندی کرد.

۴-۲-۱- دسته‌بندی گونه‌های مختلف بناها

وجود طیف بسیار گسترده‌ای از بناها و گونه‌های ساختمانی در ایران، که از سازه‌های بسیار مقاوم در برابر

زمین لرزه تا بناهای بسیار سست و ناپدیدار را در بر می‌گیرد، سبب می‌شود که بتوان سازه‌ها و بناها را به پنج گونه متفاوت تقسیم کرد. گونه بسیار سست در اروپا و امریکا یا وجود ندارد یا بسیار نادر است. در مقیاس پیشنهادی، گونه‌های موجود در ایران به شرح زیر دسته‌بندی شده‌اند:

۴-۲-۱-۱- بناهای بسیار سست (تیپ A)

در این بناها هیچ گونه تدابیر فنی و معیارهای مهندسی بکار برده نشده است. مصالح بکار برده شده بسیار سست و نامطمئن هستند. متأسفانه تعداد این بناها در ایران کم نیست، و از جمله این بناها عبارتند از:

- برخی از منازل مسکونی روستایی در مناطق دور افتاده کوهستانی که دیوارهای آنها سنگی بدون ملات (خشکه چینی) و سقف‌ها تیر چوبی پوشیده از گل رس و کاه‌گل می‌باشد.

- خانه‌های گلی که دیوارهای آنها از گل ورز داده شده (گل کوزه‌گری با کیفیت پائین‌تر) و سقف‌های آن، تیر چوبی پوشیده از گل و کاه‌گل است.

- خانه‌های دارای دیوار نازک (۲۰ و ۴۰ سانتی) خشت خام و گل با باز شوهای بزرگ و سقف‌های تیر چوبی، پوشیده از گل و کاه‌گل که به علت تعمیر هر ساله با کاه‌گل، ضخامت سقف‌ها زیاد و سنگین شده است.

- کلبه‌های گلی در باغ‌ها و کشتزارها، دیوارهای سنگی با ملات گل رس، دیوارهای گلی باغ‌ها و برخی از کشتزارها - برخی از بناهای تیپ B که بر روی زمین‌های بسیار سست از جمله خاک‌های دستی، ماسه‌های بسیار سست ساحلی و ... ساخته شده‌اند.

- برخی از بناهای تیپ B که بر روی دامنه‌ها در شرایط توپوگرافی نامساعد ساخته شده‌اند.

- برخی از بناهای تیپ B که عمر زیادی از آنها گذشته و در اثر مرور زمان پایداری خود را از دست داده‌اند

بناهای تیپ A در برخی از روستاهای دور افتاده مناطق خشک، در روستاهای دور افتاده کوهستانی، در پاره‌ای از مناطق ساحلی و در حاشیه برخی از شهرها وجود دارند.

۴-۲-۱-۲- بناهای سست (تیپ B)

این بناها، بناهای ضعیفی هستند که بدون طراحی مناسب و نظارت فنی و در سطح کیفی پایینی ساخته شده‌اند. مصالح

یکار برده شده در این ساختمان‌ها پایین‌تر از حد استاندارد است و نقاط ضعف عمده دارند، ولی به هر ترتیب، کیفیت مصالح این بناها از بناهای تپ A بهتر و یا دیوارهای آنها در مقایسه با تپ A ضخیم‌تر است. بازشوها کوچک‌تر و مناسب‌تر و سقف‌ها در مقایسه با تپ A نازک‌تر و مناسب‌تر است. این گونه ساختمان‌ها در برگزیده اکثر ساختمان‌های خشت و گلی روستایی و برخی از بناهای شهری است. مهم‌ترین سازه‌ها در این تپ عبارتند از:

- ساختمان‌های روستایی با دیوارهای ساخته شده از خشت و ملات گل که تمهیدات اندکی در آنها لحاظ شده است، از جمله در پی‌ساختمان و در بالای دیوار زیر تیر ریزی از دو تیر چوبی به عنوان شناژ افقی استفاده شده است.

- ساختمان‌های روستایی با دیوارهای خشت و گلی ضخیم و بازشوهای کوچک و پی‌سازی نسبتاً مناسب.

- ساختمان‌هایی که دیوارهای سنگی با ملات گل دارند. - کپر‌ها و ساختمان‌های اصطلاحاً زورآبادی که در پیرامون شهرها ساخته شده‌اند و معمولاً پی‌سازی آنها بسیار ضعیف است.

- اکثر ساختمان‌های قدیمی در شهرها که با مصالح نامرغوب ساخته شده‌اند.

- برخی از بناهای تپ C که بر روی خاک‌های سست و ناپایدار ساخته شده‌اند.

- برخی از بناهای تپ C که بر روی دامنه‌ها در شرایط توپوگرافی نامساعد ساخته شده و تمهیدات لازم در آنها رعایت نشده است.

- افزون بر ساختمان‌ها، برخی از سازه‌های دیگر در این گروه قرار می‌گیرند از جمله:

- پل‌های کوچک برای عبور عابر پیاده در مناطق کوهستانی.

- دیوارهای نازک پیرامون باغها و کشتزارها که با آجر و ملات معمولی ساخته شده‌اند.

- خاک ریزها و آب بندهای موقت، حوض‌های قدیمی و

۴-۲-۱-۳ - بناهای معمولی (تپ C)

در این گونه بناها اصولاً مقاومت در برابر زمین لرزه پیش‌بینی نشده و به این منظور طراحی نشده‌اند و یا اگر طراحی شده باشند با کیفیت مطلوب اجرا نشده است و مصالح آنها یا در حد استاندارد نیست و یا اگر مصالح در حد

استاندارد باشد، اجرای نامناسب و استفاده از ملات نامناسب سبب می‌شود که پایداری لازم در برابر زمین لرزه‌های بزرگ را نداشته باشند. این گونه ساختمان‌ها شمار بسیاری از ساختمان‌های شهری و شمار کمی از ساختمان‌های روستایی را شامل می‌شوند. برخی از آنها به شرح زیرند:

- ساختمان‌های با مصالح بنایی که کیفیت مصالح مصرفی در آنها خوب بوده و اجرای آنها نیز خوب است ولی تمهیدات لازم برای پایداری در برابر زمین‌لرزه در طراحی آنها در نظر گرفته نشده است.

- ساختمان‌های دارای نیمه اسکلت فلزی با دیوارهای باربر با طراحی مناسب اما اجرای نامناسب از جمله اجرای نامناسب اتصالات.

- ساختمان‌های خشت و گلی خوب ساخته شده که دارای سقف‌های گنبدی شکل هستند.

- برخی از ساختمان‌های مهندسی ساز که بر روی پی‌های طبیعی نامناسب بدون تمهیدات لازم برای به سازی پی قرار گرفته‌اند.

- بناهای یاد بودی که با مصالح معمولی ساخته شده‌اند. افزون بر ساختمان‌ها برخی سازه‌های دیگر در این گروه قرار می‌گیرند از جمله:

- پل‌های با مصالح بنایی که در مناطق روستایی ساخته شده‌اند.

- دیوارهای آجری نازک (۲۰ سانتی) طویل با ارتفاع بیش از حدود ۲ متر

- آب انبارهای قدیمی و بازسازی نشده

- برج‌های قدیمی ساخته شده از مصالح معمولی

- منابع آب هوایی غیرمهندسی ساز

- مناره‌ها و یا دیوارهای مناره‌ای شکل

- آبگیرها و استخرهای صحرایی

۴-۲-۱-۴ - بناهای با پایداری خوب (تپ D)

در این گونه بناها، مصالح مصرفی، خوب و طراحی و اجرای آنها نیز تا حد زیادی اصولی و منطبق بر معیارهای فنی انجام گرفته است، ولی این معیارها بطور کامل رعایت نشده و یا در پاره‌ای موارد کاستی‌هایی در اجرا وجود داشته است. به این گونه بناها اصطلاحاً ساختمان‌های مهندسی ساز گفته می‌شود. برخی از ساختمان‌های جدید و شمار کمی از ساختمان‌های قدیمی، که در ایران ساخته شده‌اند، در این گروه قرار می‌گیرند، از جمله:



- ساختمان‌های با اسکلت بتنی و یا فلزی که به صورت نسبتاً صحیح طراحی و اجرا شده‌اند و مصالح آنها نیز کیفیت لازم را داراست.

- ساختمان‌های با مصالح بنایی که به طور ویژه پایداری آنها در برابر زمین لرزه در هنگام طراحی و اجرا در نظر گرفته شده و تقویت‌های کافی در آنها به عمل آمده است و ضعف عمده‌ای در آنها وجود ندارد و افزون بر آن، مصالح بکار برده شده در آنها از کیفیت مطلوب برخوردار است.

- اکثر بناهای قدیمی که با استفاده از معماری سنتی ایران بویژه با سقف‌های گنبدی شکل و از مصالح مناسب ساخته شده‌اند.

- ساختمان‌های قدیمی که زمین لرزه‌های شدید گذشته را تحمل کرده و در آن هنگام آسیب سنگین به آنها وارد نشده است.

- ساختمان‌های چوبی معمولی

به طور کلی می‌توان گفت که برخی از ساختمان‌هایی که امروزه در برخی از شهرهای ایران بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ ایران طراحی و اجرا می‌شوند و از مصالح مناسب نیز در آنها استفاده می‌شود، در این گروه می‌گنجد. ناگفته پیداست که معیارهای فنی لازم در مورد پی طبیعی این ساختمان‌ها نیز باید بکار گرفته شود. افزون بر ساختمان‌ها برخی از سازه‌های دیگر نیز در این گروه قرار می‌گیرند از جمله:

- اکثر پل‌های ساخته شده از مصالح بنایی مناسب در راه‌ها

- اکثر آب انبارهای قدیمی

- اکثر بناهای مذهبی و تاریخی ساخته شده از مصالح

بنایی مناسب

- منابع آب هوایی

- سدهای خاکی کوچک و معمولی

- اکثر استخرهای شهری

۴-۱-۵ - بناهای بسیار خوب (تیپ E)

این گونه بناها به درستی و با در نظر گرفتن معیارهای فنی لازم و برای سطوح خیلی زیاد شتاب جنبش زمین طراحی شده‌اند. در آنها از مصالح ساختمانی با کیفیت مطلوب استفاده و در هنگام اجرا نکات لازم رعایت شده است. شمار بسیار اندکی از ساختمان‌های مسکونی در ایران در گروه A می‌گنجد. این تعداد که کمتر از ۱٪ ساختمانها را شامل می‌شوند، عمدتاً در تهران و برخی از شهرهای بزرگ

قرار دارند. ساختمان‌های زیر از جمله ساختمان‌هایی هستند که زیر مجموعه تیپ E است:

- ساختمان‌های با اسکلت بتنی یا فلزی که سیستم مناسب

مقاوم در برابر تنش‌های جانبی زمین لرزه دارند.

- ساختمان‌های قدیمی که زلزله‌های شدید را تجربه کرده

و گزندى ندیده‌اند.

- ساختمان‌هایی که پس از بررسی‌های لازم و آنالیز

رفتار لرزه‌ای با تمهیداتی در برابر سطوح بالایی از انرژی

زمین لرزه مقاوم سازی شده‌اند.

- ساختمان‌های کوتاه (یک طبقه و دو طبقه) که از

دیوارهای باربر با مصالح سنگی مطلوب و با ملات عالی و با

در نظر گرفتن معیارهای فنی لازم طراحی و اجرا شده‌اند.

- ساختمان‌های چوبی با طراحی و اجرای اصولی

افزون بر این ساختمان‌ها، برخی از سازه‌های دیگر نیز

در این گروه قرار می‌گیرند که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

- سدهای بزرگ خاکی و بتنی که برای سطوح بالای

شتاب جنبش زمین طراحی و اجرا شده‌اند.

- اکثر سازه‌های استراتژیک نظامی و صنعتی.

- نیروگاه‌های اتمی

۴-۲-۴ - درجه بندی گزندهای وارد بر بناها

با توجه به میزان و نوع گزندهای وارد به گونه‌های مختلف بناها در شدت‌های مختلف زمین لرزه، لازم است محدوده تغییرات این گزندها به گونه‌ای روشن و مشخص شود که بتوان از آنها در کاربردهای کمی و نیمه کمی استفاده کرد. به همین منظور، گزندهای سازه‌ای به پنج درجه به شرح زیر تقسیم شده‌اند:

۴-۲-۱ - گزند درجه یک (جزئی و سبک)

گزندهای درجه یک، گزندهای جزئی و سبکی هستند که در اجزای غیر سازه‌ای به ویژه در قسمت‌های پوششی ایجاد می‌شوند. این گزندها به سادگی و هزینه کم قابل ترمیم هستند و سبب ایجاد هیچ گونه ضعفی در ساختمان نمی‌شوند. از جمله این گزندها عبارتند از:

- ترک در اندوهای محل اتصال دیوارها، تیغه‌ها و سقف

- ترک گچ و خاک در محل اتصال تیغه‌هایی که همزمان

اجرا نشده‌اند

- ترک گچ و خاک در محل اتصال دیوارها و تیغه‌ها به

ستون‌های اسکلت‌های فلزی

- فروریزی بخشی از اندود گچی و غیره ...

۵ - تعریف واژه‌هایی که برای کمی کردن

گزندها بکار می‌روند

تجربه نشان داده است که گزندهای وارد بر سازه‌ها تنها تابع تیپ سازه نیست و به عوامل دیگر از جمله فرکانس طبیعی ساختمان و فرکانس زمین لرزه، که در مواردی سبب پدیده تشدید می‌شود، نوع زمینی که سازه روی آن بنا نهاده شده، جهت قرارگیری طول ساختمان و جهتی که بیشترین انرژی امواج زمین لرزه در آن جهت منتقل می‌شود و ... بستگی دارد. از این رو نمی‌توان انتظار داشت که ابتدا تمام بناهای تیپ A به طور کلی ویران شوند و بعد نوبت به بناهای تیپ B و غیره برسد. معمولاً شرایط بگونه‌ای است که برای مثال، درصد بیشتری از بناهای تیپ A نسبت به B ویران می‌شوند. از این رو، ممکن است در یک محل خاص یک ساختمان تیپ A پایدار بماند در صورتیکه یک سازه تیپ B ویران شود. بطور خلاصه می‌توان گفت که گزندها نسبی است و برای کمی کردن آنها به واژه‌های مناسبی نیاز است. واژه‌های زیر به این منظور مورد استفاده قرار گرفته‌اند:

چند، اندک، کم	حدود ۱۰ درصد
برخی، شماری	حدود ۳۰ درصد
بسیاری، شمار زیادی	حدود ۶۰ درصد
همه - تمام، شمار بسیار زیادی	حدود ۹۰ درصد

جدول (۲): محدوده واژه‌های کمی مورد استفاده

همه ۹۰٪	بسیاری ۶۰٪	شماری ۳۰٪	اندک ۱۰٪
۱۰۰٪	۷۵٪	۴۰٪	۲۰٪

۶ - درجه‌های مقیاس شدت معرفی شده

همان گونه که اشاره شد درجه‌های مقیاس معرفی شده، مشابهت زیادی با درجه‌های مقیاس MSK دارد و برای هماهنگی با این مقیاس، از علامت a برای بیان موارد مربوط به احساس کردن زمین لرزه و مشاهدات در هنگام روی دادن آن، b برای بیان گزندهای سازه‌ای و c برای بیان تغییرات در محیط، سطح زمین و آبهای زیرزمینی استفاده شده است.

۱-۶ - درجه I: زمین لرزه نامحسوس

a - زمین لرزه‌ای است که انسان آن را احساس نمی‌کند و فقط بوسیله دستگاه‌های لرزه نگار بسیار دقیق و حساس ثبت می‌شود.

۲-۶ - درجه II: زمین لرزه بسیار خفیف

a - فقط ممکن است اندکی از افراد که در طبقه‌های بالای ساختمان‌ها در حال استراحت هستند، این زمین لرزه احساس اندکی از اشیای آویزان خیلی ظریف، مانند لامپ‌ها، ممکن است نوسان کوچکی داشته باشند. در اندکی از موارد ممکن است پرندگان یا حیوانات، کمی مضطرب شوند.

۳-۶ - درجه III: زمین لرزه خفیف

a - برخی از افراد داخل ساختمان و بسیاری از آنهایی که در طبقه‌های بالای ساختمان هستند، این زمین لرزه را احساس می‌کنند. لرزش، مانند لرزش ناشی از عبور کامیون‌های سبک از کنار ساختمان است. اندکی از افراد در طبقه‌های بالا ممکن است لرزش خفیف شیشه‌ها و اشیای آویزان را متوجه شوند و تشخیص دهند که لرزش ناشی از زمین لرزه است. آبهای را کد در ظرف‌ها ممکن است کمی نوسان داشته باشند. بسیاری از پرندگان و حیوانات دچار ناراحتی می‌شوند.

۴-۶ - درجه IV: زمین لرزه محسوس

a - بسیاری از افراد بیدار داخل ساختمان‌ها و اندکی از افراد بیدار خارج از ساختمان‌ها لرزه حس می‌کنند. برخی از افراد (سبک خواب‌ها) بدون اضطرابی از خواب بیدار می‌شوند لرزش‌ها، مانند لرزش‌های ناشی از عبور وسایل نقلیه سنگین است. بسیاری از درب‌ها، پنجره‌ها و ظرف‌ها ب هم خورده و کمی صدا ایجاد می‌کنند. بسیاری از اشیای آویزان و مایعات داخل ظرف‌ها نوسان می‌کنند. اندکی از اتومبیل‌های ثابت کمی تکان می‌خورند. همه حیوانات ناآرام می‌شوند.

b - برخی از بناهای تیپ A و اندکی از سازه‌های تیپ B گزند درجه یک می‌بینند

۵-۶ - درجه V: بیداری افراد خوابیده

a - همه افراد داخل ساختمان‌ها و بسیاری از افراد خارج ساختمان‌ها لرزه را احساس می‌کنند و بسیاری از افراد خوابیده بیدار می‌شوند. اندکی از افراد نگران شده و به سوی خارج از ساختمان می‌دوند. درب‌ها و پنجره‌ها به هم می‌خورند. برخی از ظروف و شیشه پنجره‌ها شکسته می‌شود. برخی از اشیای ناپایدار واژگون می‌شود. همه اشیای آویزان و بسیاری از تابلوها تکان می‌خورند. مایعات داخل ظرف‌ها نوسان چشمگیر دارند. درخت‌ها و بوته‌ها تکان می‌خورند. حیوانات وحشت زده می‌شوند.

b - بسیاری از بناهای تیپ A گزند درجه یک، برخی از آنها گزند درجه دو و اندکی درجه سه و برخی از بناهای تیپ B گزند درجه یک و اندکی از آنها گزند درجه دو می‌بینند.

۶-۶ - درجه VI: هراس عمومی

a - لرزه را همه افراد احساس کرده و هراسناک می‌شوند. افراد به خارج از ساختمان‌ها می‌دوند. بسیاری از افراد در هنگام راه رفتن تعادل خود را از دست می‌دهند. بسیاری از شیشه‌های پنجره‌ها، ظرف‌ها و اشیاء شکستنی، شکسته می‌شوند. بسیاری از اشیاء و کتاب‌ها از داخل قفسه‌ها و قاب عکس‌ها و تابلوها از دیوارها سقوط می‌کنند. اسباب و اثاثیه‌ها حتی اشیاء سنگین حرکت می‌کنند و بسیاری از کمدها و ... واژگون می‌شوند و برخی از آنها شکسته می‌شوند. حیوانات، بیمناک شده و از محل خود ریمده و فرار می‌کنند. نوسان آب‌ها در حوض‌ها شدید است و در مواردی آب به بیرون حوض‌ها پرتاب می‌شود.

b - همه بناهای تیپ A گزند درجه دو، بسیاری از آنها گزند درجه سه و برخی گزند درجه چهار و اندکی گزند درجه پنج می‌بینند.

c - در مواردی نادر، تغییرات ناچیزی در آبدهی چشمه‌ها و چاه‌ها ایجاد می‌شود.

- بسیاری از بناهای تیپ B گزند درجه دو، برخی گزند درجه سه و اندکی گزند درجه چهار می‌بینند.

- برخی از بناهای تیپ C گزند درجه یک و اندکی درجه دو می‌بینند. اندکی از بناهای تیپ D گزند درجه یک می‌بینند.

توجه: درجه VI شدت را می‌توان با توجه به نوع و درصد گزندهای وارده به بناها در محدوده‌های تعریف شده به شدت VI⁺ و VI⁻ تقسیم کرد. به عنوان مثال، در VI⁻ همه

بناهای تیپ A گزند درجه یک، بسیاری از آنها گزند درجه دو، برخی گزند درجه سه و اندکی گزند درجه چهار می‌بینند. بسیاری از بناهای تیپ B گزند درجه یک، برخی درجه دو و اندکی گزند درجه سه می‌بینند و اندکی از بناهای تیپ C گزند درجه یک می‌بینند.

C - در برخی از موارد، تغییراتی در آبدهی چشمه‌ها و چاه‌ها ایجاد می‌شود. در زمین‌های ساحلی یا زمین‌های نرم دیگر ترک‌هایی ایجاد می‌شود.

۷-۶ - درجه VII: گزند به بناها

a - تمام افراد بیمناک شده و به سوی خارج از ساختمان‌ها می‌دوند و بسیاری از آنها نمی‌توانند تعادل خود را حفظ کنند. رانندگان، زمین لرزه را احساس می‌کنند. درختان و بوته‌ها بشدت تکان می‌خورند و در برخی از موارد، شاخه درختان شکسته می‌شود. پنجره‌ها و بسیاری از اسباب و اثاثیه و مبلمان‌ها شکسته می‌شوند. نوسان اشیاء آویزان بقدری شدید است که بسیاری از آنها از جمله لامپ‌ها شکسته می‌شوند.

b - بسیاری از بناهای تیپ A گزند درجه چهار و برخی گزند درجه پنج؛ بسیاری از بناهای تیپ B گزند درجه سه، برخی درجه چهار و اندکی درجه پنج؛ بسیاری از بناهای تیپ C گزند درجه دو، برخی گزند درجه سه و اندکی گزند درجه چهار می‌بینند. بسیاری از بناهای تیپ D گزند درجه یک، برخی گزند درجه دو می‌بینند. برخی از بناهای تیپ E گزند درجه یک و اندکی گزند درجه دو می‌بینند.

شدت درجه VII را نیز مانند درجه VI می‌توان براساس گزندهای وارده به بناها به درجه‌های VII⁻ و VII⁺ تقسیم کرد. در مورد شدت VII⁻ درصد بناهای گزند دیده و یا درجه گزند کاهش و برای VII⁺ این درصدها و یا درجه گزندها افزایش می‌یابد.

c - در آبدهی چشمه‌ها و چاه‌ها و سطح آب زیرزمینی تغییراتی ایجاد می‌شود. در برخی از موارد، چشمه‌ها و چاه‌های خشک، آبدار شده و یا چشمه‌های جاری و چاه‌های آبدار، خشک می‌شوند. در برخی محل‌های مستعد زمین لغزه‌هایی ایجاد می‌شود. آب استخرهای طبیعی، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها موج و گل‌آلود می‌شود. در بسیاری موارد، در سواحل شنی و ماسه‌ای و در پادگانه‌های شن و ماسه‌ای کنار رودخانه‌ها، ترک‌ها و حفره‌هایی ایجاد می‌شود و در اندکی موارد، در نقاط مستعد، زمین لرزه با سنگ ریزش همراه می‌شود.

۸-۶ - درجه VIII: ویرانی بناها

a - زمین لرزه همه مردم و حتی رانندگان را می‌ترساند. درختان به شدت تکان خورده و در برخی از موارد، شاخه آنها و در اندکی موارد، تنه آنها نیز شکسته می‌شود. اکثر وسایل و اثاثیه گزند اساسی دیده و غیرقابل استفاده می‌شوند. وسایل خیلی سنگین نیز به طور آشکاری حرکت می‌کنند.

b - بناهای تیپ A بکلی ویران می‌شوند. بسیاری از بناهای تیپ B ویران و بقیه، گزند درجه چهار دیده و غیرقابل استفاده می‌شوند.

بسیاری از بناهای تیپ C گزند درجه چهار و اندکی از آنها گزند درجه پنج می‌بینند. بسیاری از بناهای تیپ D گزند درجه دو، برخی گزند درجه سه و اندکی از آنها گزند درجه چهار می‌بینند. بسیاری از بناهای تیپ E گزند درجه یک و برخی گزند درجه دو و اندکی گزند درجه سه می‌بینند. درجه VIII را نیز می‌توان براساس درصد بناهای گزند دیده در هر یک از تیپ‌های درجه گزند، به درجه‌های VIII⁻ و VIII⁺ تقسیم‌بندی کرد.

c- در بسیاری از موارد، سطح آب زیرزمینی و میزان آبدهی چاه‌ها و چشمه‌ها تغییر می‌یابد و ممکن است سبب خشک شدن موقت چاه‌ها و چشمه‌های جاری و یا آبدار شدن موقت یا دائم چشمه‌ها و چاه‌های خشک شود. درجه حرارت آب‌های زیرزمینی (آب چشمه‌ها و چاه‌ها) در مواردی تغییر می‌کند. آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها متلاطم و گل آلود می‌شود. در بسیاری از مناطق مستعد زمین لغزه ایجاد می‌شود. در برخی از موارد، ممکن است این لغزش‌ها سبب بسته شدن مسیر یک رودخانه و ایجاد یک سد طبیعی شود. سنگ ریزش در بسیاری از مناطق مستعد اتفاق می‌افتد. در زمین‌های نرم، شکاف‌های بزرگ ایجاد می‌شود که بازشدگی آنها به چندین سانتیمتر می‌رسد. در برخی از موارد، گسلش سطحی مشاهده می‌شود.

۶-۹ - درجه IX: گزند فراگیر به بناها

b - تمام بناهای تیپ‌های A و B بکلی ویران می‌شوند. بسیاری از بناهای تیپ C ویران و بقیه گزند درجه چهار می‌بینند. اندکی از بناهای تیپ D ویران، برخی گزند درجه چهار بسیاری گزند درجه سه و اکثر آنها گزند درجه دو می‌بینند. برخی از بناهای تیپ E گزند درجه سه و بسیاری از آنها گزند درجه دو و تقریباً همه آنها گزند درجه یک می‌بینند. شدت درجه IX را مانند شدت‌های VIII و VII براساس درصد بناهای گزند دیده و درجه گزند، می‌توان به شدت‌های IX⁻ و IX⁺ تقسیم کرد.

c - از مهم ترین نشانه‌های شدت IX، تغییر در سطح آب زیرزمینی، خشک شدن چاه‌ها و چشمه‌های دایر و یا آبدار شدن چشمه‌های خشک، ایجاد آب فشان و گل‌فشان در زمین‌های مستعد، ایجاد پدیده روان گونگی در محل‌های

مستعد ایجاد زمین لغزه‌های بزرگ و کوچک و در برخی از موارد، بسته شدن مسیر رودها و ایجاد سدهای طبیعی است. افزون بر نشانه‌های سنگ ریزش‌ها در مناطق کوهستانی زیاد است که در برخی از موارد باعث بسته شدن راه‌ها می‌شود. در اثر لغزش زمین در برخی از نقاط، راه‌های کوهستانی تخریب یا بسته می‌شود. ترک‌ها و شکاف‌های گسترده و بسیار عریض در دامنه‌ها، زمین‌های نرم و ساحل رودخانه‌ها ایجاد می‌شود که گاهی با حفره‌های بزرگ همراه است. در زمین‌های سخت‌تر ترک‌های کوچک به میزان زیاد ایجاد می‌شود. در دریاچه‌ها و استخرهای طبیعی رودخانه‌ها تلاطم شدید ایجاد می‌شود. به طوری که ماهی‌ها به بیرون آب پرتاب می‌شوند. گسلش سطحی گسل سبب روی داد زمین لرزه تا چند ده کیلومتر و با جابجایی چند ده سانتیمتر و حتی بیشتر از آن می‌شود.

- حرکات زمین سبب شکسته شدن سیستم‌های لوله‌کشی داخل زمین می‌شود. جاده‌ها گزند اساسی می‌بینند. ریل‌های راه آهن خم می‌شود. کابل‌های برق و تلفن قطع می‌شود و به طور کلی به شریان‌های حیاتی گزند اساسی می‌رسد. در دیواره تونل‌ها ترک‌هایی ایجاد می‌شود و در تونل‌هایی که همراه پوشش نیستند، این ترک‌ها، همراه با ریزش‌های سنگی از دیواره و سقف هستند.

۶-۱۰ - درجه X: ویرانی بناها

b - تمام سازه‌ها و بناهای تیپ A، B و C و بسیاری از بناهای تیپ D گزند درجه پنج می‌بینند؛ یعنی کاملاً ویران می‌شوند. بسیاری از بناهای تیپ D گزند درجه چهار و برخی از آنها گزند درجه پنج می‌بینند. اندکی از سازه‌های تیپ E گزند درجه پنج، برخی گزند درجه چهار و بقیه گزند درجه سه می‌بینند.

شدت X نیز براساس درصد بناهای آسیب دیده و میزان گزندها قابل تقسیم به X⁻ و X⁺ است.

c - سطح آب زیرزمینی به شدت دچار تغییر می‌کند، چشمه‌های جدید ایجاد می‌شود و یا ممکن است چشمه‌های جاری خشک شوند. زمین‌های سست در دامنه‌ها فرو می‌ریزند. زمین در حد زیادی شکاف برمی‌دارد به گونه‌ای که عرض برخی از شکاف‌ها به بیش از یک متر می‌رسد. ماسه و گل در سواحل دریا و زمین‌های نرم مسطح به طور افقی تغییر مکان یافته و در مواردی سطح زمین به صورت موج در می‌آید. پدیده‌هایی مانند گل‌فشان، آب فشان و روان گونگی

در محل‌های مستعد به حد چشمگیری مشاهده می‌شود. آب در سواحل رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، کانال‌ها و غیره به خارج پرتاب می‌شود و حتی در مواردی ماهی‌ها نیز به بیرون پرتاب می‌شوند. زمین لغزش‌های وسیع و پر تعداد در مناطق مستعد ایجاد می‌شود و در مواردی، مسیر رودخانه‌ها سد شده و دریاچه‌هایی ایجاد می‌شود. پدیده شکست بزرگ مقیاس زمین روی می‌دهد و در یک منطقه گسترده سبب تغییرات عمده‌ای در سطح و جهت جریان آب‌های زیرزمینی و نشست‌ها و یا بالا آمدگی‌های زمین می‌شود. گسلش سطحی گسل سبب رویداد زمین لرزه با جابجایی بیش از یک متر در طول حدود یکصد کیلومتر در سطح زمین ایجاد می‌شود.

جابجایی‌ها و ترک‌های بزرگ زمین سبب گزند اساسی به شبکه‌های لوله‌های زیرزمینی می‌شود و اکثر آنها شکسته و کاملاً غیرقابل استفاده می‌شود. سطح خیابان‌ها و پیاده روها بشدت ترک برمی‌دارد و در مواردی خیابان‌ها غیرقابل استفاده می‌شوند. ریل‌های راه آهن خم شده و در مواردی کنده و پرتاب می‌شوند. قطارها از جا کنده شده و پرتاب می‌شوند و ...

۶-۱۱- درجه XI: زمین لرزه فاجعه آمیز

تمام سازه‌ها و بناهای تیپ A، B، C و D و بسیاری از بناهای تیپ E ویران می‌شوند و بقیه گزند درجه چهار می‌بینند. تنها برخی از سازه‌های تیپ E که برای شتاب‌های زیاد طراحی و اجرا شده باشند، ممکن است پایدار بمانند. سازه‌های استراتژیک؛ مانند سدهای بزرگ نیروگاه‌ها، بویژه نیروگاه‌های اتمی متحمل گزندهایی می‌شوند.

ع - شکست بزرگ مقیاس زمین روی می‌دهد و تغییرات بسیار شدیدی در سطح آب‌های زیرزمینی و آبدی‌چاه‌ها و چشمه‌ها حاصل می‌شود. در محل‌های مستعد، آب همراه با گل و ماسه به مقدار زیاد از زمین خارج می‌شود. پدیده روانگرایی در محل‌های مستعد حاصل می‌شود و سبب تغییرات زیادی در زیر و روی زمین می‌شود. امواج دریا با دامنه خیلی بزرگ ایجاد می‌شود. گل فشان و آب فشان‌های پرشماری در محل‌های مستعد مشاهده می‌شود. شکاف‌هایی با بازشدگی زیاد و ژرف و فروافتادگی‌های ناگهانی پرشماری ایجاد می‌شود. در محل‌های مستعد، زمین لغزه‌های بسیار بزرگ روی می‌دهد که در مواردی سبب سد شدن مسیر رودخانه شده و در مناطق کوهستانی دریاچه‌هایی را ایجاد

می‌کند. زمین لرزه‌های کوچک و سنگ ریزش‌های پرشماری در محل‌های مستعد چشمگیر هستند.

گسلش سطحی تا افزودن بر یکصد و چند ده کیلومتر و همراه با یک زون گسله تا چند صد متر ایجاد می‌شود که سبب پله‌پله شدن زمین در این زون می‌شود. گاهی چندین گسلش سطحی تقریباً موازی ایجاد می‌شود که فاصله آنها ممکن است به چندین کیلومتر برسد که شبیه به پدیده‌های هورست و گراین هستند. جابجایی‌های عمودی و افقی در زون گسله به چندین متر می‌رسد.

ع' - جابجایی‌های شدید، شکستگی‌های بزرگ و موج شدن سطح زمین سبب ویرانی شبکه‌های زیرزمینی می‌شود. بزرگراه، خیابان‌ها، و راه‌ها بقدری گزند می‌بینند که غیرقابل استفاده می‌شوند. ریل‌های راه آهن بکلی خمیده شده و پرتاب می‌شوند. تأسیسات زیرزمینی و تونل‌ها بشدت گزند می‌بینند. پل‌های مهم و استراتژیک نیز گزند اساسی می‌بینند.

۶-۱۲- درجه XII: شکست بزرگ مقیاس زمین

ب - گزند ناشی از زمین لرزه به همه سازه‌ها فراگیر است و تمام آنها ویران می‌شود.

ج - تغییرات در سطح زمین بقدری شدید است که خطوط تراز توپوگرافی جدید ایجاد می‌شود. سطح زمین بشدت موج می‌شود و حفره‌ها و تپه‌های کوچک جدید ایجاد می‌شود. ترک‌ها و زمین لغزش‌ها، سنگ ریزش‌ها و فروافتادگی‌ها، بسیار گسترده و پرشمار است. شکست‌های چشمگیر در دامنه‌های سنگی ایجاد می‌شود و قطعات بسیار بزرگ سنگی از کوه جدا و فرو می‌افتد. سد شدن مسیر رودخانه‌ها، تغییر مسیر رودخانه‌ها و آبراهه‌ها، ایجاد دره یا چاله‌های طبیعی در محل‌های مستعد به فراوانی صورت می‌گیرد. گسلش سطحی در مجموع فراتر از یکصد و پنجاه کیلومتر رخ می‌دهد و در مواردی ممکن است در چند گسل موازی هم گسلش رخ دهد، احتمال گسلش همزمان دو گسل موازی با فاصله چندین کیلومتری و ایجاد پدیده‌های مانند هورست و گراین وجود دارد. زون‌های گسلش ممکن است به بیش از یک کیلومتر برسد. در این زون‌ها زمین به صورت پله‌پله در می‌آید و جابجایی‌های قائم و افقی به چندین متر می‌رسد.

بسیاری از آبراهه‌ها و رودخانه‌ها در برخی از محل‌ها بویژه در زون گسلش سطحی تغییر مسیر می‌دهند. گل فشان‌ها و آب فشان‌ها در مناطق مستعد، بسیار پر شمار است

و تغییرات توپوگرافی بقدری شدید است که ممکن است آبشارهای جدید ایجاد شود.

– تقریباً تمام خیابان‌ها، راه‌ها، راه‌های آهن گزند اساسی دیده و غیرقابل استفاده می‌شوند. تقریباً تمام شبکه‌های زیرزمینی آب، تلفن، برق و ... بکلی گزند دیده و غیرقابل استفاده می‌شوند.

۷- نتیجه

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که در ایران، شرایط ویژه فرهنگی، مانند استفاده از نوع اسباب و اثاثیه، و گونه‌های مختلف بناها و ساختمان‌هایی وجود دارد که این شرایط و بناها یا در آمریکا و اروپا وجود ندارند یا بسیار اندک است. از این رو می‌توان از آنها برای برآورد شدت زمین‌لرزه‌ها در ایران استفاده کرد. واژه‌های مورد استفاده در برآورد شدت زمین‌لرزه‌ها تا حد امکان کمی تر و کاربردی تر شده و معیارهای کاربردی برای زمین شدت زمین‌لرزه‌ها در ایران ارائه شده است. سرانجام، یک مقیاس دوازده‌گانه هماهنگ با مقیاس MSK معرفی و ویژگی‌های هر یک از این درجه‌ها ارائه شده است. با توجه این معیارها می‌توان شدت زمین‌لرزه‌ها را در ایران با دقت بیشتری برآورد کرد.

۸- مراجع

- [۱] معین فر، علی اکبر؛ "رویداد دشت بیاض و فردوس" انتشارات دفتر فنی سازمان برنامه، نشریه شماره ۲۱، تیرماه ۱۳۴۸.
- [۲] معین فر، علی اکبر و همکاران؛ "زلزله‌های ۲۱ تیر ۶۵ هرایزر و ۲۰ مرداد ۶۷ دره گرگ نورآباد ممسنی و بررسی فعالیت لرزه خیزی این منطقه" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، چاپ اول، تیرماه ۱۳۶۹.
- [۳] معین فر، علی اکبر؛ "گزارش فنی مقدماتی و فوری زلزله ۲۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، چاپ دوم، اردیبهشت ۱۳۷۰.
- [۴] رزاقی آذر، ناهید و همکاران؛ "گزارش مقدماتی زلزله سفیدآبه، ۴ اسفند ۱۳۷۲" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، اسفند ۱۳۷۲.
- [۵] رمضی، حمیدرضا و همکاران؛ "گزارش مقدماتی - فوری زمین لرزه ۱۶ بهمن ۱۳۷۵ گرمخان" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، بهمن ۱۳۷۵.
- [۶] نیری، علی و همکاران؛ "گزارش مقدماتی زمین‌لرزه ۱۰ اسفند ۱۳۷۵ سرعین" مرکز تحقیقات ساختمان و

مسکن، چاپ اول، بهار ۱۳۷۶.

- [۷] تپو، مهران و همکاران؛ "زمین‌لرزه ۷۵/۱۲/۱۰ گلستان، اردبیل" موسسه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی رمضی، حمیدرضا و همکاران؛ "زمین‌لرزه ۲۰ اردیبهشت ۱۳۷۶ زیرکوه قائنات" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ۱۳۷۶.
- [۸] میرزایی علیوجه، حسین و همکاران؛ "گزارش مقدماتی زمین لرزه ۷۶/۱۲/۲۳ گلباف" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، چاپ اول، ۱۳۷۷.
- [۹] عباس نژاد، احمد؛ داستانبور، محمد؛ "زلزله‌ها و زلزله خیزی استان کرمان" انتشارات خدمات فرهنگی کرمان، کرمان ۱۳۷۸.
- [۱۰] رمضی، حمیدرضا؛ "تعیین یک مقیاس برای برآورد شدت زمین‌لرزه‌ها در ایران" طرح پژوهشی مستقل، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۲.
- [۱۱] *World Data Center A for Solid Earth Geophysics 1979, "Manual of Seismological Observatory practice Report SE-20"*
- [۱۲] *Ambraseys N.N and C.P. Melville 1982, "A history of Persian Earthquakes" Cambridge Earth Science Servies.*
- [۱۳] *Chandra, U., and McWhorter, j. G., and Nowroozi, A.A. "Attenuation of Intensities in Iran" Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 75, No. 5, 1985, PP 237-249.*
- [۱۴] *Ramazi. H. R. and V.Schenk, 1994 "Preliminary Results Obtained by a Processing of Iranian Accelerograms" XXIV General Assembly of European Seismological Commission, Athens, Greece, 1994.*
- [۱۵] *Ramazi. H.R. "Attenuation Laws of Iranian Earthquakes" 3th International Conference on Seismology and Eathquake Engineering. Tehran. Iran. 1999.*
- [۱۶] *Ohta, Y, H. Kagami and S.Okada, 1987. "Seismic Intensity and its Applications to Engineering: A Study in Japan" Strong Ground Motion Seismology. D. Reidel Publishing Company. 1987.PP 369-384.*

زیرنویس‌ها

^۱Medvedev- sponherer- karnik

^۲Modified- Mercally- Intensity

^۳Japan Meteorological Agency Intensity scale