

رابطه میان بزرگی و شدت و کاهیدگی شدت زمین لرزه‌ها

در ایران

نویسنده: دکتر حمیدرضا رمزی* و دکتر محمدرضا حسین نژاد**

Intensity-Magnitude Relationship and Intensity Attenuation Law in Iran

By: Dr. H.R. Ramazi* & Dr. M.R. Hosein Nejad**

چکیده

در این مقاله به بررسی پیوند میان بزرگی و شدت زمین لرزه‌ها در مرکز آنها از یک سوی و میزان و چگونگی کاهش شدت زمین لرزه‌ها از مرکز یا چشمه لرزه‌ای به فواصل دورتر، از سوی دیگر پرداخته شده است. در آغاز به دیباچه‌ای از پژوهش‌های انجام شده در جهان و ایران پرداخته شده و رابطه‌های موجود در این زمینه ارائه شده است. سپس ۲۱ زمین لرزه بزرگی روی داده در ایران در فاصله زمانی ۱۳۳۶ تا ۱۳۷۶ خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته است. با تحلیل داده‌های دستگاهی و مهلرزه‌ای مربوط به این ۲۱ زمین لرزه، دو رابطه میان شدت زمین لرزه‌ها در مرکز و بزرگی آنها برآورد شده است. یکی از این دو رابطه برای ساختگاه‌های نرم (خاکها و آبرفت‌های نامتراکم، واریزه‌ها و...) و دیگری برای ساختگاه‌های سخت (سنگها و آبرفت‌های متراکم و...) به دست آمده‌اند. کاهیدگی و افت شدت زمین لرزه‌ها در فواصل مختلف از چشمه لرزه‌ای یا مرکز زمین لرزه نیز مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به شرایط ساختگاهی، دو رابطه برای کاهیدگی شدت زمین لرزه‌ها برای ساختگاه‌های سخت و نرم برآورد شده است.

کلید واژه‌ها: زمین لرزه، شدت زمین لرزه، بزرگی، پیوند کاهیدگی، اثر ساختگاهی، ایران.

Abstract

This paper is devoted to explore the relationship between earthquake intensity in the epicenter and its magnitude as well as the intensity attenuation laws of the Iranian earthquakes. For this purpose, available data, reports, seismotectonic and isoseismal maps, related to 21 destructive earthquakes in a period of 1957 to 1998, were studied.

The results show that the intensity-magnitude relationships and the intensity attenuation laws are strongly dependent on the site geology that specifies local effects. Therefore, the sites have been classified, according to site geology, into two groups, hard sites and soft sites. The intensity-magnitude and intensity attenuation versus the distance from the earthquake sources (surface refaulting of the causative fault(s)) were determined and introduced for each of the two site groups. Finally, the obtained laws were compared with some other laws offered by other researchers.

Key words : Earthquake, Earthquake intensity, Magnitude, Intensity attenuation laws, Site effect, Iran

پیش‌نوشتار

بودن زمین لرزه و آسیب‌های ناشی از آن در محدوده بیشترین شدت زمین لرزه در دست می‌باشد، می‌توان با پردازش داده‌های مهلرزه‌ای زمین لرزه‌های همسان در سده بیستم، که داده‌های دستگاهی مربوط به آنها نیز در دست است، رابطه‌ای برای برآورد بزرگی زمین لرزه‌های تاریخی به

رابطه میان شدت زمین لرزه در مرکز آن و بزرگی زمین لرزه، برای برآورد بزرگی زمین لرزه‌های تاریخی که درباره آنها داده‌های دستگاهی در دسترس نیست، از دیرباز مورد توجه پژوهشگران بوده است. از آنجا که در مورد زمین لرزه‌های تاریخی داده‌هایی از وسعت گسترده قابل حس

آسیب‌های ناشی از آن و شدت زمین لرزه در فواصل دورتر از چشمه لرزه‌ای از (I_o^{Estev}) می‌شود. کاهیدگی شدت نسبت به فاصله از کانون یا فاصله چشمه لرزه‌ای (گسل مسبب) به وسیله برخی از پژوهشگران بررسی شده است.

قالب کلی رابطه میرایی که مورد استفاده بیشتر پژوهشگران قرار گرفته، به شرح زیر است:

$$I_R = I_o + a + bR + c \log R \quad (6)$$

که در آن I_R شدت زمین لرزه در فاصله R کیلومتر از مرکز زمین لرزه‌ای با شدت مرکزی I_o بوده و a ، b و c ضرایبی هستند که برای هر منطقه متفاوت می‌باشند.

بر پایه این رابطه، محققان روابط متعددی ارائه نموده‌اند که برخی از آنها به شرح زیر است [11,10,3,2,6]:

$$-a(1964)^{Estev}$$

$$I = 8.16 + 1.45M - 2.46 \ln(R) \quad (7)$$

- Gupta(1976) برای نواحی مرکزی آمریکا:

$$I_R = I_o + 2.35 - 0.00316R - 1.79 \log R \quad (8)$$

- Howell&Schultz (1975) برای نواحی مختلف آمریکا:

$$(9) \quad \text{San Andreas منطقه}$$

$$I_R = I_o + 0.0874 - 0.01864R - 0.422 \ln R$$

$$(10) \quad \text{Cordilleran منطقه}$$

$$I_R = I_o + 1.802 - 0.009R - 0.628 \ln(R)$$

$$I_R = I_o + 3.278 - 0.0029R - 0.989 \ln(R) \quad (11) \quad \text{منطقه باختری}$$

باید تأکید کرد که هر یک از این روابط و روابط مشابه دیگر بر اساس داده‌ها و اطلاعات در منطقه خاصی تهیه شده و به کارگیری آنها برای نقاط دیگر باید با احتیاط انجام گیرد. زیرا ممکن است با خطای زیاد همراه باشد.

در مورد کاهیدگی شدت در ایران زمین نیز بررسی‌هایی انجام شده که مهم‌ترین آنها به شرح زیر است [6,7,9]:

$$\text{Chandra, Mc. Whrter\& Nowroozi(1979)}$$

$$(12) \quad \text{کاهیدگی متوسط}$$

$$I_R = I_o + 6.453 - 0.00121R - 4.96 \log(R + 20)$$

دست آورد. از سوی دیگر، با بررسی شدت زمین لرزه‌های ویرانگر گذشته، می‌توان پیوندی میان شدت زمین لرزه با بزرگی و فاصله از گسلش سطحی گسل مسبب رویداد زمین لرزه به دست آورد. به عبارت دیگر می‌توان رابطه‌ای به دست آورد که میزان شدت زمین لرزه‌ای با بزرگی معین را در فواصل مختلف نشان دهد. چنین رابطه‌ای، رابطه کاهیدگی شدت نامیده می‌شود که در این مقاله به کاهیدگی شدت زمین لرزه‌ها در ایران پرداخته شده است.

دیباچه

امکان برآورد بزرگی زمین لرزه تنها با استفاده از شدت در مرکز آن، از دیرباز به وسیله پژوهشگران بسیاری از جمله Gutenberg&Richter(1956) و Karnik(1968) بررسی شده و پیوندهایی نیز به شرح زیر پیشنهاد گردیده است [1]:

$$M = 1 + \frac{2}{3} I_o \quad (1)$$

که در آن M بزرگی ریشتر ML و I_o شدت در مرکز زمین لرزه است. Mohajer Ashjaei & Nowroozi (1978) رابطه زیر را برای زمین لرزه‌های ایران زمین پیشنهاد کرده‌اند [2]:

$$M = 1.65 + 0.59 I_o \quad (2)$$

Ambraseys and Melville(1982) با پردازش شماری زمین لرزه سده بیستم میلادی در ایران که بزرگی و شدت آنها در مرکز زمین لرزه تا حدودی مشخص بوده است، پیوند زیر را پیشنهاد داده‌اند [6].

$$M_s = 0.77 I_o - 0.07 \quad (3)$$

Ramazi & Karnik(1994) با بررسی زمین لرزه‌های ویرانگر ایران زمین به این نتیجه رسیدند که شدت زمین لرزه در مرکز آن، افزون بر بزرگی زمین لرزه، تابع شرایط ساختگاه نیز می‌باشد. بر این اساس، ایشان دو رابطه زیر را برای شرایط ساختگاهی خاک و آبرفت نرم از یک سو و برای سنگ سخت از سوی دیگر ارائه کرده‌اند.

$$M_s = 0.76 I_o - 0.1 \quad (4) \quad \text{ساختگاه‌های نرم}$$

$$M_s = 0.81 I_o - 0.12 \quad (5) \quad \text{ساختگاه‌های سخت}$$

با توجه به جذب بخشی از انرژی امواج زمین لرزه به وسیله موادی که این امواج در آنها گسترش می‌یابند، می‌توان نتیجه گرفت که انرژی امواج با دور شدن از چشمه لرزه‌ای کاهش می‌یابد. این کاهش انرژی سبب کاهش

داده‌های مورد استفاده

برای بررسی ویژگیهای شدت و برآورد روابط کاهیدگی شدت زمین لرزه‌های ایران، نقشه‌های هم‌مرز مربوط به ۲۱ زمین لرزه که بین سالهای ۱۳۳۶ تا ۱۳۷۶ در قسمتهای مختلف ایران روی داده، مورد مطالعه قرار گرفتند. ویژگیهای اساسی مربوط به این زمین لرزه‌ها در جدول ۱ خلاصه شده است.

داده‌های مربوط به زمین لرزه‌های مورد بررسی از نقشه‌ها و گزارشهای مربوط به آنها (مراجع ۱۲ الی ۲۴) استخراج شده و پردازشهای لازم در مورد آنها انجام شده است. در مواردی که چند گزارش یا نقشه درباره یک زمین لرزه وجود داشته است، کوشش شده تا با نظر کارشناسی، مناسب‌ترین نقشه یا داده‌های در دسترس مورد استفاده قرار گیرد.

در مورد بیشتر زمین لرزه‌ها، دست کم یک گزارش در دسترس است. اما در برخی موارد، بیش از یک گزارش وجود دارد که در زیر به آنها اشاره می‌شود. در مورد زمین لرزه ۱۳ دسامبر ۱۹۵۷ میلادی (۲۲ آذر ۱۳۳۶ هجری خورشیدی همدان، رویداد شماره ۲) سه نقشه هم لرز در دسترس است که در تحقیق حاضر نقشه هم‌مرز تهیه شده توسط امبرسیز و همکاران مورد استفاده قرار گرفته است. ظاهراً این نقشه تکمیل و اصلاح شده نقشه هم‌مرز ارائه شده توسط پروناسی (Peronaci) است که در مقایسه با دو نقشه دیگر که به وسیله هاگیوارا (Hagiwara) و نایتو (Naito) تهیه شده، واقعی‌تر به نظر می‌رسد.

در مورد زمین لرزه اول سپتامبر ۱۹۶۲ میلادی (۱۰ شهریور ۱۳۴۱ بوئین زهرا - قزوین، رویداد شماره ۵)، چهار نقشه هم‌مرز مختلف در دسترس است. نقشه هم‌مرز تهیه شده به وسیله Mohajer & Pierce (1963) دارای رفتار منظم فراتر از حد معمول از خطوط هم‌مرز است که نشان می‌دهد در تهیه آن دیدگاه نظری چیره بوده است. نقشه هم‌مرز مؤسسه ژئوفیزیک آمریکا (1963) نیز افت شدید شدت را نسبت به فاصله به تصویر می‌کشد، به گونه‌ای که درستی آن را مورد تردید قرار می‌دهد.

نقشه‌های شدت تهیه شده به وسیله امبرسیز و اواموتو (Omoto) و همکاران وضعیت واقعی‌تری را نشان می‌دهد. از این رو در این بررسی، نقشه تهیه شده به وسیله امبرسیز مورد استفاده قرار گرفت.

برای زمین لرزه ۹ شهریور ۱۳۴۷ دشت بیاض (رویداد شماره ۸)، از نقشه خطوط هم‌مرز ارائه شده توسط معین فر (۱۳۴۸) استفاده شده است. البته در مورد این رویداد دو نقشه هم‌مرز دیگر توسط بایر (Bayer) و همکاران در مؤسسه ژئوفیزیک آمریکا (1969) نیز موجود است که تفاوت چشمگیری با هم ندارند.

در مورد رویدادهای ۱۳ تا ۲۱، مستقیماً از نقشه‌های هم‌مرز منتشر شده توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (مراجع ۱۴ الی ۲۰)، در مورد

به موازات خطوط هم ارز (۱۳)

$$I_R = I_0 + 4.824 - .0058R - 3.708 \log(R + 20)$$

عمود بر خطوط هم ارز (۱۴)

$$I_R = I_0 + 8.729 + .01158R - 6.709 \log(R + 20)$$

Ambraseys & Melville (1982) (۱۵)

$$I_0 - I = -3.44 + .002R + 3.1 \log R$$

Ramazi & Karnik (1993) پس از بررسی و مطالعه رابطه بالا (۱۵)

و تطبیق آن با وضعیت زلزله‌های رویداده بعدی، نشان دادند که این رابطه شدت را در فاصله ۱ تا ۱۳ کیلومتری از مرکز، بیشتر از شدت در مرکز زمین لرزه برآورد می‌کند. از این رو، آنها با توجه به بازنگری و بررسی زمین لرزه‌های ایران، رابطه‌های زیر را بر اساس فاصله از گسلش سطحی، برای کاهیدگی شدت در ایران پیشنهاد داده‌اند:

برای خاک و آبرفت نرم (۱۶)

$$I_R = 1.31M_s + 3.75 - .002R - 3.1 \log(R + 15)$$

برای سنگ و آبرفت سخت (۱۷)

$$I_R = 1.23M_s + 3.63 - .002R - 3.1 \log(R + 15)$$

که در آن I شدت در فاصله R کیلومتری از گسلش سطحی و Ms بزرگی زمین لرزه در مقیاس امواج سطحی است.

همانگونه که دیده می‌شود کوشش شده است که رابطه‌های پیشنهادی، پیچیدگی چندانی نداشته باشند. از جمله در بیشتر رابطه‌های پیشنهادی، نقش موارد مهم مانند زمین شناسی ساختگاه نادیده گرفته شده است. گرچه در رابطه ارائه شده توسط رمضی و کارنیک برخی از کاستیهای فوق رفع شده، اما با توجه به رویداد زمین لرزه‌های ویرانگر اخیر، نیاز به بررسیهای تازه در این مورد حساس می‌شود.

بررسی ویژگیهای شدت زمین لرزه‌ها و کاهیدگی آنها در ایران

ویژگیهای کاهیدگی و افت شدت نسبت به فاصله، از نقطه‌ای به نقطه دیگر فرق می‌کند. از این رو بسیاری از پژوهشگران مانند Brazee, Gupta & Merz, Cornell & Howell, & Nutt و Gupta ضمن تدوین و ارائه راهکارهای تعیین رابطه‌های کاهیدگی شدت برای گستره‌های متفاوت، بر لزوم تدوین روابطی مستقل برای هر گستره ویژه تأکید کرده‌اند.

از این رو در این پژوهش تلاش شده است تا با بررسی زمین لرزه‌های ویرانگر ایران، بویژه زمین لرزه‌های مهم دهه‌های اخیر، رابطه‌هایی برای کاهیدگی شدت زمین لرزه‌ها در ایران برآورد و ارائه شود.

امبرسیز و ملویل (۱۹۸۲)، رمضی و کارنیک (۱۹۹۴) و ایمانی (۲۰۰۲) در جدول ۲ مقایسه شده‌اند.

همانگونه که در جدول ۲ دیده می‌شود، شرایط ساختگاه، تأثیر در خور توجهی بر شدت زمین لرزه‌ها دارد. به گونه‌ای که برای زمین لرزه‌ای با بزرگی Ms حدود ۷.۵، شرایط ساختگاه باعث تغییرات شدت زمین لرزه بین ۰/۵ تا ۰/۸ درجه مرکالی اصلاح شده و یا MSK می‌شود.

شرایط ساختگاهی تنها در رابطه‌های ارائه شده از سوی رمضی و کارنیک و این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که روابط پیشنهادی توسط پژوهشگران دیگر، برای شرایط ساختگاهی خاک نرم مناسب‌تر هستند تا برای ساختگاههای سخت. با توجه به شرایط لرزه‌خیزی ایران، بزرگ‌ترین زمین لرزه محتمل دارای Ms حدود ۸ خواهد بود که در این صورت در شرایط ساختگاهی سنگ سخت، شدت زمین لرزه حدود درجه X، و برای خاک نرم، این شدت حدود درجه XI⁻ در مقیاس MSK خواهد رسید. برای زمین لرزه‌ای با بزرگی Ms، ۷/۵ شدت در شرایط بالا به ترتیب برابر درجه IX⁺ و X برآورد می‌شود.

برآورد رابطه‌های کاهیدگی شدت زمین لرزه در ایران

همان گونه که اشاره شد، پژوهشگران متعددی نحوه کاهش شدت زمین لرزه‌ها را از مرکز به فواصل دورتر مورد بررسی قرار داده‌اند و رابطه‌هایی نیز برای کاهیدگی شدت زمین لرزه در مناطق مختلف دنیا ارائه کرده‌اند که نمونه‌هایی از آنها در بخشهای پیش ارائه شد (روابط ۶ الی ۱۸).

بررسی داده‌های در دسترس در مورد زمین لرزه‌هایی که در جدول ۱ آورده شده‌اند، به این نتیجه رهنمون می‌سازد که شرایط زمین شناسی ساختگاه، افزون بر اینکه در رابطه میان بزرگی و شدت زمین لرزه‌ها در مرکز آنها نقش دارد، در کاهیدگی شدت زمین لرزه‌ها نیز مؤثر است. این رو در این پژوهش، برای کاهیدگی شدت زمین لرزه‌ها و شرایط ساختگاهی، نرم (شامل خاک، آبرفت نامتراکم) و سخت (سنگ و آبرفت سخت...) در نظر گرفته شده و برای هر یک رابطه‌ای جداگانه ارائه شده است. از سوی دیگر، بررسیهای انجام شده نشان می‌دهد که منحنیهای هم‌شدت در زمین لرزه‌های ویرانگر، به طور چشمگیر تابع فاصله از گسلش سطحی هستند. از این رو شکل منحنیهای هم‌شدت، شبیه یک بیضی است که فاصله دو کانون آن برابر با طول گسلش سطحی است. بنابراین برای تعیین این منحنیها و برآورد رابطه‌های کاهیدگی شدت، باید فاصله از گسلش سطحی را در نظر گرفت نه فاصله از مرکز زمین لرزه را. بر همین اساس، رابطه‌های کاهیدگی زیر بر مبنای فاصله از گسلش سطحی

رویدادهای پس از سال ۱۹۹۰ میلادی افزون بر گزارشهای مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، از گزارشهای تهیه شده توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله نیز استفاده شده است

نمودارهای شدت - فاصله

ایمانی (۱۳۸۱) با بررسی زمین لرزه‌های ویرانگر ایران، اطلاعات مربوط به شعاع میانگین دایره‌های معادل، وسعت نواحی تحت شدتهای مورد نظر و نسبت طول محورهای بزرگ به محورهای کوچک بیضیهای تقریبی خطوط هم‌لرز را مورد بررسی قرار داده و بر اساس آنها، پس از محاسبات مربوطه، مقادیر شعاع میانگین دایره‌های معادل و لگاریتم آنها برای گروههای مختلف زمین لرزه‌ها بر حسب بزرگی، وسعت مناطق تحت پوشش هر شدت را محاسبه کرده است. وی بر اساس آن نمودار، تغییرات شدت I زمین لرزه‌ها نسبت به فاصله از مرکز زمین لرزه (یا شعاع دایره معادل خطوط هم‌لرز مربوطه) را برای کلیه ۲۱ زمین لرزه مورد بررسی قرار داده و سرانجام بر اساس بررسیهای انجام شده، رابطه زیر را برای برآورد شدت زمین لرزه‌ای با بزرگی Ms در فاصله مرکزی R پیشنهاد کرده است [24].

$$I = M_s^{1.2} \log \frac{67}{\frac{R^{0.8}}{M_s} + 9}$$

برآورد رابطه میان بزرگی و شدت زمین لرزه در مرکز آن

رابطه میان بزرگی و شدت زمین لرزه در مرکز آن، از دو دیدگاه مورد توجه زلزله شناسان بوده است. نخست آنکه از این رابطه می‌توان برای برآورد بزرگی زمین لرزه‌های تاریخی استفاده کرد و دوم آنکه، با توجه به بزرگی زمین لرزه‌های آینده، می‌توان برآوردی فوری و تقریبی از میزان آسیبهای ناشی از آنها داشت. از این رو، همان گونه که اشاره شد، رابطه‌هایی میان این دو ویژگی برای گستره‌های مختلف دنیا از جمله ایران تعیین و معرفی گردیده که در بند ۲ نمونه‌هایی از آنها ارائه شده است (رابطه‌های ۱ الی ۵).

در بررسیهای انجام شده در این پژوهش، شکلهای مختلف رابطه‌های میان بزرگی و شدت زمین لرزه در مرکز آن، مورد آزمایش قرار گرفت. سرانجام رابطه‌هایی با بهترین پردازش به داده‌های در دسترس زیر به ترتیب برای شرایط ساختگاهی خاک نرم از یک سو و سنگ و آبرفت سخت از سوی دیگر به دست آمد.

$$I_c = 0.77 M_s^{1.2} + 1.4 \quad (19) \quad \text{خاک نرم}$$

$$I_c = 0.75 M_s^{1.2} + 0.88 \quad (20) \quad \text{سنگ و آبرفت سخت}$$

نتایج حاصل از این رابطه‌ها با رابطه‌های نوروزی و مهاجر اشجعی،

نتیجه گیری

نتایج حاصل از پژوهش انجام شده را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:
الف) گرچه در گذشته رابطه‌هایی میان بزرگی و شدت زمین لرزه‌ها در مرکز آنها و همچنین رابطه‌های کاهیدگی شدت برای ایران ارائه شده‌اند، ولی این پیوندها نیاز به بازنگری دارند. بویژه رویداد زمین لرزه‌های جدید و بررسی داده‌های حاصل از آنها این نیاز را آشکارتر می‌نماید.

ب) برخی از رابطه‌های کاهیدگی شدت که در گذشته برای ایران پیشنهاد شده‌اند، برای فواصل معین نتایج نسبتاً قابل قبولی ارائه می‌دهند، ولی در فواصل دیگر، نتایج آنها نادرست و گمراه کننده است، از جمله رابطه کاهیدگی ارائه شده از سوی Ambraseys(1982) که شدت زمین لرزه را در فواصل ۱ تا ۱۲ کیلومتری بیش از مرکز زمین لرزه نشان می‌دهد.

ج) منحنیهای هم‌لرز و میزان کاهش شدت زمین لرزه‌ها، بویژه برای زمین لرزه‌های ویرانگر، پیروی چشمگیری از فاصله از گسلش سطح دارند تا از فاصله از مرکز زمین لرزه. به همین دلیل رابطه‌های کاهیدگی باید بر مبنای فاصله از گسلش سطحی برآورد شوند (بدیهی است اگر گسلش سطحی وجود نداشته باشد، یعنی برای زمین لرزه‌های کوچک‌تراز حدود ۶، به طور طبیعی فاصله از گسلش سطحی تبدیل به فاصله از مرکز می‌شود).

د) با توجه به در نظر گرفتن شرایط ساختگاه در رابطه‌هایی که در این پژوهش معرفی شدند، نتایج حاصل از این رابطه‌ها با واقعیت‌های موجود همخوانی به مراتب بهتری دارد.

ح) میزان کاهش شدت زمین لرزه‌ها در رابطه‌های پیشنهادی در این پژوهش، کمتر از میزان کاهش در رابطه‌های قدیمی تر است.

به دست آمده‌اند. بدیهی است که اگر گسلش سطحی وجود نداشته باشد (معمولاً) برای زمین لرزه‌های کوچک‌تر از حدود ۶ هر دو کانون بیضی بر هم منطبق و یا به عبارتی بیضیها تبدیل به دایره می‌شوند.

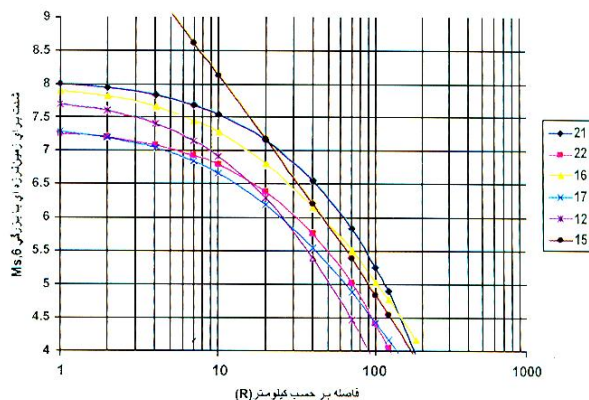
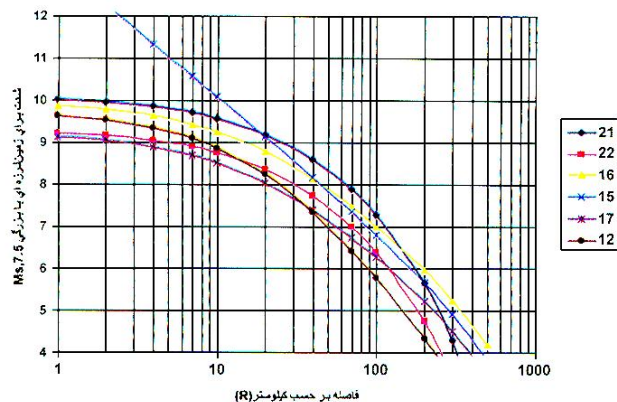
برای ساختگاههای نرم (۲۱)

$$I = 0.77M_s^{1.2} + 4.44 - 0.01R - 2.31\log(R + 20)$$

برای ساختگاههای سخت (۲۲)

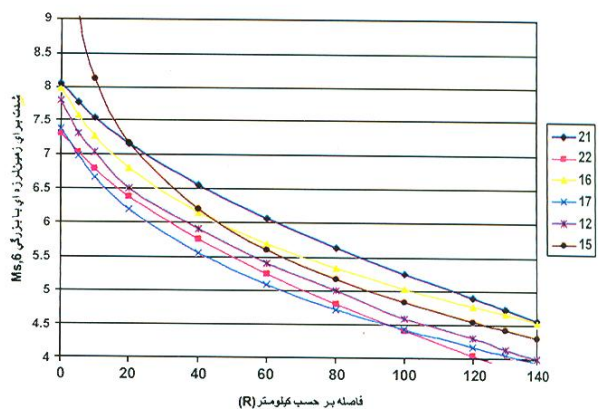
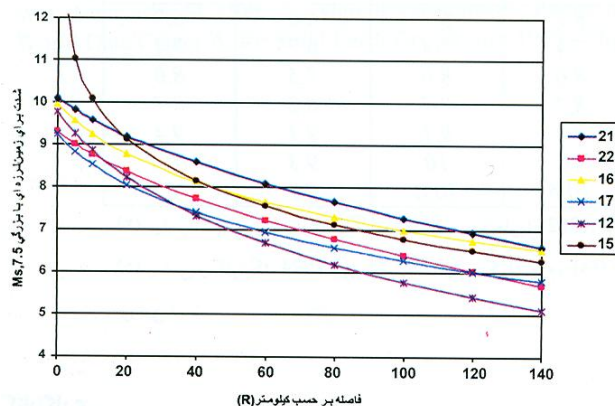
$$I = 0.75M_s^{1.2} + 4.05 - 0.01R - 2.44\log(R + 20)$$

برای بررسی رابطه‌های فوق و مقایسه آنها با رابطه‌های کاهیدگی قبلی که در مورد ایران پیشنهاد شده‌اند، میزان کاهش شدت زمین لرزه‌ها نسبت به فاصله از گسلش سطحی (توجه شود که روابط قدیمی بر مبنای فاصله از مرکز هستند) برای زمین لرزه‌های با بزرگی ۷/۵ در شکل‌های ۱ و ۲ با محور لگاریتمی و در شکل‌های ۳ و ۴ با محور عادی فاصله، رسم شده است. همان گونه که دیده می‌شود، برخی از رابطه‌های پیشین از جمله رابطه‌های امبرسسیز و ملویل، همچنین نوروزی و همکاران، در فواصل کم (کمتر از ۱۰ کیلومتر) شدتهای بزرگی را ارائه می‌دهند. رابطه ارائه شده توسط امبرسسیز (رابطه ۱۵) یک اشکال اساسی دارد. به گونه‌ای که این رابطه شدت زمین لرزه را تا فاصله حدود ۱۲ کیلومتری بیشتر از شدت آن در مرکز زمین لرزه ارائه می‌دهد که نمی‌تواند درست باشد.



شکل ۲- کاهیدگی شدت زمین لرزه‌ای با بزرگی $M_s = 7.5$ بر اساس روابط مختلف
 12 چاندررا، مک هرتر و نوروزی. 1979، 15 امبرسیز و ملویل 1982، 16 و 17 رمضی
 1 و کارنیک 1993، 21 و 22 نتایج حاصل از این بررسی برای
 ساختگاههای سخت و نرم

شکل ۱- کاهیدگی شدت زمین لرزه‌ای با بزرگی $M_s = 6$ بر اساس روابط مختلف
 12 چاندررا، مک هرتر و نوروزی. 1979، 15 امبرسیز و ملویل 1982، 16 و 17 رمضی و کارنیک 1993، 21 و 22 نتایج حاصل از این بررسی برای
 ساختگاههای سخت و نرم



شکل ۴- کاهیدگی شدت زمین لرزه‌ای با بزرگی $M_s = 7.5$ بر اساس روابط مختلف
 12 چاندررا، مک هرتر و نوروزی. 1979، 15 امبرسیز و ملویل 1982، 16 و 17 رمضی و کارنیک 1993، 21 و 22 نتایج حاصل از این بررسی برای
 ساختگاههای سخت و نرم

شکل ۳- کاهیدگی شدت زمین لرزه‌ای با بزرگی $M_s = 6$ بر اساس روابط مختلف
 12 چاندررا، مک هرتر و نوروزی. 1979، 15 امبرسیز و ملویل 1982، 16 و 17 رمضی و کارنیک 1993، 21 و 22 نتایج حاصل از این بررسی برای
 ساختگاههای سخت و نرم

جدول ۱- ویژگیهای زمین لرزه‌های مورد مطالعه

no	Y	m	d	t	N	E	F	mb	Ms	
1	1957	07	02	004200	36.07	52.47	20.	7.0	6.8	AMB
2	1957	12	13	014500	34.58	47.82	20.	6.5	6.7	AMB
3	1958	08	16	191344	34.30	48.17	20.	6.2	6.6	AMB
4	1960	04	24	121400	27.70	54.29	20.	6.0	5.8	AMB
5	1962	09	01	192000	35.71	49.81	20.	6.9	7.2	AMB
6	1963	03	24	124400	34.50	48.02	20.	5.5	5.8	AMB
7	1968	04	29	170155	39.28	44.27	17.	5.3	5.5	AMB
8	1968	08	31	104741	34.02	58.96	25.	6.0	7.4	AMB
9	1970	07	30	05220	37.68	55.89	22.	5.8	6.6	AMB
10	1972	04	10	20650	28.38	52.98	10.	6.3	6.9	AMB
11	1977	03	21	211853	27.59	56.45	23.	6.2	6.9	AMB
12	1977	12	19	233433	30.90	56.61	26.	5.8	5.7	AMB
13	1981	06	11	72425	29.89	57.71	30.	6.0	6.6	ISS
14	1981	07	28	172222	29.98	57.77	11.	5.9	7.0	ISS
15	1988	08	11	160446	29.97	51.68	33.	5.7	6.1	USGS
16	1990	06	20	210009	36.81	49.41	18.	6.4	7.7	USHR
17	1994	02	23	080204	30.85	60.59	6.	6.1	6.1	USGS
18	1997	02	04	103747	37.63	57.46	10.	6.1	6.7	BHRC
19	1997	02	28	125719	38.07	48.06	10.	5.5	6.1	BHRC
20	1997	05	10	075729	33.55	59.96	10	6.4	7.3	BHRC
21	1998	03	14	194027	30.15	57.61	9 .	5.9	6.9	USGS

NO: Number Y: year m: month d: day t: time N: Latitude E: Longitude
 F: Focal depth mb: body waves magnitude Ms: surface waves magnitude

جدول ۲ - مقایسه نتایج حاصل از روابط میان بزرگی و شدت زمین لرزه‌ها

I Ms	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۱۸)	(۱۹)	(۲۰)
5	5.7	6.0	6.1	6.7	6.7	6.0	6.7
5.5	6.5	7.2	6.8	7.4	7.4	6.7	7.4
6	7.4	7.0	7.4	8.0	8.0	7.5	8.0
6.5	8.2	8.5	8.0	8.7	8.7	8.2	8.7
7	9.1	9.2	8.5	9.1	9.1	9.1	9.4
7.5	9.9	9.8	9.3	10	10	9.3	10.1
8	10.8	10.5	9.8	10.6	10.8	10	10.8

(۲) مهاجر اشجعی و نوروزی 1978، (۳) امبرسیز و ملویل 1982، (۴) رمضی و کارنیک 1994 شرایط ساختگاهی سنگها و آبرفت‌های سخت، (۵) رمضی و کارنیک 1994 شرایط ساختگاهی خاکهای نرم، (۱۸) ایمانی 2002 و (۱۹ و ۲۰)، نتایج حاصل از روابط به دست آمده در این بررسی است.

کتابنگاری

ایمانی م.ر.، ۱۳۸۱- "مقیاسی برای برآورد شدت زمینلرزه‌ها در ایران" پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. تپو، م. و همکاران، ۱۳۷۶ - "زمینلرزه ۷۵/۱۲/۱۰ گلستان، اردبیل" موسسه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، اسفند ۱۳۷۶. رزاقی آذر، ن. و همکاران، ۱۳۷۲- "گزارش مقدماتی زلزله سفیدآبه، ۴ اسفند ۱۳۷۲" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، اسفند ۱۳۷۲. رمضی، ح.ر.، ۱۹۷۶- "نقشه مراکز زمینلرزه‌ها و خطواره‌های زمین ساختی ایران" انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن - تهران.

- رمضی، ح.ر. و همکاران، ۱۳۷۵- "گزارش مقدماتی - فوری زمینلرزه ۱۶ بهمن ۱۳۷۵ گرمخان" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، بهمن ۱۳۷۵.
- رمضی، ح.ر. و همکاران، ۱۳۷۶- "زمینلرزه ۲۰ اردیبهشت ۱۳۷۶ زیرکوه قائنات" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- عادل، ح.، ۱۳۶۹- "مهندسی زلزله" انتشارات دهخدا، چاپ چهارم، زمستان ۱۳۶۹. تهران.
- عباس نژاد، ا.، و داستانیپور، م.، ۱۳۷۸- "زلزله‌ها و زلزله خیزی استان کرمان" انتشارات خدمات فرهنگی کرمان، کرمان.
- معین فر، ع.ا. و همکاران، ۱۳۶۹- "زلزله‌های ۲۱ تیر ۶۵ هرایزر و ۲۰ مرداد ۶۷ دره گرگ نورآباد ممسنی و بررسی فعالیت لرزه‌خیزی این منطقه" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، چاپ اول ۱۳۶۹.
- معین فر، ع.ا.، ۱۳۴۷- "رویداد دشت بیاض و فردوس" انتشارات دفتر فنی سازمان برنامه، نشریه شماره ۲۱، تیرماه ۱۳۴۸.
- معین فر، ع.ا.، ۱۳۷۰- "گزارش فنی مقدماتی - فوری زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، چاپ دوم، اردیبهشت ۱۳۷۰.
- میرزایی علیوجه، ح. و همکاران، ۱۳۷۷- "گزارش مقدماتی زمینلرزه ۷۶/۱۲/۲۳ گلباف" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، چاپ اول.
- نیری، ع. و همکاران، ۱۳۷۶- "گزارش مقدماتی زمینلرزه ۱۰ اسفند ۱۳۷۵ سرعین" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، چاپ اول، بهار ۱۳۷۶.
- هالاسی د. ی.، ۱۳۶۷- "زمینلرزه" ترجمه کریمی بیگ آبادی، عباس، انتشارات شرکت علمی و فرهنگی، چاپ اول.

References

- Ambraseys, N.N. & Melville, C.P., 1982- "A history of Persian Earthquakes" Cambridge Earth. Science Servies.
- Bolt, B. A., 1993- "Earthquake" W. H. Free man and compay New York. 1993.
- Chandra, U., McWhorter, J.G. & Nowroozi, A.A., 1985- "Attenuation of Intensities in Iran", Bull. Seism. Soc. Am., Vol.75, No.5, PP. 237-249.
- Ohta, Y., Kagami, H. & Okada, S., 1987- "Seismic Intensity and its Applications to Engineering: A Study in Japan" Strong Ground Motion Seismology. D. Reidel Publishing Company. 1987. PP 369-384.
- Okamoto, S., 1991- "Introduction to Earthquake Engineering" John wiley and, sons. Inc New York, 1991.
- Paulay, T. & Priestley, M.J.N., 1989- "Seismic Design of R. C. and Masonary Building" John wiley and sons, Inc, New York.
- Ramazi, H.R. & Schenk, V., 1994- "Preliminary Results Obtained by a Processing of Iranian Accelerograms" XXIV General Assembly of European Seismological Commission, Athens, Greece, 1994.
- Ramazi, H.R., 1999- "Attenuation Laws of Iranian Earthquakes" 3th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering. Tehran. Iran.
- Wakabayashi, M., 1986- "Design of Earthquake - Resistant Building" Graw - Hill Inc. New York, 1988
- World Data Center A, for Solid Earth Geophysics 1979- "Manual of Seismological Observatory Practice" Report SE-20

*Amirkabir University of Technology, Tehran

**University of Sciences and Technology of Iran, Arak Branch

* دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

** دانشگاه علم و صنعت ایران، واحد اراک