اصلاح شاخص آسیب‌پذیری RISK-UE با استفاده از مایکروترمورها برای ساختمان‌های اسکلت بنایی غیرمسلح در شهر کرمانشاه

سحر صادقی
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
s.sadeghi@pgs.razi.ac.ir

مهنوش بیگلری
استادیار مهندسی زلزله، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
m.biglari@razi.ac.ir

ایمان عشایری
استادیار مهندسی زلزله، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
i.ashayeri@razi.ac.ir

کلید واژه‌ها: *مایکروترمور، ناکامورا، RISK-UE، آسیب‌پذیری، بنایی غیرمسلح*

چکیده

بررسی حاصل از زلزله‌های گذشته حاکی از آن است که مهمترین عامل در بروز خسارت‌های فراوان اقتصادی و تلفات انسانی، آسیب‌پذیری بالای ساختمان‌های یک منطقه می‌باشد. بنابراین ارزیابی ساختمان‌ها به منظور پیش‌بینی عملکرد آنها در زلزله‌های آتی، مقاوم‌سازی ساختمان‌های آسیب‌پذیر و برنامه‌های مدیریت بحران امری حیاتی است.

روش‌های کمی و کیفی متعددی در زمینه تعیین میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌ها وجود دارد. با توجه به اینکه روش‌های کمی نیازمند صرف زمان و هزینه بیشتری نسبت به روش‌های کیفی می‌باشند، بنابراین استفاده از روش‌های کیفی به منظور تخمین اولیه و تقسیم‌بندی ساختمان‌های آسیب‌پذیر ضروری است. به منظور حصول اطمینان از نتایج ارزیابی کیفی می‌توان مقدار آنها را با استفاده از نتایج حاصل از ارزیابی کمی اصلاح کرد.

از جمله روش‌های ارزیابی کیفی، روش شاخص آسیب‌پذیری RISK-UE می‌باشد، که حاصل مطالعات گسترده در اروپاست. همان‌طور که می‌دانیم در این روش برای هر تیپ از ساختمان‌ها، شاخصی در نظرگرفته می‌شود که حاصل مجموعه‌ای از پارامترهای مختلف می‌باشد. در عین حال اندازه‌گیری ریزلرزه‌ها یکی از کارآمدترین روش‌ها در تعیین آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها با استفاده از روابط ناکامورا به شمار می‌آید که از جمله روش‌های کمی محسوب می‌شود.

ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از روش RISK-UE برای برخی از ساختمان‌های ایران و همچنین شهر کرمانشاه انجام پذیرفته است. در مقاله پیشرو، با انتخاب چهار ساختمان بنایی غیرمسلح در سطح شهر، شاخص‌های RISK-UE محاسبه شده حاصل از پروژه‌های گذشته، اصلاح خواهند شد. پس از اندازه‌گیری ریزلرزه‌ها در ساختمان‌های مورد نظر و تطبیق احتمال خرابی به‌دست آمده با منحنی‌های شکنندگی سازه‌های ایرانی، شاخص آسیب‌پذیری RISK-UE برای هریک از ساختمان‌های فوق بدست می‌آید.

پس از محاسبه شاخص آسیب‌پذیری RISK-UE در مطالعه انجام شده و مقایسه با مقدار پیشنهادی RISK-UE، مشاهده می‌شود که مقادیر به‌دست آمده حاصل از مطالعه، از مقادیر پیشنهادی پروژه RISK-UE، بیشتر می‌باشند و همچنین مقادیر به‌دست آمده، آسیب‌پذیری بالای ساختمان‌های بنایی غیرمسلح را نشان می‌دهند.

مقدمه

زمین‌لرزه یکی از مهمترین پدیده‌های طبیعی است که سالانه پیامدهای اجتماعی و اقتصادی فراوانی را در سراسر دنیا بر جای می‌گذارد. عوارض جانبی ناشی از زلزله‌ها یکی از مهمترین دغدغه‌های کلان‌شهرهای کشور به شمار می‌آید.

دفتر برنامه‌ریزی سازمان ملل، رتبه نخست تعداد زلزله‌های بالای ۵/۵ ریشتری را به ایران اختصاص داد و در همان سال ایران جز

کشورهایی که بیشترین درصد آسیب‌پذیری ناشی از زلزله را دارند، قرار گرفت (UNDP, 2004)؛ زیرا با داشتن حدود ۱ درصد جمعیت دنیا، بیش از ۶ درصد تلفات در بلایای طبیعی جهان را دارد. (شیعه، ۱۳۸۹)

آثار زمین‌لرزه شامل گسلش، نشست زمین، روانگرایی، صدمات وارد بر سازه‌ها و ... می‌باشد. با لرزش زمین، ساختمان‌ها دچار ارتعاش و گاهی تخریب می‌شوند. میزان تخریب ساختمان‌ها، به موقعیت و خصوصیات زلزله مانند کانون و عمق زلزله، انرژی آزاد شده ناشی از حرکات تکتونیکی ساختگاه، زمان بیشینه شتاب زمین، محتوای فرکانس زلزله و کیفیت و چگونگی ساخت سازه‌هایی است که توسط بشر در نواحی لرزه‌خیز احداث می‌گردند، بستگی دارد (دره زرشکی، ۱۳۸۶).

ساختمان آسیب‌پذیر دربرابر زلزله به ساختمانی اطلاق می‌شود که از نظر طراحی و ساخت دارای اشکالات فنی و اصولی بوده است به طوریکه وجود این نقاط ضعف باعث کاهش مقاومت ساختمان در برابر زلزله و بارهای وارده می‌گردد (علایی، ۱۳۸۵).

هدف از ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها، بررسی وضعیت ساختمان‌های موجود و نقاط ضعف آنها به منظور شناخت رفتار آنها در حین وقوع زلزله می‌باشد. آنگاه در صورت نیاز می‌توان با اولویت‌بندی، در زمینه بهسازی و مقاوم‌سازی آنها اقدام کرد.

ویتمن در سال ۱۹۷۲، با ارائه روشی برای برآورد خسارت لرزه‌ای ساختمان‌ها، اولین قدمها را در راه آسیب‌پذیری ساختمان‌ها برداشت (Whitman et al., 1973). مطالعات گسترده‌ای در سراسر دنیا و ایران به صورت تحلیلی و تجربی انجام پذیرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات دکتر گتمیری و همکاران در خصوص شهر کرمانشاه اشاره کرد که با استفاده از روش RISK-UE و HAZUS و مطابقت آن با سازه‌های ایران، آسیب‌پذیری ساختمان‌های موجود در شهرهای کرمانشاه، زنجان، همدان و قزوین را مورد ارزیابی قرار داده‌اند (گتمیری و همکاران، ۱۳۸۹).

در مقاله پیش‌رو با تعیین مشخصات دینامیکی از جمله یزرگنمایی که حاصل برداشت‌های انجام شده در ساختمانهای مورد بررسی ناشی از ارتعاشات محیطی است و همچنین استفاده از روش کمی ناکامورا، شاخص آسیب‌پذیری V_i در روش کیفی RISK-UE برای ساختمانهای شهر کرمانشاه که قبلا توسط پروژه بانک جهانی به شماره IRN-4697 بدست آمده، مقایسه می‌شوند و مقدار این شاخص برای ساختمانهای بنایی غیرمسلح اصلاح خواهند شد. اگرچه مقدار بدست آمده تفاوت چشمگیری با مقادیر محاسبه شده در پروژه نخواهند داشت اما ارزیابی کمی انجام شده نقاط ضعف ساختمانها را بررسی خواهد کرد.

مشخصات ساختگاه و معرفی ساختمان‌های مورد بررسی

کرمانشاه با موقعیت جغرافیایی۴۷ درجه و ۴ دقیقه شرقی و ۱۹ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی، رشد جمعیت ۰/۹ و تراکم جمعیت ۸۳/۵۰ نفر بر کیلومترمربع، نهمین شهر پرجمعیّت و یکی از کلان‌شهرهای ایران و مرکز استان کرمانشاه می‌باشد که دارای جمعیتی بالغ بر۸۸۴۷۰۶ نفر و مساحت ۹۳۳۸۹۹۵۶ مترمربع است. شهر کرمانشاه بزرگترین و مهمترین شهر در منطقه مرکزی غرب ایران است. کرمانشاه از شمال به کوه فرخشاد، از شمال باختری به کوه طاق‌بستان و از جنوب به سفیدکوه ختم می‌شود. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۲۰۰ متر می‌باشد.

آسیب‌پذیری ساختمانهای کلان‌شهر کرمانشاه را بایستی به عنوان یکی از عوامل تهدید کننده زلزله مدنظر قرار داد، زیرا موقعیت جغرافیایی، قرارگیری چندین گسل فعال در این منطقه (گسل صحنه و مروارید و ...)، سابقه زلزله‌های تاریخی متعددی چون زلزله‌های فارسینج ۱۹۵۷، سنقر ۱۸۷۲ و دینور ۱۰۰۸ و دربرگرفتن تأسیسات مهمی چون پالایشگاه نفت و نیروگاه تولید برق، کرمانشاه را از جمله مناطقی با خطرپذیری لرزه‌ای بالا به شمار می‌آورد. با مطالعه بر روی زلزله‌هایی که در بین سال‌های ۱۹۰۷ تا ۱۹۷۸ میلادی رخ داده‌اند، می‌توان مشاهده کرد که در یک پریود تقریباً ۷۰ ساله وقوع یک زلزله با بزرگی ۷ ریشتر و دو زلزله با بزرگی بین ۶ تا ۷ ریشتر دور از انتظار نیست و این هشداری است که باید شدیداً به آن توجه شود.

مشخصات ساختمان‌های مورد بررسی مطابق جدول (۱) می‌باشند.

جدول ۱: مشخصات ساختمان‌های مورد بررسی

شماره ساختمان	کاربری	موقعیت جغرافیایی		نوع سیستم سازه‌ای	تعداد طبقات	سن تقریبی(سال)	ارتفاع (متر)
۱	امداد و نجات	X	۶۹۱۳۰۱	بنایی غیرمسلح	۲	۳۴	۶/۴
		Y	۳۸۰۰۶۸۸				
۲	امداد و نجات	X	۶۸۹۳۰۳	بنایی غیرمسلح	۱	۲۳	۳/۴
		Y	۳۸۰۰۵۱۱				
۳	امداد و نجات	X	۶۹۵۹۲۲	بنایی غیرمسلح	۱	۲۶	۳/۶
		Y	۳۸۰۶۵۵۲				
۴	امداد و نجات	X	۶۹۰۵۷۳	بنایی غیرمسلح	۱	۴۰	۴/۲
		Y	۳۷۹۸۵۳۳				

روش‌های تحلیل

در مقاله حاضر به منظور تحلیل داده‌های به‌دست آمده و اصلاح شاخص آسیب‌پذیری RISK-UE، از سه روش RISK-UE، ناکامورا و تخمین خسارت HAZUS در روند کار استفاده می‌شود که در ذیل هریک از آنها به اختصار شرح داده می‌شوند.

روش RISK-UE

بندتی و پترینی در سال ۱۹۸۴، روش شاخص آسیب‌پذیری راپیشنهاد کردند که این روش بر مبنای داده‌های خسارت شدید مطابق تعدادی زلزله قوی در ایتالیا می‌باشد. این روش تفاوت میان ساختمانها را با نوع سازه‌ای یکسان به وسیله شاخص آسیب‌پذیری مشخص می‌کند.(Benedetti and Petrini, 1984)

روش VIM در پروژه RISK-UE براساس خسارت مشاهده شده و طبقه‌بندی ساختمانها طبق مقیاس مه‌لرزه‌ای اروپایی EMS'98 استفاده می‌شود. شاخص آسیب‌پذیری به طور معمول مقادیری بین ۰/۰۲- تا ۱/۰۲ دارد. (Lagomarsino and Giovinazzi, 2006)

با این حال، شاخص‌های آسیب‌پذیری به طور نرمال مقادیری بین صفر (ساخنمانهایی با کمترین میزان آسیب‌پذیری) و یک (ساختمانهایی با حداکثر میزان آسیب‌پذیری) دارند. در این روش، نوع ساختمان موجود مشخص شده و رده آسیب‌پذیری آنها نیز مشخص می‌شود. برای هر رده آسیب، رابطه بین شدت و آسیب به وسیله ماتریس‌های احتمال خسارت مشخص می‌شود. (Whitman, 1973)

برای هر مقدار شدت و برای هر نوع ساختمان، درجه آسیب متوسط و انحراف معیار با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (گتمیری و همکاران، ۱۳۸۹)

$$\text{«}_D = 2.5\left[1+\tanh\left(\frac{I+6.25*V_I-13.1}{2.3}\right)\right] \quad (1)$$

«_D: درجه آسیب متوسط

V_I: شاخص آسیب‌پذیری RISK-UE

I: شدت زلزله برحسب EMS

روش کمی ناکامورا

استفاده از ریزلرزه‌ها به منظور تخمین مشخصات دینامیکی لایه‌های سطحی در اوایل سال ۱۹۵۰ معرفی شد. استفاده از این روش به دلیل عدم شناخت و قطعیت نسبت به منبع ریزلرزه، مورد انتقادهای فراوانی قرار گرفت. سپس با معرفی روش ناکامورا (H/V) یا روش QTS در سال ۱۹۸۹ نگاه تازه‌ای به تخمین مشخصات دینامیکی ساختمان‌ها و خاک با ریزلرزه‌ها شد چرا که نتایج قابل قبول و روشنی با اندازه‌گیری ریزلرزه‌ها بدست آمد.(Nakamura, 2000)

ناکامورا در سال ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷ مقادیر K را که حاصل کرنش‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد را به منظور تعیین نقاط آسیب‌پذیر ساختمان پیشنهاد کرد.(Nakamura et al., 2000)

$$K_{ave}=10^{4}.\frac{A}{4\pi^2 F^2 H} \quad (2)$$

$$¥_{ave} = K_{ave}.\sim \quad (3)$$

A: ضریب بزرگنمایی بام

K_{ave}: شاخص آسیب‌پذیری میانگین

H: ارتفاع ساختمان

γ_{ave}: زاویه تغییرشکل نسبی میانگین

α: شتاب افقی زمین

بزرگنمایی و فرکانس طبیعی ساختمان‌های مورد بررسی با استفاده از روش نسبت طیفی که به روش FSR موسوم است و اولین بار توسط Gosar بکار برده شد، بدست می‌آیند. (Gosar et al., 2010)

روش تخمین خسارت HAZUS

مدل زلزله HAZUS به منظور تخمین خسارت برای استفاده توسط فدرال، ایالت و دولت‌های منطقه‌ای و محلی طراحی شده است، کـه در واقع برای برنامه‌ریزی در زمینه کاهش خطر زلزله، آمادگی در موارد اورژانس و مقابله و بازسازی را فراهم می‌کند.

هنگامی که تغییرمکان غیر الاستیک شناخته شده باشد، محاسبه خرابی از معادله نظیر معادله (۴) امکانپذیر است. این عمل را می‌توان بـه چند روش انجام داد که در پروژه حاصل از روش HAZUS با چهار حالت خرابی استفاده می‌شود.

برای هر حالت خرابی (ds) و برای یک تغییرمکان طیفی (sd)، احتمال بزرگتر یا مساوی شدن حالت خرابی از توزیع نرمـال لگـاریتمی بـه صورت معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$P(ds|sd) = \cdot \left[\frac{1}{ds} \ln\left(\frac{sd}{sd_{ds}}\right) \right] \qquad (4)$$

Φ: تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد

Sd: جابجایی غیر خطی بدست آمده

$_{ds}$: انحراف استاندارد لگاریتم طبیعی جابجایی طیفی حالت خسارت

Sd_{ds}: مقدار میانه جابجایی طیفی که در آن ساختمان به آستانه حالت خسارت می‌رسد.

باانتخاب نوع ساختمان مورد بررسی و بدست آوردن مقادیر $_{ds}$ و Sd_{ds} از دستورالعمل HAZUS میزان احتمال خسارت مطابق رابطه ذکر شده قابل محاسبه می‌باشد. (Multi-hazard Loss Estimation Methodology)

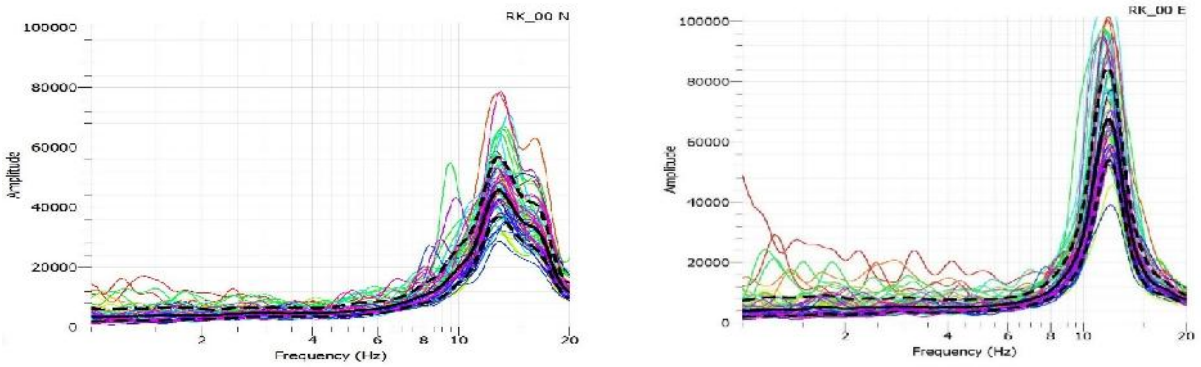
روش برداشت و تفسیر داده‌های مایکروترمور

به منظور تعیین مشخصات دینامیکی ساختمانهای مورد بررسی از یک دستگاه لرزه‌نگار کوتاه دوره سه مولفه‌ای و یک دستگاه ثبت ارتعاش استفاده شده است.

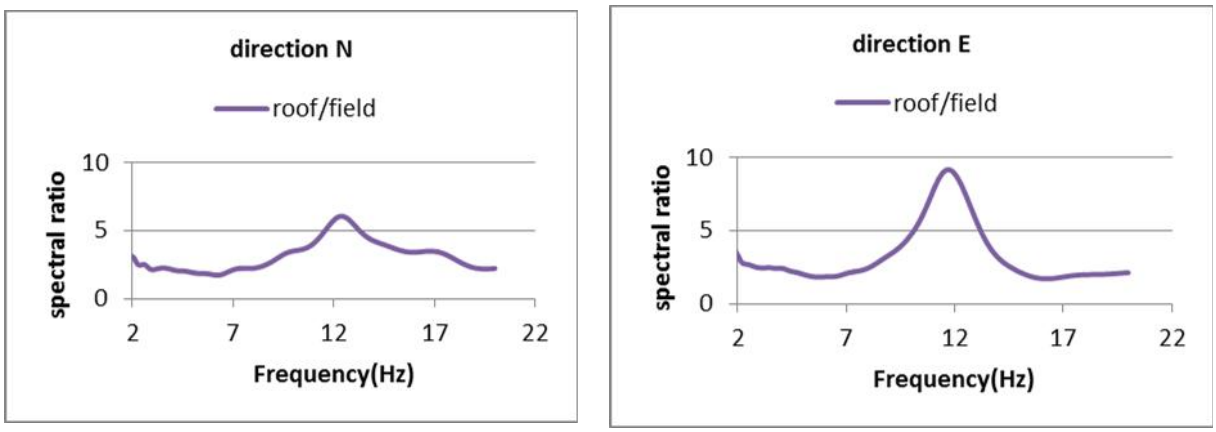
برای کاهش تاثیرات ارتعاشات محیطی بر اندازه‌گیری‌ها، سعی بر آن بود که برداشت در محیطی آرام صورت گیرد. رکوردها در نقاطی روی بام و سطح زمین انجام شده است.

شکل ۱: دستگاه لرزه‌نگار و ثبات بر بام ساختمان شماره ۱

داده‌های خام بدست آمده در هریک از نقاط با استفاده از نرم‌افزار Geopsy پردازش شده و با استفاده از روش نسبت طیفی فرکانس طبیعی ساختمانها و بزرگنمایی بام به سطح زمین بدست آمده است.



شکل ۲: دامنه طیف فوریه بدست آمده در بام ساختمان شماره ۳

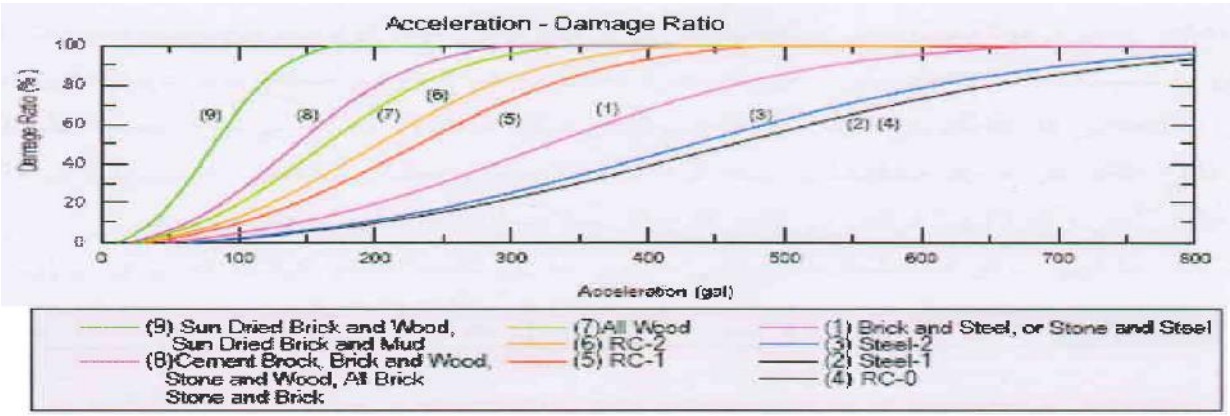


شکل ۳: نسبت طیفی ساختمان شماره ۳

مراحل تحلیل داده‌ها

با تعیین فرکانس طبیعی و بزرگنمایی، شاخص آسیب‌پذیری ناکامورا برای هریک از ساختمانها بدست می‌آید. پس از محاسبه شاخص آسیب‌پذیری ناکامورا و مشخص شدن مقدار شتاب تسلیم، جابجایی طیفی غیرالاستیک با استفاده از رابطه کراوینکلر و نصار (Nassar and Krawinkler, 1991) محاسبه خواهد شد.

همانطور که می‌دانیم میزان احتمال خسارت در هر درجه آسیب را می‌توان با استفاده از رابطه پیشنهادی HAZUS محاسبه کرد. بنابراین پس از تعیین احتمال آسیب در هر درجه خسارت، مقدار شتاب واقعی با استفاده از گراف شکل (۴) بدست خواهد آمد.



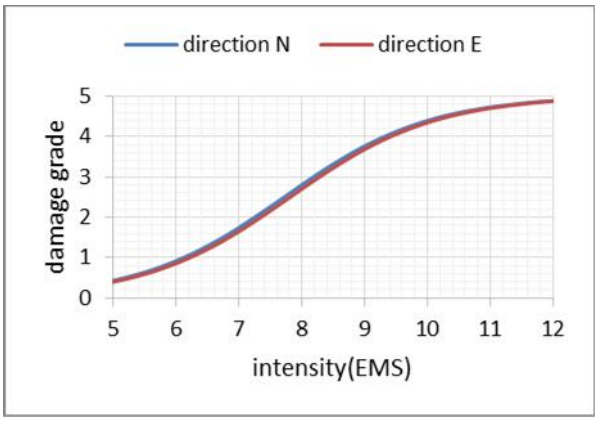
شکل۴: تابع آسیب‌پذیری ساختمان‌های مورد مطالعه در گزارش ریزپهنه‌بندی (گتمیری و همکاران، ۱۳۸۹)

نتایج

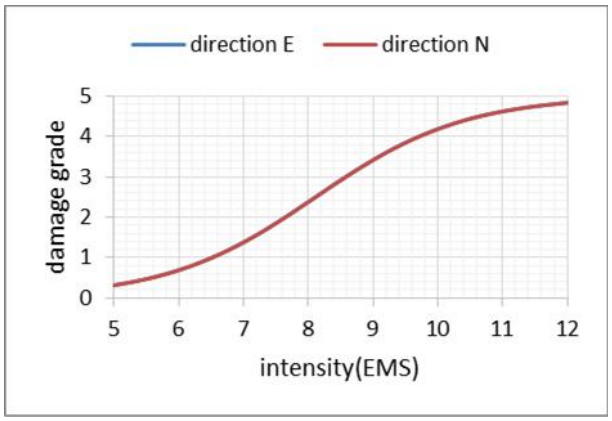
با محاسبه مقدار شتاب طیفی بدست آمده در هر درجه خسارت، شاخص آسیب‌پذیری RISK-UE برای هریک از ساختمانها در هر دو راستای افقی ساختمان مطابق جدول (۲) مشخص می‌شود.

جدول۲: شاخص آسیب‌پذیری RISK-UE ساختمانهای بنایی غیرمسلح

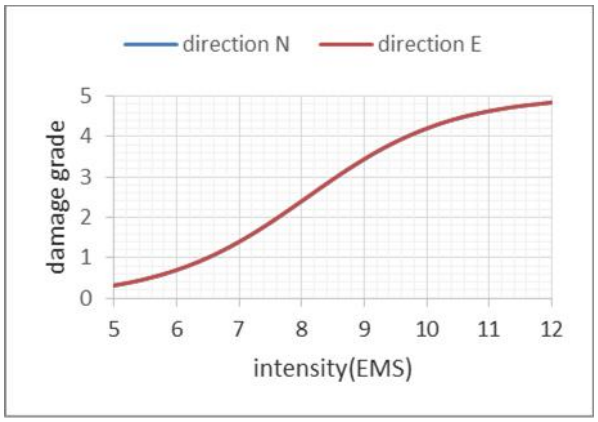
شماره ساختمان	شاخص آسیب‌پذیری RISK-UE		میانگین شاخص آسیب‌پذیری RISK-UE
	راستای شرقی- غربی	راستای شمالی- جنوبی	
۱	۰.۸۴۵۸۹۸	۰.۸۶۰۶۷۱	۰/۸۲۷۸۹۳
۲	۰.۷۹۸۴۷	۰.۷۹۷۶۲۱	
۳	۰.۸۰۲۵۲۳	۰.۸۰۱۴۲۱	
۴	۰.۸۵۶۳۳۹	۰.۸۶۰۲۰۲	



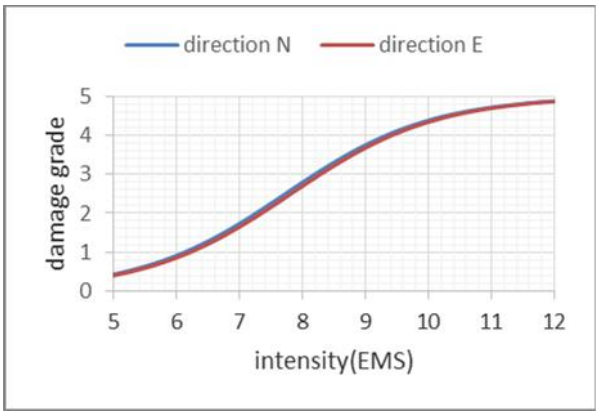
شکل۵: شاخص آسیب‌پذیری Risk-UE ساختمان شماره ۱



شکل۶: شاخص آسیب‌پذیری Risk-UE ساختمان شماره ۲



شکل۷: شاخص آسیب‌پذیری Risk-UE ساختمان شماره ۳



شکل۸: شاخص آسیب‌پذیری Risk-UE ساختمان شماره ۴

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، آسیب‌پذیری لرزه‌ای چهار ساختمان بنایی غیرمسلح در شهر کرمانشاه مورد بررسی واقع شده است. پس از تعیین مشخصات دینامیکی ساختمانهای مورد بررسی با استفاده از ریزلرزه‌ها و بکارگیری روش کمی ناکامورا به منظور اصلاح شاخص آسیب‌پذیری RISK-UE نتایج زیر حاصل شد:

۱-با توجه به اینکه گزارشات بدست آمده از مطالعات بانک جهانی به شماره IRN-4697 به منظور تعیین شاخص آسیب‌پذیری RISK-UE با بازدید میدانی تعداد محدودی از ساختمانها و به صورت آماری مشخص شده‌اند، بنابراین ارزیابی میزان صحت آنها ضروری می‌باشد.

۲-می‌توان از روش‌های ارزیابی کمی از جمله روش ناکامورا که فرکانس طبیعی ساختمان را محاسبه خواهد کرد، تغییرات رخ داده در میزان سختی ساختمان در طول زمان را ارزیابی نمود.

۳-شاخص آسیب‌پذیری RISK-UE به صورت کیفی و با امتیازدهی به یکسری پارامتر عینی تعیین می‌شود، این در حالی است که قسمتی از نقاط ضعف ساختمان از دید پنهان بوده و تنها با بررسی ارزیابی کمی می‌توان این نقاط ضعف را شناسایی کرد.

۴-با توجه به یکسان بودن سیستم سازه‌ای و سختی ساختمانهای شماره ۲ و ۳ در هر دو راستا، مقدار شاخص آسیب‌پذیری RISK-UE بدست آمده حاصل از تحلیل ریزلرزه‌ها نیز برابر بوده که این موضوع بیانگر عملکرد یکسان ساختمانها در هردو راستا می‌باشد.

۵-در ساختمان شماره ۱، طول دیوارهای باربر در راستای شرقی- غربی نسبت به راستای شمالی- جنوبی بیشتر بوده و تیرهایی در این راستا به منظور تقویت قرار داده شده است که این موضوع باعث افزایش سختی در راستای مورد نظر و کاهش شاخص آسیب‌پذیری RISK-UE خواهد بود.

۶-عدم تقارن ساختمان شماره ۴، تفاوت کمی در میزان سختی در دو راستا را ایجاد کرده است که می‌توان مطلب فوق را از گراف شاخص آسیب‌پذیری بدست آمده ساختمان مورد نظر تایید کرد.

۷-مقادیر شاخص آسیب‌پذیری برای ساختمانهای بنایی غیرمسلح در پروژه RISK-UE برابر ۰/۷۴-۰/۷۰۴ و در پروژه انجام شده بانک جهانی برابر ۰/۸-۰/۷۰۴ می‌باشد که با توجه به بررسی‌های انجام شده در مطالعه پیش‌رو ساختمانهای مذکور مقدار ۰/۸۳ را ارائه می‌دهند که بیانگر آسیب‌پذیری بالای ساختمانهای موجود نسبت به سطح انتظار می‌باشد.

۸-بعضی از ساختمانهای مورد بررسی با سنی فراتر از طول عمر مفید ساختمان، آسیب‌پذیری بالایی را شامل شده و بایستی تخریب شوند.

۹-سایر ساختمانهایی که طول عمر مفید آنها به پایان نرسیده بایستی در نقاط ضعف خود مورد ارزیابی دقیق‌تر قرار گرفته و در نهایت تقویت شوند.

۱۰- با محاسبه مقدار شاخص آسیب‌پذیری اصلاح شده RISK-UE می‌توان مقدار درجه آسیب متوسط و در نهایت منحنی آسیب‌پذیری ساختمانهای موجود را به طور دقیق‌تر ترسیم کرد.

۱۱- ریزلرزه‌ها ابزاری مناسب به منظور تعیین میزان آسیب‌پذیری ساختمانها با صرف هزینه کمتر و سهولت انجام، به شمار می‌آیند.

مراجع

دره زرشکی م (۱۳۸۶) شناخت روشهای ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمانها و استفاده آنها در توابع آسیب‌پذیری و منحنی‌های شکنندگی، سمینار کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

شیعه ا (۱۳۸۹) بررسی آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی معکوس IHWP و GIS (مطالعه موردی منطقه ۶ شهرداری تهران)، *مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین المللی جغرافی‌دانان جهان اسلام*، ص.۵-۱۴

علایی سید ح (۱۳۸۵) آسیب‌پذیری چیست و چگونه مطالعات آن را آغاز می‌کنیم؟، *نشریه آباد بوم*، شماره ۳۲

گتمیری و همکاران (۱۳۸۹) ارزیابی مخاطره‌پذیری و ریسک لرزه‌ای در سطح استانی(برای شهرهای قزوین، زنجان، همدان و کرمانشاه)،گزارش نهایی، بخش دوم: ارزیابی مخاطره‌پذیری شهر کرمانشاه، کنسرسیوم شرکت BRGM وشرکت دریاخاک‌پی

Benedetti D, Petrini V (1984) Sulla vulnerabilitá sismica di edifici in muratura: proposte di un metodo di valutazione, *L'industria delle Construzioni*, 149: 66–78.

Gosar A, Rošer J, Motnikar BS and Zupančič P (2010) Microtremor study of site effects and soil-structure resonance in the city of Ljubljana (central Slovenia), *Bulletin of earthquake engineering*, 8(3): 571-592

Lagomarsino S and Giovinazzi S (2006) Macroseismic and Mechanical Models for the Vulnerability and Damage Assessment of Current Buildings, *Bulletin of earthquake engineering*, 4: 415–443

Multi-hazard Loss Estimation Methodology, *Earthquake Model, Hazus®–MH 2.1*, Technical Manual, Developed by: Department of Homeland Security Federal Emergency Management Agency Mitigation Division, Washington, D.C

Nakamura Y (2000) Clear Identification of Fundemental Idea of Nakamura's Technique and its Applications, *12th WCEE*.

Nakamura Y, Gurler ED, Saita J, Rovelli A and Donati S (2000) Vulnerability Investigation of Roman Colossum Using Microtremor, *12th WCEE*.

Nassar AA and Krawinkler H (1991) seismic demands for SDOF and MDOF systems, *Department of Civil and Enviromental Engineering Stanford University*, Report No.95

UNDP (2004), reducing disaster Risk, A challenge for Development

Whitman RV, Reed JW and Hong T (1973) *Earthquake Damage Probability Matrices*, *Proceeding of the fifth world conference on earthquake engineering*

Whitman RW (1973) Damage Probability Matrices for Prototype Buildings, Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil Engineering Research, Report R73-57, Cambridge