



# معرفی شاخص "عمر مفید باقی مانده ساختمان" برای ارزیابی آسیب پذیری لرزه‌ای سازه‌ها

موسی محمودی صاحبی<sup>۱</sup>، حسین اعتضادی فر<sup>۲</sup>  
(تاریخ دریافت: ۹۲/۰۷/۲۸، تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۲/۰۱)

## چکیده

در بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ها، تعریف یک "شاخص زیان" ضروری است. هدف از ارائه این مقاله، تعریف یک شاخص زیان جدید به نام "عمر مفید باقی مانده ساختمان" و تعیین کاربرد آن در بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ها می‌باشد. به کمک شاخص عمر مفید باقی مانده می‌توان الویت مقاوم‌سازی مجموعه‌ای از ساختمان‌ها را تعیین کرد و همچنین در صنعت بیمه به عنوان شاخص قابل فهم برای افراد غیرمتخصص مورد استفاده قرار داد. در این تحقیق، برای سه سازه فولادی ۴، ۷ و ۱۰ طبقه از نوع مهاربند ضربدری آسیب‌پذیر، عمر مفید باقی مانده محاسبه گردید و با عمر مفید پیشنهادی آیین‌نامه‌ها (۵۰ سال) مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد این روش می‌تواند به راحتی میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌ها را بیان نماید.

## کلمات کلیدی

شاخص زیان، عمر مفید باقی مانده ساختمان، ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، قاب‌های مهاربندی، استاندارد ۲۸۰۰

## Introduction of New Index Named "Remaining Useful Life of Building" to Assess the Seismic Vulnerability of Structures

M. Mahmoudi, H. Etezadifar

### ABSTRACT

In seismic vulnerability assessment of the structures, definition of a damage index is essential. The purpose of this paper is to define a new index called the index of "remaining useful life of the building" and determine its application in the study of seismic vulnerability asses of the structures. The remaining useful life index can apply for Prioritize of strengthening of a series of buildings. It can be also used in the insurance industry as an indicator to understand the status of buildings. In this study, three bracing steel structures with 4, 7 and 10 floors was selected and their remaining useful life was calculated and compared with the proposed useful life proposed by codes (50 years). The results show that this method can easily express the vulnerability assessment of the buildings.

### KEYWORDS

Damage index, Remaining useful life, Seismic vulnerability, Steel structure, Structural rehabilitation

۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، m.mahmoudi@srttu.edu (نویسنده مسئول)

۲- کارشناس ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی



اگر چه در زلزله‌های اخیر دنیا، سازه‌های طراحی شده بر اساس ضوابط لرزه‌ای موجود، در حفظ ایمنی افراد، مناسب عمل کرده‌اند اما دامنه‌ی خرابی‌های ایجاد شده در سازه‌ها و خسارت اقتصادی وارده، بسیار گسترده و خارج از انتظار بوده است. امروزه به خوبی مشخص شده است که سازه‌های طراحی شده بر اساس این ضوابط، در برابر زلزله‌های شدید متحمل خسارات سنگین خواهند شد. از اینرو طراحی بر اساس عملکرد به عنوان روشی که مبتنی بر پذیرش تغییرمکان و شکل‌پذیری مورد انتظار (و هماهنگ با سطوح مورد انتظار) باشد، مورد توجه قرار گرفت.

از مهمترین موضوعات در طراحی عملکردی، داشتن تصویری روشن از مقدار خسارت وارد بر سازه‌ی طراحی شده در سطوح مختلف خطر می‌باشد. بدین منظور در دستورالعمل‌هایی چون FEMA356 [۱] و ATC40 [۲]، سطوح مختلفی از خسارات وارد بر سازه تعریف شده است. معیار تعیین کننده‌ی وضعیت سازه‌ها در این دستورالعمل‌ها، تغییرشکل جانبی می‌باشد؛ هر چند که در برخی از تحقیقات، نشان داده شده است که استفاده از این معیار به عنوان تنها معیار خرابی، جای تأمل دارد [۳]. خسارت را می‌توان از جهات گوناگون بررسی نمود اما بطور کلی خسارت وارد بر یک سازه عبارت است از کاهش ظرفیت سازه در تحمل انواع بارهای وارده نسبت به سازه‌ی سالم پیش از وقوع زلزله یا هر عامل دیگری که سبب کاهش ظرفیت سازه شده باشد. به منظور تعیین میزان خسارت وارد بر سازه، محققین شاخص‌های بسیاری را معرفی نموده‌اند، که هر یک به گونه‌ای میزان خسارت وارد بر سازه را تخمین می‌زند. این شاخص‌ها را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود:

دسته‌ی اول شاخص‌هایی بر اساس بیشترین تغییرشکل تجربه شده‌ی سازه می‌باشند، مانند بیشترین تغییرمکان نسبی طبقات [۴] و بیشترین نسبت شکل‌پذیری طبقات [۵].

دسته‌ی دوم شاخص‌هایی بر اساس خسارت تجمعی می‌باشند که از آن میان می‌توان به شاخص خسارت گوبارا که بر پایه تحلیل بارافزون می‌باشد [۶] و شاخص خسارت چای و فایفر که بر اساس انرژی ورودی است اشاره نمود [۷].

دسته‌ی سوم شاخص‌هایی هستند که ترکیبی از ماکزیمم تغییرشکل و خسارت تجمعی می‌باشند. از آن میان می‌توان به شاخص خسارت Park و Ang [۸] و Banon و Veneziano [۹] اشاره نمود.

از دیگر شاخص‌های خسارت معرفی شده توسط محققین در سال‌های اخیر می‌توان به تحقیق فالریو و همکارانش اشاره نمود که با استفاده از انرژی پلاستیک در مفاصل پلاستیک به ارائه شاخصی برای ارزیابی میزان خسارت وارد بر قاب‌های بتن مسلح پرداختند. البته لازم به ذکر است که در تحقیق آنها از ایده‌ی مفصل پلاستیک متمرکز استفاده شده است که در مورد سازه‌های بتن مسلح به علت پدیده‌ی ترک خوردگی نمی‌تواند رفتار واقعی سازه را به شکل مطلوب مدل سازی کند [۱۰].

Zhang و همکارانش با استفاده از روش مقایسه نیرو و ترکیبی از انرژی و تغییرمکان سازه (دسته سوم) شاخصی را معرفی نمودند و به مقایسه‌ی نتایج حاصل از این شاخص با استفاده از انجام تحلیل تاریخچه‌ی زمانی و ترکیب جذر مجموع مربعات حاصل از در نظر گرفتن سه مود اول سازه برای دو زلزله‌ی ال‌سنتر و نورتریج پرداختند [۱۱].

شاخص آسیب‌پذیری دیگری توسط تعدادی از محققین ارائه شده است که از سختی قبل و بعد از زلزله برای تعیین اندیس خسارت استفاده می‌کند. Otani و Sozen از آزمایش قاب‌های چند طبقه مشاهده کردند که اگر یک سازه بتن مسلح که تحت تاثیر یک زلزله قوی وارد مرحله تسلیم می‌شود، برای بار دوم با یک زلزله مشابه آزمایش شود، حداکثر تغییر شکل جانبی حاصل از آزمایش اول و دوم یکسان است ولی سختی سازه در شروع آزمایش دوم کمتر از سختی اولیه سازه است [۱۲]. از این مشاهده، آنها نتیجه گرفتند که حداکثر تغییرشکل نسبی تابعی از



زمان مناسب عملیات مقاوم سازی را با رعایت صرفه اقتصادی مشخص نمود.

## ۲- معرفی شاخص "عمر مفید باقی مانده"

در این تحقیق سعی شده است تا شاخص جدیدی به نام شاخص عمر مفید باقی مانده ساختمان جهت ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها معرفی گردد. در ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها دو عامل بسیار حائز اهمیت است: یکی سطح خطر انتخابی برای ارزیابی سازه و دیگری عملکرد مورد انتظار از سازه در مقابله با سطح خطر مربوطه. به همین دلیل شاخص پیشنهادی با اعمال این دو عامل تعیین می‌گردد. برای اعمال سطح خطر، شناخت کامل از مباحث تحلیل خطر زلزله ضروری است. در مطالعات آنالیز خطر، شرایط منطقه احداث سازه، خطر قابل قبول برای طراحی و فرمولهای تعیین شتاب طراحی حائز اهمیت است. همچنین در بررسی عملکرد مورد انتظار از سازه، روش تحلیل و مدل سازی اعضای سازه بسیار مهم است.

در مطالعات رایج ارزیابی آسیب پذیری سازه‌ها، ابتدا سطح خطر تعیین می‌گردد. آنگاه خسارات احتمالی سازه با فرض اینکه عمر مفید ساختمان برابر ۵۰ سال باشد با استفاده از تحلیل سازه‌ای مناسب تعیین می‌شود؛ ولی در روش پیشنهادی (برای محاسبه شاخص زیان) ابتدا تحلیل سازه (تحلیل بارافزون یا تحلیل استاتیکی غیرخطی) انجام می‌شود و آنگاه مقدار زیان (عمر مفید باقی مانده) با استفاده از تحلیل خطر محاسبه می‌شود. در بعضی از روش‌ها، شاخص آسیب بین صفر تا یک تعریف می‌شود. صفر به معنی سالم بودن و یک به معنی آسیب پذیری کامل است. در این روش برعکس است. صفر بودن شاخص به معنی آسیب‌پذیری کامل و بیشتر از ۵۰ بودن به معنی سالم بودن است. یعنی اینکه اگر عمر مفید باقی مانده ساختمان بیشتر از ۵۰ سال باشد سازه آسیب‌پذیر نیست. در صورتیکه عمر مفید باقی مانده ساختمان کمتر از ۵۰ سال باشد سازه آسیب پذیر تشخیص داده می‌شود. هر چه این عمر به سمت صفر میل نماید آسیب‌پذیری سازه شدیدتر خواهد بود. در ادامه، مراحل گام به گام روش محاسبه شاخص زیان "عمر مفید

خصوصیات اولیه سازه است و ربطی به سختی سازه در شروع آزمایش دوم ندارد. به همین دلیل تغییرشکل نسبی به تنهایی نمی‌تواند ارزیابی صحیحی از خسارت باشد. ایده اولیه اندیس خسارت سختی که توسط Ghobarah و همکارانش در سال ۱۹۹۹ ارائه گردید [۱۳]، بر اساس کاهش سختی سازه بوده و به صورت زیر فرموله شده است.

$$DI = 1 - (k_{final} / k_{initial}) \quad (1)$$

که در آن،  $DI$  اندیس خسارت سختی،  $k_{initial}$  شیب اولیه منحنی برش پایه-تغییر مکان بام قبل از تاثیر زمین لرزه و  $k_{final}$  شیب همان منحنی بعد از تاثیر زمین لرزه می‌باشد. مقدار  $DI$  از صفر تا یک متغیر است که صفر بیانگر عدم خسارت و یک بیانگر فروپاشی سازه می‌باشد.

محاسبه‌ی اغلب شاخص‌های آسیب‌پذیری، نیاز به انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی دارد. تحلیل‌های غیرخطی بسیار پیچیده و وقت‌گیر هستند. همین موضوع سبب می‌شود تا این شاخص‌ها کمتر در طراحی‌های معمول قاب‌های ساختمانی استفاده گردد و بیشتر در فعالیت‌ها و پروژه‌های تحقیقاتی بکار گرفته شود. امروزه تحلیل بارافزون به عنوان روشی که می‌تواند ظرفیت سازه را به خوبی مدل سازی کند و در عین حال پیچیدگی تحلیل دینامیکی غیرخطی را ندارد، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. حال چنانچه بتوان شاخصی را بر پایه انجام این تحلیل و متناسب با نقطه‌ی عملکرد سازه تعریف نمود که انطباق مناسبی با رفتار واقعی سازه داشته باشد و همچنین با استفاده از آن بتوان میزان خسارت واقعی وارد بر سازه را تخمین زد، می‌توان گامی مهم در جنبه‌ی عملی‌تر شدن تعیین میزان خسارت وارد بر سازه‌ها در مقوله‌هایی چون طراحی و مقاوم سازی برداشت.

در این تحقیق سعی شده است تا با تلفیق مبحث تحلیل خطر لرزه‌ای و تحلیل بار افزون شاخص جدیدی به نام «عمر مفید باقی مانده ساختمان» معرفی گردد. شاخص عمر مفید باقی مانده می‌تواند به سهولت، میزان آسیب‌پذیری سازه‌ها را بیان کند. همچنین به کمک این شاخص می‌توان

باقی مانده" که از ترکیب مطالعات اساسی تحلیل خطر زلزله و تحلیل لرزه‌ای سازه تشکیل شده است ارائه می‌گردد:

گام چهارم: تعیین ظرفیت ساختمان بر اساس شتاب با استفاده از رابطه تعیین تغییر مکان هدف (رابطه (۲)) مقدار شتاب ظرفیتی سازه (A) متناظر با تغییر مکان ظرفیتی بام ساختمان ( $\delta_i$ ) محاسبه می‌گردد.

$$\delta_i = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left( \frac{T_e}{2\pi} \right)^2 g \quad (2)$$

در این رابطه  $C_0$  ضریب اصلاح برای ارتباط تغییر مکان طیفی سیستم یک درجه آزادی به تغییر مکان بام سیستم چند درجه آزادی،  $C_1$  ضریب اصلاح برای تبدیل تغییر مکان‌های محاسبه شده از پاسخ خطی الاستیک به تغییر مکان‌های غیرالاستیک ماکزیمم مورد انتظار،  $C_2$  ضریبی برای در نظر گرفتن اثرات کاهش سختی و مقاومت اعضای سازه‌ای بر تغییر مکان‌ها به دلیل رفتار غیرارتجاعی و  $C_3$  ضریب اصلاح برای اعمال اثرات  $P-\Delta$  بر تغییر مکان‌ها است.  $S_a$  شتاب طیفی به ازای زمان تناوب مؤثر  $T_e$  است که از حاصلضرب  $A$  و  $B$  به دست می‌آید. مقدار  $B$  از طیف استاندارد ۲۸۰۰ قابل تعیین است. لذا در رابطه (۲) فقط  $A$  مجهول است.

گام پنجم: تعیین بزرگی زلزله ظرفیت با توجه به موقعیت ساختمان و فاصله آن تا گسل منطقه و معلوم بودن مقدار  $A$  در گام قبل، به کمک یکی از روابط کاهندگی، بزرگی زلزله ظرفیتی تعیین می‌شود. در این تحقیق از روابط کاهندگی (رابطه شتاب بیشینه- بزرگی زلزله) دنوان و زارع (۱۹۹۵) استفاده شده است [۱۶].

گام ششم: انتخاب خطر قابل قبول از آنجائیکه سطوح خطر زلزله به صورت احتمالاتی تعیین می‌شوند، ضروری است احتمال وقوع زلزله در طی عمر مفید سازه در تعیین شتاب طراحی مشخص گردد. در این تحقیق خطر قابل قبول برای زلزله، ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است ( $R=10\%$ ).

گام اول: مدل سازی هندسی سازه و تعریف رفتار مصالح در این مرحله مشخصات هندسی سازه تعریف می‌شود و رفتار غیرخطی مصالح برای اعضا تعریف می‌شود. معیارهای مربوط به عملکرد مورد انتظار از سازه در این مرحله مشخص می‌گردد. عملکردهای مورد انتظار از سازه می‌تواند یکی از حالت‌های بهره برداری بی‌وقفه (IO) ایمنی جانی (LS) و آستانه فروریزش (CP) باشد. این مرحله هیچ تفاوتی با تحلیل رایج در ارزیابی آسیب پذیری سازه‌ها ندارد. سازه‌های انتخابی در این تحقیق قاب‌های مهاربندی شده ضریب‌ری هستند.

در این تحقیق با انتخاب چند سازه‌ی فولادی ۴، ۷ و ۱۰ طبقه با سیستم جانبی مهاربند همگرا (ضریب‌ری) که بر اساس ضوابط ویرایش‌های اول، دوم و سوم استاندارد ۲۸۰۰ [۱۴] بارگذاری شده و بر اساس مبحث دهم مقررات ملی [۱۵] در منطقه تهران طراحی شده است، به بررسی این شاخص پرداخته می‌شود.

گام دوم: انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی با استفاده از ضوابط دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها، بدون نیاز به محاسبه تغییر مکان هدف، تحلیل بارافزون انجام می‌شود. این تحلیل تا جایی ادامه پیدا می‌کند تا اولین مفصل پلاستیک به عملکرد مورد انتظار برسد. در این تحقیق عملکرد مورد انتظار، ایمنی جانی (LS) در نظر گرفته شده است.

گام سوم: تعیین مقدار تغییر مکان ظرفیتی بام ساختمان مقدار تغییر مکان بام ساختمان متناظر با تشکیل اولین مفصل پلاستیک تعیین می‌گردد.



در ادامه برای نشان دادن کاربرد این شاخص در ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌ها چند مثال در قالب مطالعات موردی ارائه می‌شود.

#### ۴- مطالعه موردی

به منظور ارزیابی شاخص خسارت پیشنهادی، ۳ سازه فولادی ۴، ۷ و ۱۰ طبقه از نوع قاب مهاربندی ضربدری انتخاب شد. این قاب‌ها، بر اساس ویرایش‌های اول، دوم و سوم استاندارد ۲۸۰۰ بارگذاری و بر اساس مبحث ۱۰ مقررات ملی طراحی شدند. ارتفاع کلیه طبقات ۳/۲ و طول کلیه دهانه‌ها ۵ متر می‌باشد. در مدل سازی این سازه‌ها، خاک بستری II و منطقه احداث سازه تهران (با خطرپذیری بسیار زیاد) در نظر گرفته شده است. سایر فرضیات طراحی و بارگذاری در جداول (۱) و (۲) ارائه شده و پلان تیپ سازه‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱): مشخصات مصالح فولادی و بتنی

|                       |                    |                       |
|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| $E_s = 2 \times 10^5$ | N/mm <sup>2</sup>  | مدول الاستیسیته فولاد |
| $W = 80$              | kN/mm <sup>2</sup> | وزن واحد حجم فولاد    |
| $\nu = 0.3$           | ---                | ضریب پواسون فولاد     |
| $F_y = 240$           | N/mm <sup>2</sup>  | تنش جاری شدن فولاد    |
| $E_c = 2 \times 10^4$ | N/mm <sup>2</sup>  | مدول الاستیسیته بتن   |
| $W = 24$              | kN/mm <sup>3</sup> | وزن واحد حجم بتن      |
| $\nu = 0.2$           | ---                | ضریب پواسون بتن       |
| $F_c = 20$            | N/mm <sup>2</sup>  | مقاومت فشاری بتن      |

جدول (۲): فرضیات بارگذاری

|                         |       |           |
|-------------------------|-------|-----------|
| ۷۰۰ DkN/mm <sup>2</sup> | طبقات | بار مرده  |
| ۶۵۰ DkN/mm <sup>2</sup> | بام   |           |
| ۲۰۰ DkN/mm <sup>2</sup> | طبقات | بار زنده  |
| ۱۵۰ DkN/mm <sup>2</sup> | بام   |           |
| ۸۰۰ DkN/mm <sup>2</sup> | طبقات | بار دیوار |
| ۲۵۰ DkN/mm <sup>2</sup> | بام   |           |

گام هفتم: تعیین احتمال وقوع سالیانه زلزله

با استفاده از رابطه شدت و بزرگای گوتنبرگ-ریشتر (رابطه (۳)) و اعمال ضرائب  $a$  و  $b$  که وابسته به منطقه هستند، احتمال وقوع زلزله ( $N$ ) تعیین می‌گردد.

$$\log N = a - bM \quad (3)$$

در این تحقیق ضرائب  $a$  و  $b$  به ترتیب برابر ۶/۰۲ و ۱/۱۸ در نظر گرفته شده است.

گام هشتم: تعیین عمر مفید باقی مانده ساختمان

با در اختیار داشتن مقادیر  $N$  و  $R$  و با استفاده از رابطه توزیع پواسون (رابطه (۴)) مقدار عمر مفید باقی مانده ساختمان ( $t$ ) محاسبه می‌گردد.

$$R = 1 - e^{-Nt} \quad (4)$$

#### ۳- مزایای شاخص جدید

شاخص زیان "عمر مفید باقی مانده ساختمان" دارای مزایایی است که آن را در مقایسه با شاخص‌های دیگر متمایز می‌نماید. این مزایا عبارتند از:

الف- استفاده از این شاخص برای ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها بسیار ساده است. اگر مقدار عمر مفید باقی مانده کمتر از ۵۰ سال باشد، سازه آسیب‌پذیر است و اگر ۵۰ سال و یا بیشتر باشد سازه آسیب‌پذیر نیست و نیازی به مقاوم سازی ندارد.

ب- این شاخص برای اکثر افرادی که حتی در زمینه مهندسی زلزله دارای تخصص‌های بالا نیستند قابل فهم است.

ج- از این شاخص می‌توان برای الویت بندی زمانی مقاوم سازی یک سری خاص از ساختمان‌های آسیب‌پذیر استفاده نمود. ساختمان‌هایی که دارای عمر مفید باقی مانده کمتری هستند باید زودتر مقاوم سازی شوند.

د- با توجه به ماهیت این شاخص و قابل فهم بودن آن برای کارشناسان اقتصادی بیمه، می‌توان از آن در صنعت بیمه برای بیمه کردن ساختمان‌ها استفاده نمود.

دوم نوع توزیع بارگذاری ارتفاعی نشان داده شده است. در ستون سوم تغییر مکان بام متناظر با ایمنی جانی ( $\delta$ ) ارائه شده است. در ستون‌های چهارم و پنجم به ترتیب مقادیر شتاب طیفی ( $S_a$ ) و شتاب ظرفیتی ( $A$ ) برای هر حالت ارائه گردیده است. با توجه به تقارن سازه‌ها در دو جهت  $X$  و  $Y$  نتایج فقط برای یکی از این دو جهت انجام شد.

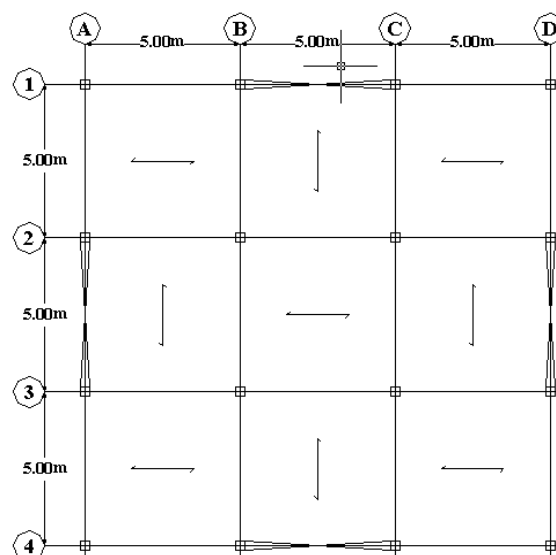
جدول (۳): نتایج تحلیل استاتیکی غیر خطی مدل ۴ طبقه

| A     | $S_a$<br>m/s <sup>2</sup> | $\delta$<br>cm | توزیع بار | ویرایش<br>استاندارد |
|-------|---------------------------|----------------|-----------|---------------------|
| ۰/۱۹۵ | ۰/۴۸۷                     | ۰/۰۷           | مود اول   | اول                 |
| ۰/۱۹۰ | ۰/۴۷۵                     | ۰/۰۶۷          | مثلی      |                     |
| ۰/۱۸۹ | ۰/۴۷۲                     | ۰/۰۵۵          | یکنواخت   |                     |
| ۰/۲۹۶ | ۰/۷۴۰                     | ۰/۰۹۷          | مود اول   | دوم                 |
| ۰/۲۹۱ | ۰/۷۳۰                     | ۰/۰۹           | مثلی      |                     |
| ۰/۲۹۰ | ۰/۷۱۵                     | ۰/۰۷           | یکنواخت   |                     |
| ۰/۲۶۵ | ۰/۶۶۰                     | ۰/۰۸           | مود اول   | سوم                 |
| ۰/۲۶۰ | ۰/۶۵۰                     | ۰/۰۷۵          | مثلی      |                     |
| ۰/۲۳۵ | ۰/۵۵۰                     | ۰/۰۵۸          | یکنواخت   |                     |

جدول (۴): نتایج تحلیل استاتیکی غیر خطی مدل ۱۰ طبقه

| A    | $S_a$<br>m/s <sup>2</sup> | $\delta$<br>cm | توزیع بار | ویرایش<br>استاندارد |
|------|---------------------------|----------------|-----------|---------------------|
| ۰/۱۱ | ۰/۲۲                      | ۰/۱۱           | مود اول   | اول                 |
| ۰/۱۲ | ۰/۲۴                      | ۰/۱۲           | مثلی      |                     |
| ۰/۲۴ | ۰/۴۸                      | ۰/۲۶           | یکنواخت   |                     |
| ۰/۲۳ | ۰/۴۵                      | ۰/۲۵           | مود اول   | دوم                 |
| ۰/۲۶ | ۰/۵۱                      | ۰/۲۶           | مثلی      |                     |
| ۰/۳۵ | ۰/۷۰                      | ۰/۲۸           | یکنواخت   |                     |
| ۰/۲۲ | ۰/۴۵                      | ۰/۲۲           | مود اول   | سوم                 |
| ۰/۲۵ | ۰/۴۹                      | ۰/۲۳           | مثلی      |                     |
| ۰/۳۵ | ۰/۷۰                      | ۰/۲۶           | یکنواخت   |                     |

پس از محاسبه شتاب ظرفیتی، بزرگای ظرفیت، به کمک رابطه شتاب-بزرگا (رابطه کاهندگی) تعیین می‌گردد.



شکل (۱): پلان تیب طبقات مدل‌ها

#### ۵- تعیین عمر مفید باقی مانده مدل‌ها

پس از مدل سازی هندسی سازه‌ها و تعریف رفتار مصالح برای اعضای آنها، تحلیل استاتیکی غیرخطی برای مدل‌ها انجام شد. تحلیل بارافزون تا رسیدن یکی از اعضای سازه به عملکرد ایمنی جانی (LS) ادامه پیدا کرد. تغییر مکان بام متناظر با تشکیل اولین مفصل پلاستیک LS تعیین شد. آنگاه به کمک رابطه (۲) شتاب طیفی ( $S_a$ ) متناظر با تغییر مکان محاسبه گردید و نهایتاً مقدار A از تقسیم  $S_a$  بر مقدار طیف (مقدار B در طیف استاندارد ۲۸۰۰) حاصل شد. از آنجائیکه تحلیل استاتیکی غیرخطی متأثر از توزیع بارگذاری سازه است، در این تحقیق سه نوع بارگذاری معرفی شده در نشریه ۳۶۰ مورد استفاده قرار گرفت. توزیع مشابه مود اول سازه، توزیع مثلی و توزیع یکنواخت، سه نوع توزیع مورد استفاده در این تحقیق می‌باشند. با توجه به مطالب ارائه شده می‌توان گفت در مجموع ۲۷ تحلیل استاتیکی غیرخطی انجام شد: ۹ تحلیل برای سازه ۴ طبقه، ۹ تحلیل برای سازه ۷ طبقه و ۹ تحلیل برای سازه ۱۰ طبقه.

در جدول (۳) و (۴) مقادیر حاصل از تحلیل به ترتیب برای مدل‌های ۴ و ۱۰ طبقه ارائه شده است. در ستون اول از سمت راست، نوع ویرایش استاندارد ۲۸۰۰ که سازه بر اساس آن طراحی شده، ارائه گردیده است. در ستون



جدول (۸): مقادیر N برای مدل ۴ طبقه

| ویرایش استاندارد | روش دنوان | روش زارع |
|------------------|-----------|----------|
| اول              | ۰/۴۴۰     | ۱/۰۰۰    |
| دوم              | ۰/۰۳۸     | ۰/۱۴۹    |
| سوم              | ۰/۰۶۶     | ۰/۳۳۸    |

جدول (۹): مقادیر N برای مدل ۷ طبقه

| ویرایش استاندارد | روش دنوان | روش زارع |
|------------------|-----------|----------|
| اول              | ۸/۸۳      | ۱۱/۵۸۰   |
| دوم              | ۰/۰۸۷     | ۰/۱۱۴    |
| سوم              | ۰/۱۴۹     | ۰/۱۹۶    |

جدول (۱۰): مقادیر N برای مدل ۱۰ طبقه

| ویرایش استاندارد | روش دنوان | روش زارع |
|------------------|-----------|----------|
| اول              | ۲/۲۶۰     | ۰/۸۳۰    |
| دوم              | ۰/۱۹۶     | ۰/۱۴۹    |
| سوم              | ۰/۱۹۶     | ۰/۱۹۶    |

جدول (۱۱): مقادیر عمر مفید باقی مانده برای مدل ۴ طبقه

| ویرایش استاندارد | روش دنوان | روش زارع |
|------------------|-----------|----------|
| اول              | ۲۷        | ۱۲       |
| دوم              | ۲۶۰       | ۸۰       |
| سوم              | ۱۴۰       | ۲۵       |

جدول (۱۲): مقادیر عمر مفید باقی مانده برای مدل ۷ طبقه

| ویرایش استاندارد | روش دنوان | روش زارع |
|------------------|-----------|----------|
| اول              | ۲         | ۲        |
| دوم              | ۱۴۰       | ۱۰۰      |
| سوم              | ۸۵        | ۶۰       |

جدول (۱۳): مقادیر عمر مفید باقی مانده برای مدل ۱۰ طبقه

| ویرایش استاندارد | روش دنوان | روش زارع |
|------------------|-----------|----------|
| اول              | ۲         | ۱        |
| دوم              | ۱۰۰       | ۸۰       |
| سوم              | ۵۵        | ۶۰       |

شاخص پیشنهادی این تحقیق به نوع رابطه کاهندگی بستگی دارد. این موضوع در مطالعات روتین تحلیل خطر که در آن شتاب طراحی با توجه به مقدار بزرگی زلزله

در این تحقیق از روابط کاهندگی دنوان و زارع استفاده شد. همچنین فرض شد، فاصله محل ساختمان تا گسل برابر ۱۴۰ کیلومتر باشد. این محاسبات برای هر یک از ۳ مدل ساختمانی انجام گردید. در جداول (۵)، (۶) و (۷) به ترتیب نتایج حاصل برای مدل‌های ۴، ۷ و ۱۰ طبقه ارائه شده است. واحد مقادیر این جداول بر حسب ریشتر می‌باشد.

جدول (۵): نتایج بزرگای ظرفیت برای مدل ۴ طبقه

| ویرایش استاندارد | روش دنوان | روش زارع |
|------------------|-----------|----------|
| اول              | ۵/۴       | ۵/۱      |
| دوم              | ۶/۳       | ۵/۸      |
| سوم              | ۶/۱       | ۵/۵      |

جدول (۶): نتایج بزرگای ظرفیت برای مدل ۷ طبقه

| ویرایش استاندارد | روش دنوان | روش زارع |
|------------------|-----------|----------|
| اول              | ۴/۳       | ۴/۲      |
| دوم              | ۶/۰       | ۵/۹      |
| سوم              | ۵/۸       | ۵/۷      |

جدول (۷): نتایج بزرگای ظرفیت برای مدل ۱۰ طبقه

| ویرایش استاندارد | روش دنوان | روش زارع |
|------------------|-----------|----------|
| اول              | ۴/۸       | ۴/۳      |
| دوم              | ۵/۷       | ۵/۸      |
| سوم              | ۵/۷       | ۵/۷      |

با استفاده از رابطه شدت بزرگای ریشتر-گوتنبرگ، مقادیر N در هر یک از حالت‌های مورد بررسی تعیین گردید. مقادیر M از جداول (۵)، (۶) و (۷) اخذ شد و مقادیر a و b به ترتیب برابر ۶/۰۲ و ۱/۱۸ در نظر گرفته شد. در جداول (۸)، (۹) و (۱۰) مقادیر N (احتمال وقوع سالیانه) به ترتیب برای مدل‌های ۴، ۷ و ۱۰ طبقه ارائه شده است.

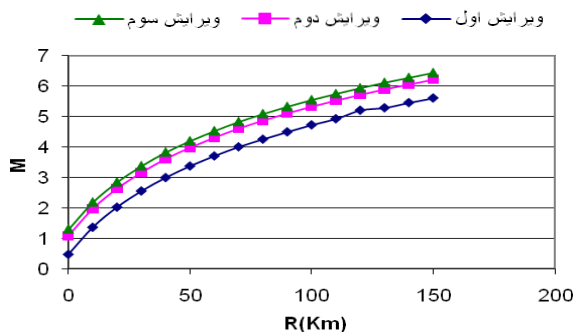
در نهایت با در اختیار داشتن مقادیر N و معلوم بودن مقدار خطر (R=٪۱۰)، مقدار شاخص زیان "عمر مفید باقی مانده ساختمان" (T) با استفاده از رابطه (۴) حاصل شد. مقادیر T (عمر مفید باقی مانده ساختمان بر حسب سال) در جداول (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) به ترتیب برای ساختمان‌های ۴، ۷ و ۱۰ طبقه ارائه شده است.

تعیین می شود نیز صادق است. لذا می توان گفت اگر در نتایج حاصل از روش پیشنهادی، اختلاف زیاد مشاهده می شود به دلیل نوع رابطه کاهندگی است. بنابر این باید متذکر شد که در پروژه های عملی باید از روابط کاهندگی استفاده کرد که برای شرایط مشابه منطقه پیشنهاد شده باشد.

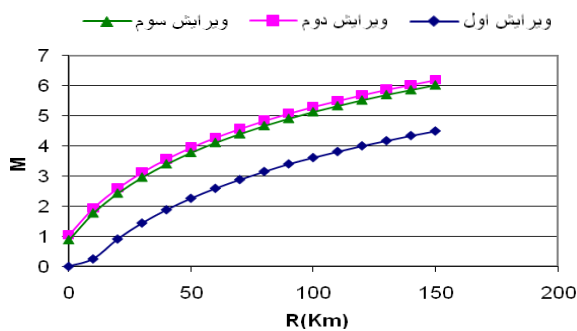
همانگونه که از جداول (۱۱) تا ۱۳ مشاهده می گردد، مقادیر حاصل برای عمر مفید باقی مانده بر اساس ویرایش دوم، بزرگتر از ویرایش های دیگر به دست آمده است. زیرا در این ویرایش، ضابطه ای برای محاسبه تنش مجاز اعضای مهاربندی وجود دارد که طی آن تنش مجاز با استفاده از ضریب B (عددی کوچکتر از یک) کاهش قابل ملاحظه ای پیدا می کند و اعضای مهاربندی قوی تر طراحی می شوند. به همین دلیل در این ویرایش، عمر مفید باقی مانده ساختمانها بیشتر به دست می آید.

#### ۶- آنالیز حساسیت شاخص پیشنهادی

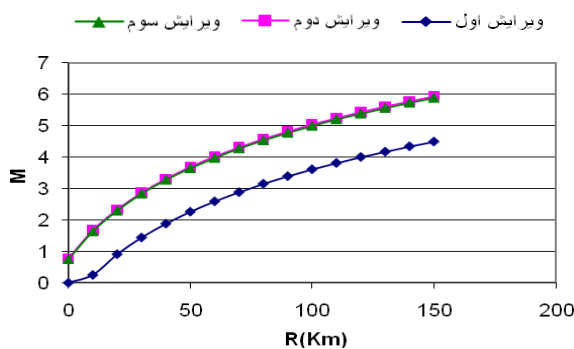
در این قسمت به منظور بررسی حساسیت شاخص عمر مفید باقی مانده به پارامتر فاصله ساختگاه از گسل، نتایج به دست آمده برای سازه ها، در طیف صفر تا یکصد و پنجاه کیلومتری به صورت منحنی هایی به نمایش در آمده است. در شکل های (۲) تا (۷) منحنی های بزرگای ظرفیت و منحنی های عمر مفید سازه ها با ویرایش های متفاوت ترسیم شده است. در شکل های (۲)، (۳) و (۴) محور افقی، فاصله تا گسل و محور قائم، بزرگای زلزله است. هر چه فاصله تا گسل افزایش یابد، مقدار بزرگای ظرفیت سازه نیز افزایش پیدا می کند. می توان نتیجه گرفت در فواصل کم، حساسیت بزرگای زلزله بیشتر است.



شکل (۲): حساسیت بزرگای ظرفیت به فاصله گسل برای مدل ۴ طبقه



شکل (۳): حساسیت بزرگای ظرفیت به فاصله گسل برای مدل ۷ طبقه



شکل (۴): حساسیت بزرگای ظرفیت به فاصله گسل برای مدل ۱۰ طبقه

در شکل های (۵)، (۶) و (۷) محور افقی نشانگر فاصله تا گسل و محور قائم مقدار شاخص عمر مفید باقی مانده ساختمان را نشان می دهد. همانگونه که از این شکلها مشاهده می گردد، حساسیت عمر مفید باقی مانده در فواصل بزرگتر به مراتب بیشتر از فواصل کوچکتر است.

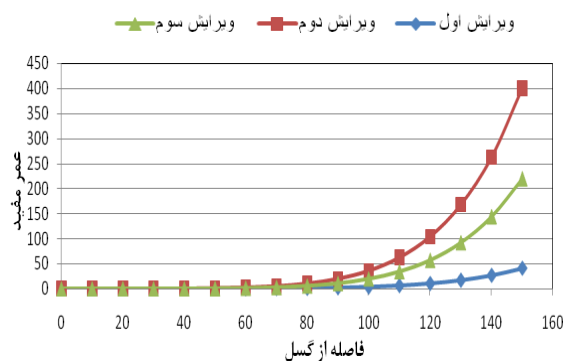




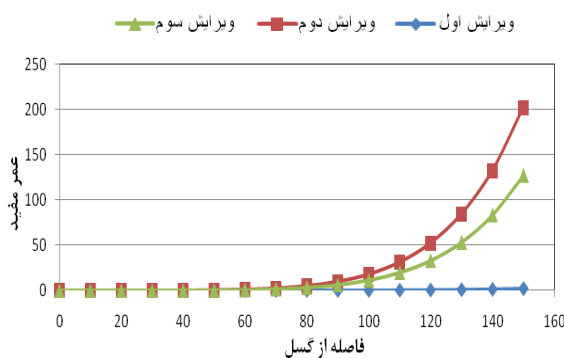
## ۷- نتیجه گیری

هدف اصلی این مقاله، معرفی شاخص جدیدی به نام شاخص عمر مفید باقی مانده ساختمان و کاربرد آن در ارزیابی آسیب پذیری ساختمان‌هاست. به این منظور پس از معرفی شاخص و تشریح روش تعیین آن، یک مطالعه موردی انجام شد و آنالیز حساسیت بر حسب فاصله تا گسل انجام گرفت. نتایج آن به شرح ذیل ارائه می‌گردد:

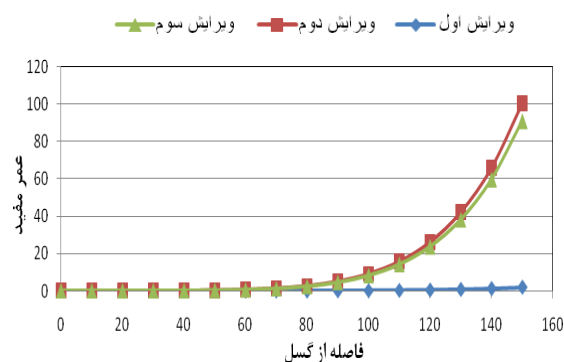
- در کلیه سازه‌ها در فواصل نزدیک به گسل، عمر مفید باقی مانده سازه‌ها به شدت کاهش می‌یابد. در فواصل خیلی دور از گسل نمودارها به شدت اوج می‌گیرند که بیانگر حساس بودن روابط کاهندگی به محدوده فاصله ساختگاه از گسل می‌باشد.
- نکته قابل توجه در منحنی‌های عمر مفید باقی مانده ساختمان‌ها این است که نتایج به دست آمده، بر اساس استفاده از روابط کاهندگی زارع و دنوان می‌باشد و ممکن است در صورت استفاده از دیگر روابط، تفاوت‌هایی در نتایج بوجود آید. دلیل آن است که این رابطه‌ها با توجه به ویژگی‌های لرزه زمین ساختی و زلزله شناختی پوسته زمین در آن ناحیه کاربرد دارند و استفاده از آن‌ها در نواحی دیگر حتی الامکان توصیه نمی‌شود.
- با توجه به نمودارهای عمر مفید سازه‌ها می‌توان ادعا نمود که سازه‌هایی که بر اساس ویرایش سوم طراحی شدند، آسیب پذیرتر از سازه‌هایی هستند که بر اساس ویرایش دوم طراحی شدند. دلیل این امر حذف ضریب کاهش تنش مجاز برای طراحی مهاربندها در ویرایش سوم که باعث کاهش ابعاد مقطع اعضای مهاربندی شده است.
- از آنجائیکه یکی از سیاست‌های دولت در مورد بناهای قدیمی ارگان‌های دولتی، جایگزین کردن عملیات بهسازی به جای نوسازی می‌باشد، لذا با ترسیم منحنی عمر مفید باقی مانده این ساختمان‌ها می‌توان یک دسته بندی و اولویت بندی مناسب جهت بهسازی این ساختمان‌ها ایجاد کرد تا از مقاوم



شکل (۵): منحنی عمر مفید باقی مانده ی مدل ۴ طبقه



شکل (۶): منحنی عمر مفید باقی مانده ی مدل ۷ طبقه



شکل (۷): منحنی عمر مفید باقی مانده ی مدل ۱۰ طبقه

شایان ذکر است، روابط کاهندگی مورد استفاده در این تحقیق برای زلزله‌های حوزه دور کاربرد دارد و استفاده از آنها برای زلزله‌های حوزه نزدیک دقت قابل قبول ندارد. بنابر این نتایج حاصل از این روابط در فاصله‌های کمتر از ده کیلومتر قابل قبول نیست.

سازی ساختمان‌هایی که بهسازی آن‌ها توجیه اقتصادی ندارد جلوگیری به عمل آید.

#### ۷- مراجع

[13] Ghobarah, A., Abou-Elfath, H. and Biddah, A. (1999), "Response-Based Damage Assessment of Structures", arthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 28, No. 1, pp. 79-104.

[۱۴] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، (۱۳۸۷)، "طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی".

[۱۵] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰.

[۱۶] زارع، م. (۱۳۸۸)، "مبانی تحلیل خطر زمین لرزه"، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

[1] Federal Emergency Management Agency, FEMA356 (1997), Pre standard Commentary for the seismic Rehabilitation of Building, Building Seismic Safety Council.

[2] Applied Technology of Council, ATC40 (1997), Seismic Evaluation and Retrofit Concrete Buildings, California Seismic Safety Commission.

[۳] حبیبی، ع.ر.، محرمی، ح. و تسنیمی، ع.ع.، (۱۳۸۵)، "ارزیابی عملکرد لرزه ای قاب های خمشی بتن مسلح با استفاده از اندیس خسارت"، نشریه دانشکده فنی (ویژه مهندسی عمران)، جلد ۴۰، شماره ۵، صفحه ۷۰۱.

[4] Powell, H. and Allahabadi, R. (1998), "Seismic Damage Prediction by Deterministic Methods", Concepts and Procedures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 16.

[5] Sozen, M.A. (1981), "Review of Earthquake Response of Reinforced Concrete Building with a View to Drift Control", State-of-the-Art in Earthquake Engineering, Istanbul (Turkey): Turkish National Committee on Earthquake Engineering.

[6] Ghobarah, A., Abou-Elfath, H. and Biddah, A.. (1999), "Response Based Damage Assessment of Structures", Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 28, No. 1, pp. 79-104.

[7] Chai, Y.H., Fajfar, P. and, Romstad, K.M. (1998), "Formulation of During Dependent Inelastic Seismic Design Spectrum", Journal of structure Engineering ASCE; Vol. 124, No. 8, pp. 913-921.

[8] Park, Y.J. and Ang, A. (1985), "Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 111, No. 4, pp. 722-739.

[9] Banon, H. and Veneziano, D. (1982), "Seismic Safety of Reinforced Concrete Members and Structures", Earthquake Engineering and Structural Dynamic, Vol. 10, No. 2, pp. 179-193.

[10] Falerio, S., Oller, S. and Barbat, A. (2008), "Plastic-Damage Seismic Model for Reinforced Concrete Frames", Computers and Structures, Vol. 86, No. 7, pp. 581-597.

[11] Zhang, X., Wong, K. and Wang, Y. (2007), "Performance Assessment of Moment Resisting during Earthquakes base on the Force Analogy Method", Engineering Structures, Vol. 29, No. 10, pp. 2792-2802.

[12] Otani, S. and Sozen, M.A. (1972), "Behavior of Multi-Storey Reinforced Concrete Frames during Earthquakes", Structural Research Series No. 392, Civil Engineering Studies, University of Illinois, Urbana.

