

## بررسی چگونگی تأثیر ضریب برش پایه بر هزینه‌های دوران بهره‌برداری قاب‌های خمشی فولادی

بهنام بهشتیان

کارشناس ارشد مهندسی سازه و زلزله، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران  
BehnamBeheshtian@gmail.com

هما یون استکانچی

پروفسور، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران  
stkanchi@sharif.edu

کلید واژه‌ها: زمان‌دوام، برآورد هزینه‌ی دوران بهره‌برداری (LCC)، طراحی عملکردی، طراحی بر اساس دوران بهره‌برداری، آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰

### چکیده

آنالیز هزینه‌ی دوران بهره‌برداری (LCCA) روشی برای برآورد عملکرد سیستم‌ها در بسیاری از شاخه‌های مهندسی می‌باشد. در مهندسی زلزله رویکرد LCCA به دنبال برآورد هزینه‌ی تحمیل شده به اجزای سازه تحت زلزله‌هایی با دوره‌های بازگشت متفاوت می‌باشد. در این کار برای حصول ظرفیت لرزه‌ای سازه، به جهت استفاده در آنالیز دوره‌ی بهره‌برداری LCCA، از آنالیز زمان دوام استفاده شد؛ این در حالی است که به طور سنتی استفاده از آنالیز رانش استاتیکی و آنالیز فزاینده‌ی دینامیکی رایج می‌باشد. در روش زمان دوام سازه تحت شتابنگاشت‌های فزاینده‌ای قرار می‌گیرد که مدت زمان‌های مختلف اعمال آن نمایانگر شدت‌های مختلف زلزله در هر یک از سطوح عملکردی می‌باشد. لذا استفاده از این روش موجب گشت تا با هزینه‌ی محاسباتی‌ای به مراتب اندک، دریافتی درست از عملکرد سازه در سطوح عملکردی پیوسته حاصل آید.

برای نیل به اهداف مد نظر قاب‌های مشابه‌ای ۷ طبقه، با ضرایب برش پایه‌ی متفاوت طراحی شدند. در گام بعد هر قاب طراحی شده با نرم افزار Open Sees مدل سازی شد و با انجام تحلیل تاریخچه‌ی زمانی غیر خطی، داده‌های اولیه برای محاسبه‌ی هزینه‌ی دوران بهره‌برداری بدست آمد. در پایان با بررسی نتایج بدست آمده دیدیم که در حدود هزینه‌های اولیه‌ی اختیار شده افزایش ضریب برش پایه عموماً موجب کاهش مجموع هزینه‌های دوران بهره‌برداری می‌گردد. تمام اجزای هزینه‌ای با افزایش ضریب برش پایه کاهش می‌یابند به غیر از جزء هزینه‌ای آسیب محتویات ناشی از شتاب که با افزایش ضریب برش پایه افزایش می‌یابد. مشاهده شد تغییر قیمت پایه‌ی جزء هزینه‌ی آسیب محتویات ناشی از شتاب، در مقادیر ثابت قیمت فولاد موجب کاهش نسبت ضریب برش پایه‌ی بهینه گردید.

نمودار نهایی ارایه شده طراح را قادر می‌سازد با دانستن ویژگی‌های سازه و قیمت تمام شده‌ی هر کیلوگرم فولاد، ضریب برش پایه‌ی مناسبی را جهت دستیابی به طرحی بهینه برگزیند و از انجام عملیات وقت گیر و پرهزینه‌ی آنالیز هزینه‌ی دوران بهره‌برداری رهایی یابد.

### مقدمه

#### اهمیت و جایگاه

زلزله یکی از خسارت‌زا ترین پدیده‌های طبیعی می‌باشد که هر ساله در نقاط مختلف دنیا زیان‌های مالی و جانی بسیاری را به انسان‌ها وارد می‌کند. با پیشرفت علم و دانش امروزه روش‌های مختلفی برای تحلیل نیروهای زلزله ابداع شده است و علم مهندسی زلزله روز به روز در حال پیشرفت و گسترش است. تا دهه‌ی ۹۰ همدفاصلی در مهندسی زلزله حصول اطمینان از مقاومت سازه‌ها و جلوگیری از تلفات جانی ساکنین بود. اما با وقوع زلزله‌های پر قدرت کوبه<sup>۲</sup> در ژاپن و نورتریج<sup>۳</sup> در آمریکا این هدف مورد تردید قرار گرفت. در زلزله‌های یاد شده اگرچه تلفات جانی به نسبت کم بود ولی هزینه‌ی تعمیر سازه‌ها به حدی بود که در بسیاری از موارد تعمیر آن‌ها اقتصادی نبود (Riahi and Estekanchi, 2010).

1. Life Cycle Cost Analysis
2. Kobe
3. Northridge



نتیجه نیاز شدیدی به یک روش جدید طراحی سازه‌ها احساس می‌شود. دو پارامتر تعیین کننده در طراحی بر اساس عملکرد یک سازه، عملکرد لرزه ای و هزینه یا خسارت میباشند. به بیان دیگر، یک سازه زمانی از نظر کارفرما مناسب است که علاوه بر داشتن امنیت کافی هنگام وقوع زلزله میزان هزینه ساخت، هزینه نگهداری و تعمیرات، و نیز میزان خسارت احتمالی آن هنگام وقوع زلزله در حد معقولی باشد. تخمین این خسارتها معمولاً از طریق ارتباط آنها با پارامترهای سازه ای و تحلیل و ارزیابی پارامترهای مربوطه در یک مدت زمان مشخص (مثلاً یک سال یا طول عمر مفید سازه) انجام می‌شود (Mirzaee and Estekanchi (2013). به علاوه این ابزار می‌تواند به عنوان وسیله ای تصمیم ساز برای حصول اقتصادی ترین راه حل برای ساخت یک بنا در مناطق لرزه خیز به کار آید (Basim and Estekanchi (2014).

### تعریف مسئله

در این کار هزینه‌ی دوران بهره برداری قاب‌های فولادی که مطابق با شرایط رایج در کشور بارگذاری و براساس ویرایش چهارم آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ طراحی شده اند محاسبه گشت. برای این کار از روش آنالیز زمان دوام جهت انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی استفاده شد که موجب صرفه جویی قابل ملاحظه ای در زمان انجام تحلیل ها گردید.

در گام بعد پس از مشخص نمودن هزینه ی دوران بهره برداری، مدل سازه تغییر یافت تا چگونگی تغییر هزینه ی دوران بهره برداری و هزینه ی اولیه ی سازه مورد ارزیابی قرار گیرد. تغییر مدل سازه به شکلی نظام مند با تغییر در ضریب برش پایه و طراحی سازه ی جدید بر اساس برش پایه یتغییر یافته صورت پذیرفت. لذا تغییر هزینه ی دوران بهره برداری و هزینه ی اولیه با افزایش برش پایه تحت بررسی قرار گرفت.

### مرور مراجع

در اوایل سال های ۱۹۸۰ در آمریکا LCCA به عنوان وسیله ای برای ارزیابی کل هزینه ی داشتن یک دارایی در طول مدت عمر آن معرفی شد (Arditi and Messiha (1996 و Asiedu and Gu (1998. در کار آقایان (Pei and Lindt (2009 یک چارچوب احتمالی برای تخمین خسارت های اقتصادی بلند مدت زلزله های احتمالی ارائه شد. ثابت شده که آنالیز دینامیکی افزایشی شیوه ای مناسب برای رسیدن به تخمینی از عملکرد سازه در سطوح خطر متفاوت می باشد لذا مناسب دیده شده که در شیوه‌ی LCCA مورد استفاده قرار گیرد، (Ang, Vamvatsikos and Cornell (2009 and Lee (2001) یک رویکرد سیستماتیک برای ارزیابی میزان بهره وری اقتصادی سازه های موجود و همچنین ضوابط طراحی ای را از دیدگاه هزینه ی دوران بهره برداری ارائه دادند.

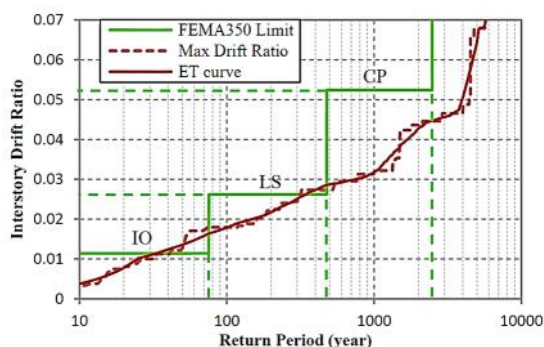
Min Liu و Burns در مقاله ای به ارائه ی یک روش بهینه سازی چند هدفه برای طراحی قاب های خمشی فولادی پرداختند. در این بررسی از پیشینه ی تغییر مکان میان طبقه ای به عنوان تنها پارامتر عملکردی و از آنالیز Push Over برای تعیین این تغییر مکان ها استفاده شد. سپس احتمال رخداد خسارتی بیش از خسارت مورد نظر کارفرما در دوره ای مشخص تعیین گردید. با استفاده از این روش که یک الگوریتم ژنتیک چند هدفه می باشد، مجموعه ای از طرح های متفاوت که برآیندی بهینه از سه هدف در نظر گرفته شده اند تولید خواهند شد. بنابر این طراحان آزادی عمل بیشتری در انتخاب طرح نهایی سازه خواهند داشت طرحی که تعادل مورد نظرشان را از لحاظ هزینه ی اولیه ، هزینه ی خرابی دوران بهره برداری و میزان پیچیدگی طراحی برآورده سازد (Liu et al., 2009).

### روش زمان دوام

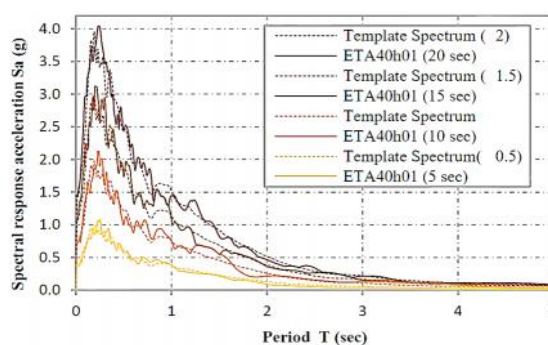
در روش زمان دوام سازه ها تحت تاثیر تحریکات افزاینده ی دینامیکی قرار می‌گیرند و عملکردشان با افزایش شدت تحریکات به طور پیوسته اندازه گیری خواهد شد. توابع تحریک زمان دوام که همانند شتاب نگاشت‌های مصنوعی می‌باشند بگونه ای تولید شده‌اند که در هر پنجره‌ی زمانی میان زمان های صفر تا زمانی مشخص، طیف پاسخی را مطابق با طیف الگویی به عنوان هدف تولید می‌کنند. طیف الگوی هدف با نرخ ثابتی نسبت به گذشت زمان افزایش می‌یابد و تطابق میان طیف الگوی هدف و طیف تحریک زمان دوام با گذشت زمان حفظ می‌گردد.

همانطور که در شکل ۲ قابل مشاهده است طیف پاسخ در پنجره ی زمانی  $t=0$  تا  $t=10$  ثانیه منطبق بر طیف الگوی مورد نظر می‌باشد. به علاوه طیف پاسخ ایجاد شده در سایر زمان ها نیز با ضرب یک ضریب اسکالر قابل انطباق بر طیف الگوی مورد نظر می‌باشد. بنابر این هر زمان در طول آنالیز زمان دوام، نمایانگر یک سطح خطر و به طبع آن نمایانگر یک دوره بازگشت معین می‌باشد. لذا همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده با دانستن مقدار پاسخ سازه در هر زمان در طول آنالیز زمان دوام، احتمال فراگذشت متناظر با آن پاسخ را نیز خواهیم داشت (Basim and Estekanchi (2014).





شکل ۱: نمونه ای از منحنی عملکرد (منحنی ET) برای یک قاب ۳



شکل ۲: طیف پاسخ شتاب تحریک ETA40h01 در زمان های مختلف

## معرفی، تحلیل خطی، طراحی و تحلیل غیر خطی قابها

در این پژوهش فرض شده که هر قاب ۲ بعدی مدل سازی شده بخشی از قابی سه بعدی با دهانه هایی کاملاً مساوی در دو جهت عمود بر هم می باشد. هندسه ی این قاب ها مشابه بوده و دارای دهانه هایی با طول ۴ متر و ارتفاع ۳.۲ متر می باشند. جهت نامگذاری قاب ها از ضریب برش پایه ی بکار رفته در تحلیل استاتیکی استفاده شد، به این صورت که عدد ارایه شده قبل از حرف C نمایانگر ضریب مربوطه می باشد، مانند 7s3b4m0.125C.

قاب ها که از نوع قاب خمشی ویژه می باشند، بر اساس پیشنویس ویرایش چهارم آیین نامه ی ۲۸۰۰ و با در نظر گرفتن  $610 \text{ kg/m}^2$  بار مرده برای تمام طبقات و  $200 \text{ kg/m}^2$  بار زنده برای تمام طبقات به جز بام و  $150 \text{ kg/m}^2$  بار زنده برای بام طراحی شدند. جهت طراحی قاب ها از ویژگی لیست انتخاب اتوماتیک مقاطع نرم افزار ETABS (با ۱۰۰ چرخه ی تحلیل و طراحی) استفاده شد. مقاطع معرفی شده به سیستم انتخاب اتوماتیک نرم افزار، ۱۱۵۰ مقطع می باشد که با درون یابی میان مقاطع HEB تولید گشتند. درون یابی انجام شده به این صورت است که بین هر دو مقطع HEB از طریق درون یابی هندسی پنجاه مقطع تولید گشت و به نرم افزار شد. برای هر قاب که دارای ضریب برش پایه ای مشخص است عمل طراحی استاتیکی ۳ بار، با مقاطع آغازین متفاوت انجام شد و قابی که دارای کمترین وزن بود به عنوان قاب بهینه جهت تحلیل غیر خطی انتخاب گشت.

جهت تحلیل غیر خطی قاب ها از نرم افزار OpenSees استفاده شد. در این نرم افزار تیر ها و ستون ها به صورت اعضای Nonlinear قابلیت پلاستیسیته شدن گسترده مدل سازی شدند. تمام مصالح به کار رفته در مدل سازی از نوع فولاد با عنوان Steel 01 است. این مدل برای تولید مصالح با رفتار تنش- کرنش دو خطی با کرنش- سختی و درصد شیب قسمت پلاستیک معین (۳٪ در این مدل ها) به کار می رود. مقاطع مورد نیاز در نرم افزار از نوع فایبر تعریف گشتند و از ۵ نقطه ی انتگرال گیری در طول هر عضو استفاده شد. اتصال تیر به ستون<sup>۸</sup> که شامل دو بخش چشمه ی اتصال<sup>۹</sup> و لولای اتصال<sup>۱۰</sup> می باشد نیز به دقت مدل سازی شد. جهت مدل سازی چشمه ی اتصال از مدل معروف به قیچی گونه<sup>۱۱</sup> با یک فنر پیچشی با رفتار هیستریزس<sup>۱۲</sup> مطابق با مدل معروف کراوینکلر<sup>۱۳</sup> استفاده شد، که رفتاری سه خطی ای را برای منحنی لنگر-موجاج چشمه چشمه ی اتصال در نظر می گیرد.

در این پژوهش از رکورد های سری ETA20jn از توابع زمان دوام که بر اساس طیف طرح استان تهران مقیاس گشته اند استفاده شد.

طیف طرح استان تهران برگرفته از کار میرزایی-استکانچی برای خاک نوع ۲ و بر اساس متد آیین نامه ی ASCE-41 تولید شده است.

## محاسبه ی هزینه

هزینه ی دوران بهره برداری در این پژوهش به هزینه ی ناشی از وقوع زلزله ی احتمالی در طول عمر مفید سازه اطلاق می شود. در ATC-13 (1985) چند سطح خرابی بر اساس دریافت میان طبقه ای در نظر گرفته شده است. جدول ۱ حدود دریافت و شتاب هر یک از سطوح خرابی و همچنین نرخ در نظر گرفته شده برای رخداد هر یک از اجزاء آسیب را ارایه می دهد.

<sup>6</sup>Auto Select Section List

<sup>7</sup>Fiber

<sup>8</sup>Beam to Column Connection

<sup>9</sup>Panel Zone

<sup>10</sup>Beam to Column Joint

<sup>11</sup>Scissors model

<sup>12</sup>Hysteresis

<sup>13</sup>Krawinkler



جدول ۱: حدود دررفت و شتاب هر سطح خطر و همچنین نرخ رخداد هر یک از اجزاء آسیب در هر سطح خطر

Performance level - Damage states	ATC-13Drift ratio limit(%) (Wenand Kang ,2001)	Floor acceleration limit (g) (Elenas and Meskouri,2001)	Mean damage index (%)	Expected Minor injury rate	Expected Serious injury rat	Expected death rate	Loss of Function time(days)	Downtime (days)
(I)-None	$D < 0.2$	$afloor < 0.05$	0	0	0	0	0	0
(II)-Slight	$0.2 < D < 0.5$	$0.05 < afloor < 0.10$	0.5	0.00003	0.000004	0.000001	1.1	1.1
(III)-Light	$0.5 < D < 0.7$	$0.10 < afloor < 0.20$	5	0.0003	0.00004	0.00001	16.5	16.5
(IV)-Moderate	$0.7 < D < 1.5$	$0.20 < afloor < 0.80$	20	0.003	0.0004	0.0001	111.8	11.8
(V)-Heavy	$1.5 < D < 2.5$	$0.80 < afloor < 0.98$	45	0.03	0.004	0.001	258.2	258.2
(VI)-Major	$2.5 < D < 5$	$0.98 < afloor < 1.25$	80	0.3	0.04	0.01	429.1	429.1
(VII)-Destroyed	$5.0 < D$	$1.25 < afloor$	100	0.4	0.4	0.2	612	612

چهار چوب رایج استفاده شده توسط محققین مرکز (PEER) می‌تواند در قالب رابطه‌ی (۱) خلاصه شود. با استفاده از این رابطه تخمینی از نرخ متوسط فراگذشت رخدادها (مانند یک ویژگی عملکردی) از یک مقدار معین بدست می‌آید. هزینه‌ی کل با فرض ثابت بودن مقاومت سازه در طول عمر مفید آن و با احتساب بارگذاری صرفاً لرزه ای از روابط زیر محاسبه میشود:

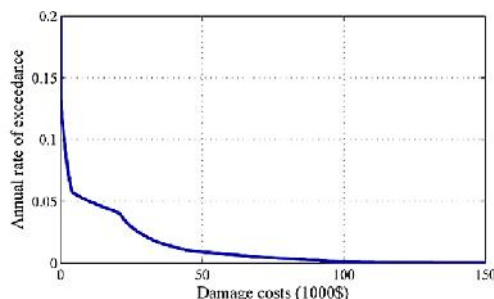
$$\lambda(dv) = \int_{dm} \int_{edp} \int_{im} G(dv|dm) |dG(dm|edp)| |dG(edp|im)| |d}(im) \quad (1)$$

که در آن  $im$  مقیاسی از شدت (مانند PGA)،  $edp$  یک پارامتر طلب مهندسی (مانند دررفت میان طبقه ای)،  $dm$  میزان آسیب (مانند پیش‌تجمع در یک مفصل) و  $dv$  بیانگر یک متغیر تصمیم‌گیری (مانند هزینه‌ی آسیب، مدت از دست رفتن فعالیت) می‌باشند.  $G(x|y) = P(x < X | Y = y)$  بیانگر تابع توزیع تجمعی متغیر تصادفی  $X$  است هنگامی که  $Y=y$  باشد، و  $\lambda(x)$  متوسط نرخ رخداد های  $\{x < X\}$  در یک سال می‌باشد.

توجه کنیم که برای متغیر  $X$  مقدار  $|d}(x)| \equiv |(x) - (x + dx)|$  بیان‌کننده‌ی تعداد رخدادهای  $\{x < X \leq x + dx\}$  در هر سال می‌باشد. در نتیجه با فرض مقادیر غیر منفی برای  $X$  انتظار می‌رود که مقدار تجمعی مورد انتظار مطابق رابطه‌ی ۲ باشد.

$$E[\sum X] = \int_0^{\infty} x |d}(x)| = \int_0^{\infty} (x) dx \quad (2)$$

بنابر این مساحت زیر  $(x)$  در برابر  $X$  معادل متوسط مجموع مقادیر  $X$  می‌باشد که برای تمام زلزله‌ها ی محتمل در طول یک سال بدست می‌آید. در مسئله‌ی ما  $X$  همان هزینه‌ی آسیب (به عنوان به متغیر تصمیم‌گیری) می‌باشد، در نتیجه مساحت زیر منحنی  $(dv)$  در برابر  $dv$  بیان‌کننده‌ی متوسط تجمعی هزینه‌ی آسیب سالانه برای تمام رخدادهای زلزله در یک سال است (Basim and Estekanchi (2014).



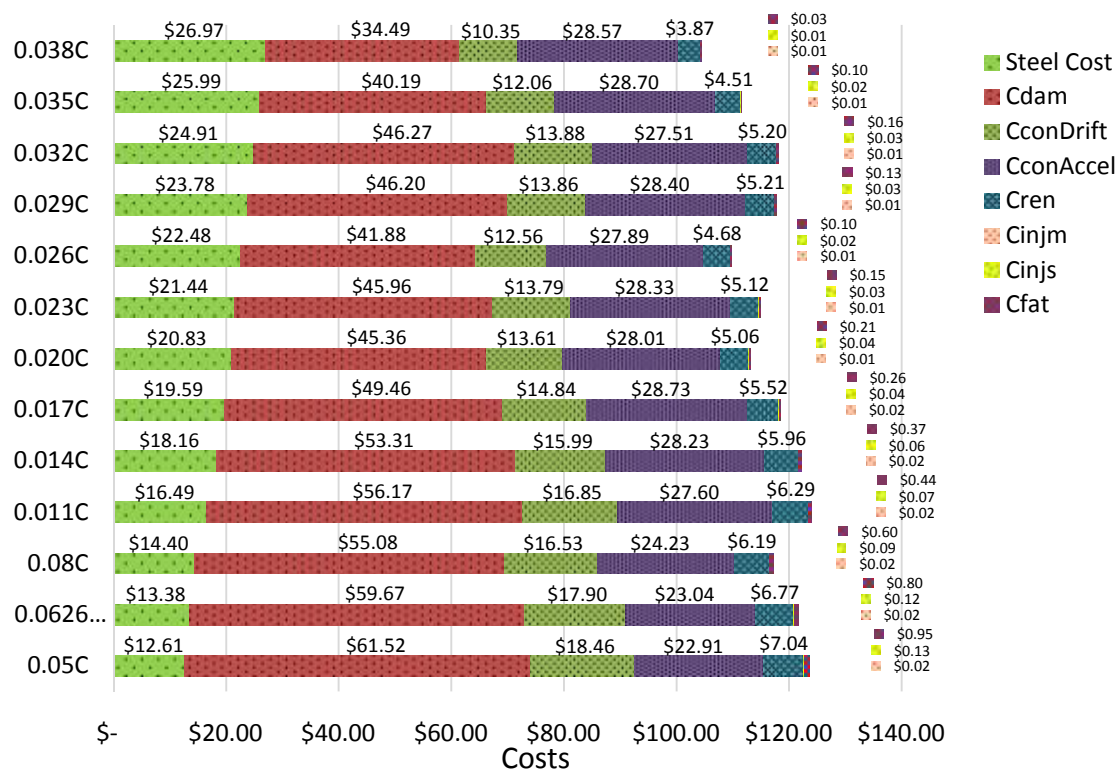
شکل ۳: نمونه‌ای از منحنی هزینه‌ی خرابی (مساحت زیر منحنی هزینه‌ی محتمل خرابی سالیانه می‌باشد).

14. Intensity measure
15. Engineering demand parameter
16. Decision variable
17. Conditional Complementary Cumulative Distribution Function (CCDF)



جهت محاسبه‌ی هزینه‌ها و همچنین محاسبه‌ی احتمال‌های رخداد هر یک از هزینه‌ها در سطح عملکرد مربوطه نیاز به جدولی است که مقادیر مورد نیاز را فراهم آورند. با استفاده از روابط پیشین و همچنین درون‌یابی میان جدول زیر هزینه‌ی دوران بهره‌برداری برای هر یک از قاب‌ها محاسبه شد.

بنابراین گفته شد اجزای هزینه‌ی محاسبه خواهند شد و پس از محاسبه‌ی هزینه‌ی هر یک از اجزای هزینه‌ی ای برای هر یک از قاب‌های مورد بررسی و با داشتن مقدار فولاد مصرف شده برای هر متر مربع، نمودار اجزاء هزینه‌ی قاب‌های بررسی شده مطابق شکل ۴ تهیه خواهند شد.



شکل ۴: نمودار مقادیر قیمت هر یک از اجزای هزینه‌ی آسیب لرزه‌ای و قیمت کل فولاد مصرف شده (با فرض قیمت ۰.۵ دلار برای هر کیلوگرم فولاد). مقادیر داده شده به ازای هر متر مربع بنا می‌باشند.

همانطور که در شکل ۴ قابل مشاهده است با افزایش ضریب برش پایه مقدار فولاد و در نتیجه هزینه‌ی فولاد مصرف شده افزایش یافته و با افزایش مقاومت سازه جمع هزینه‌های دوران بهره‌برداری کاهش یافته است. در نتیجه‌ی تأثیر همزمان این دو تغییر (افزایش هزینه‌ی فولاد مصرفی و کاهش هزینه‌های دوران بهره‌برداری)، مقدار هزینه‌ی یکل<sup>۱۸</sup> کاهش (در مقادیر هزینه‌ی پایه‌ی فرض شده) یافته است. بنابر این در این شکل بهینه‌ترین قاب از لحاظ کمینه‌ی هزینه‌ی کل، قاب دارای بیشترین برش پایه می‌باشد.

### بررسی حساسیت نسبت به قیمت فولاد و قیمت محتویات حساسی به شتاب CconAccel

می‌دانیم که هزینه‌ی دوران بهره‌برداری از حاصل جمع هزینه‌ی آسیب لرزه‌ای<sup>۱۹</sup> با هزینه‌ی ساخت سازه‌هاولیه<sup>۲۰</sup> (تمام هزینه‌ها ی بیان شده بر واحد مترمربع می‌باشند لذا دیگر از بیان عبارت "متر مربع" صرف نظر می‌گردد). بدست می‌آید. هزینه‌ی اولیه ساخت سازه خود از دو هزینه تشکیل شده، هزینه‌ی ساخت جزء غیر سازه‌ایو هزینه‌ی ساخت اجزاء لرزه‌بر. جزء غیر سازه‌ای تمام اجزای سازه‌ی ساخته شده به جز قاب خمشی فولادی می‌باشد، لذا جزء لرزه‌بر (جزء سازه‌ای) همان قاب خمشی در نظر گرفته می‌شود.

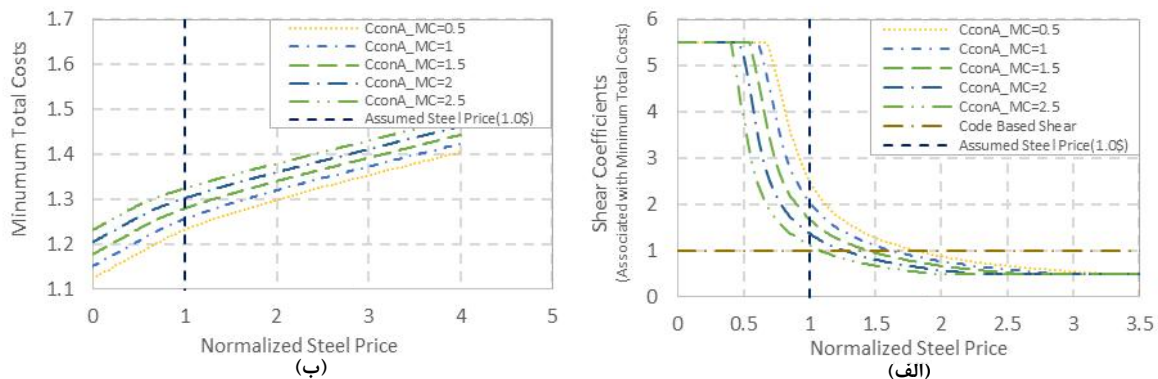
۱۸. در محاسبه‌ی هزینه‌ی کل، هزینه‌ی ساخت هر متر مربع جزء غیر سازه‌ای (Nonstructural Unit Costs) یا به اختصار NSUT که معادل ۵۵۰ دلار فرض شده باید به مقادیر نشان داده شده در نمودار، اضافه شود. ثابت بودن این عدد در تمام قاب‌ها موجب می‌شود اضافه نمودن آن تغییری در نقطه‌ی بهینه ایجاد نکند.

19. Seismic Damage Cost  
20. Initial Cost





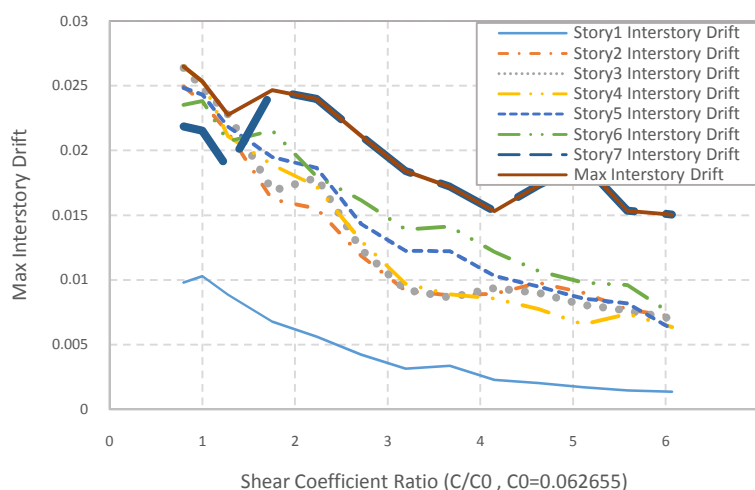
بنابر آنچه پیشتر گفته شد نسبت ضریب برش پایه ی بهینه متاثر از قیمت فولاد خواهد بود. علاوه بر قیمت فولاد مقادیر پایه ی فرض شده در محاسبات هزینه ی دوران بهره برداری نیز در نسبت ضریب برش پایه ی بهینه موثر می باشند، تغییر این مقادیر موجب تغییر در هزینه ی دوران بهره برداری و به طبع آن تغییر هزینه ی کل و در نتیجه تغییر ضریب برش پایه ی بهینه ی خواهند شد. جهت بررسی نحوه ی تاثیر قیمت ها بر نسبت ضریب برش پایه ی بهینه ابتدا تمامی مقادیر هزینه ها با استفاده از خط روندی (Trend Line) مناسب هموار سازی شدند. در گام بعد مقدار هزینه ی فولاد با تغییر تدریجی قیمت فولاد و مقدار هزینه ی دوران بهره برداری با ضرب ضرایبی ثابت در قیمت پایه ی CconAccel تغییر یافتند. سپس برای هر مقدار از مقادیر قیمت فولاد و قیمت پایه ی CconAccel، هزینه ی کل سازه ها محاسبه و نسبت ضریب برش پایه ی نقطه ی بهینه نسبت به ضریب برش پایه ی منطبق بر آیین نامه<sup>۲۲</sup> تعیین گشت. در نتیجه با داشتن نسبت ضریب برش پایه ی بهینه و هزینه ی کل متناظر با آن، نمودار های مربوطه به ترتیب به صورت جداگانه در شکل ۵ (الف) و (ب) رسم شدند.



شکل ۵: (الف) نمودار نسبت برش متناظر با کمترین هزینه ی کل (ب) نمودار کمینه ی هزینه ی کل نرمال شده (هزینه ها با فرض هزینه ی ساخت یک متر مربع بنای غیر سازه ای  $NSUC=550$  نرمال شده اند)<sup>۲۳</sup>

## بررسی دررفت میان طبقه ای در تحلیل های دینامیکی

در شیوه ی محاسبه ی هزینه ی دوران بهره برداری از بیشینه ی دررفت میان طبقه ای سازه ها استفاده می گردد. بیشینه ی دررفت دینامیکی میان طبقه ای هر طبقه از هر قاب های بررسی شده، در شکل ۶ رسم شده است. این نمودار بیشینه ی دررفت های مربوطه را در زمان هدف ۱۰ ثانیه نمایش می دهد.



شکل ۶: بیشینه ی دررفت بین طبقه ای مجموعه قاب های  $7s3b4m$  در تحلیل زمان دوام  $T_{Target}=10$  Sec

۲۱. مقدار ضرایب ثابت ضرب شده در قیمت پایه ی CconAccel Multiplied Cost Coefficients را CconA\_MC یا به اختصار CconA\_MC نامیدیم.

۲۲. در این بررسی سازه ی  $0.062655C$  سازه ای است که با ضریب برش پایه ی منطبق بر آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش ۴ تحلیل و طراحی شده است.

۲۳. در حال حاضر با فرض ۱۲۰۰ تومان دستمزد ساخت برای هر کیلوگرم فولاد و ۲۰۰۰ تومان قیمت خرید هر کیلوگرم فولاد و همچنین با فرض قیمت ۳۳۰۰ تومان به ازای هر دلار نتیجه می گیریم که قیمت تمام شده ی هر کیلوگرم فولاد در ایران تقریباً ۱ دلار خواهد بود.



همانطور که نمایان است در عموم قاب‌های این مجموعه دررفت طبقه‌ی بام بیشترین مقدار را در میان سایر طبقات به خود اختصاص داده است. بنابراین دررفت این طبقه عموماً در محاسبات محدود کننده بوده و منجر می‌گردد هزینه‌ی دوران بهره برداری عموماً بر اساس دررفت این طبقه محاسبه گردد. لذا به نظر می‌آید افزایش مقاومت طبقه‌ی بام می‌تواند نقشی قابل توجه در کاهش هزینه‌های دوران بهره برداری قاب‌ها ایفا نماید.

## نتیجه گیری

- ۱- افزایش ضریب برش پایه (در مقادیر هزینه ایفرض شده و بدون اعمال ضرایب افزایشی) عموماً باعث کاهش مقدار کل هزینه‌های دوران بهره برداری می‌گردد، اما نمیتوان گفت که هزینه‌ها الزاماً کاهش می‌یابند، علت این امر را باید ناشی از دو عامل دانست، یکیماهیت دینامیکی محاسبه‌ی هزینه‌های دوران بهره برداری که با تغییر در ضریب برش پایه نمیتوان انتظار بهبود قطعی در رفتار دینامیکی و به طبع آن کاهش هزینه‌ی سازه را داشت؛ و دیگری جزء هزینه‌ای محتویات ناشی از شتاب (Ccon-Accel) است که با افزایش مقاومت سازه (افزایش ضریب برش پایه) مقدارش افزایش می‌یابد و در جهتی خلاف جهت مورد انتظار موجب افزایش هزینه‌ها می‌گردد. لازم به ذکر است که با توجه به تاثیر کم این افزایش در برابر سایر کاهش‌ها عموماً مشاهده شد هزینه‌های دوران بهره برداری با افزایش ضریب برش پایه‌ی طراحی کاهش می‌یابند.
- ۲- مشاهده شد افزایش قیمت پایه‌ی جزء هزینه‌ای محتویات ناشی از شتاب، بر خلاف افزایش قیمت پایه‌ی سایر اجزای هزینه‌ای باعث کاهش ضریب برش پایه بیپهنه (در مقادیر ثابت قیمت فولاد) گردید، علت این امر آن است که این جزء هزینه‌ای (بر خلاف سایر اجزای هزینه‌ای) با افزایش ضریب برش پایه افزایش می‌یابد. لذا کمینه‌ی هزینه‌ی کل در ضرایب برش پایه‌ی کمتری رخ خواهند داد.
- ۳- بررسی انجام شده نشان می‌دهند که برای شرایط موجود در کشور (قیمت فولاد معادل ۱ دلار) سازه‌ی طراحی شده توسط ضریب برش پایه‌ی آیین نامه دارای هزینه‌ی کل بیشتری نسبت به بسیاری از سازه‌های طراحی شده بر اساس ضرایب برش پایه‌های بیشتر می‌باشد، در نتیجه سازه‌ی محاسبه شده بر اساس آیین نامه بهینه‌ترین سازه‌ی ممکن نمی‌باشد.
- ۴- با توجه به این که سازه‌ی طراحی شده بر اساس آیین نامه از دیدگاه هزینه‌ی کل، بهینه‌ترین سازه‌ی ممکن نمی‌باشد، لذا افزایش ضریب برش پایه‌ی طراحی می‌تواند به عنوان یک راهکار جهت نزدیک شدن به سازه‌ی بهینه، مورد استفاده قرار گیرد و موجب کاهش هزینه‌ی کل گردد.
- ۵- با توجه به کنترل کننده بودن دررفت طبقه‌ی بام در بسیاری از سازه‌ها، استنباط می‌شود که الگوی بارگذاری استاتیکی آیین نامه در تطابق با رویکرد کمینه‌سازی هزینه‌ی کل نمی‌باشد و تغییر الگوی بارگذاری استاتیکی می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌ی دوران بهره برداری و به طبع آن کاهش هزینه‌ی کل گردد.
- ۶- روش زمان دوام به واسطه‌ی امکان تخمین عملکرد سازه در طیف پیوسته‌ای از دوره‌های بازگشت زلزله با هزینه‌ی محاسباتی کم (حدود یک دهه) موجب تسهیل روند انجام این پروژه گردید. این در حالی است که با توجه به حجم محاسبات مورد نیاز برای انجام این پژوهش، در صورت استفاده از سایر روش‌ها، هزینه و زمان لازم جهت انجام محاسبات بسیار افزایش می‌یافت.

## پیشنهادات

- ۱- پیشنهاد می‌شود پژوهش انجام شده برای قاب‌هایی با تعداد طبقات متفاوت و همچنین برای مناطقی با لرزه خیزی پایین تر مانند مناطقی با لرزه خیزی کم، متوسط و زیاد نیز صورت پذیرد، تا بتوان درکی صحیح از مقدار هزینه‌ی دوران بهره برداری سازه‌ها در تمام مناطق لرزه‌ای ایجاد نمود.
- ۲- پیشنهاد می‌گردد حساسیت سنجی انجام شده که در این پژوهش تنها برای هزینه‌ی محتویات ناشی از شتاب صورت پذیرفت، برای سایر هزینه‌ها نیز صورت پذیرد و تاثیر آن‌ها در تغییر ضریب برش پایه‌ی بهینه و هزینه‌های مرتبط با آن مشاهده گردد.
- ۳- انجام پژوهشی مشابه برای قاب‌های سه بعدی و نامنظم می‌تواند در راستای جامعیت بخشیدن به نتایج حاصله بسیار مفید و موثر باشد.

## مراجع

- Ang J-C and Lee AH-S (2001) Cost optimal design of RC buildings, *Journal of Reliability Engineering and System Safety*, pp. 233-238.
- Arditi and Messiha (1996) Life-cycle costing in municipal construction projects, *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 1, pp. 5-14.
- Asiedu Y and Gu (1998) Product life cycle cost analysis: state of the art review, *International Journal of Production Research*, pp. 883-908.



ATC-13 (1985) Earthquake damage evaluation data for California, Applied Technology Council.

Basim MC and Estekanchi HE (2014) Application of endurance time method in value based seismic design of structures, *Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Istanbul, Turkey.

Elenas A Meskouris K (2001) Correlation study between seismic acceleration parameters and damage indices of structures, *Journal of Engineering Structures*. 23:698-704.

Liu M, Wenb YK and Burns SA (2004) Life cycle cost oriented seismic design optimization of steel moment frame structures with risk-taking preference, *Journal of Reliability Engineering and System Safety*, pp. 1407-1421.

Mirzaee A and Estekanchi HE (2013) Performance-Based Seismic Retrofitting of Steel Frames by Endurance Time Method. *Earthquake Spectra*.online 2013. <http://dx.doi.org/10.1193/081312EQS262M>

Pei JW and Lindt V (2009) Methodology for earthquake-induced loss estimation: an application to woodframe buildings, *Journal of Structural Safety*, Vol. 1, pp. 31-42.

Riahi HT and Estekanchi HE (2010) Seismic assessment of steel frames with the endurance time method, *Journal of Construction and Steel Research*.

Vamvatsikos D and Cornell (2009) Incremental dynamic analysis, *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2002, Vol. 3, pp. 491-514.

Wen Y and Kang Y (2001) Minimum building life-cycle cost design criteria. I: Methodology, *Journal of Structural Engineering*, 127(3): 330-337

