

## بررسی شاخص خسارت در ساختمان‌های بتنی مسلح دارای دیوار برشی با شکل‌پذیری متوسط

سامان یغمائی سابق

استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر

مصطفی شکری

مربی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر

Mostafa\_Shokri\_116@yahoo.com

حامد ترابی

مربی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر

### چکیده

با توجه به لرزه‌خیزی کشور ایران و آسیب‌های وارده بر ساختمان‌های مختلف در زلزله‌های گذشته لزوم توجه به آسیب‌پذیری ساختمان‌ها با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در مهندسی زلزله امری حیاتی است. نظریه استفاده روز افزون از ساختمان‌های بتن‌آرمه در ایران، در این مقاله سه قاب ۶ و ۱۲ و ۱۸ طبقه با سیستم قاب خمشی بتنی با دیوار برشی انتخاب و پس از طراحی براساس مقررات ملی مبحث نهم و استاندارد ۲۸۰۰ ایران، توسط نرم‌افزار IDARC با قابلیت انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی مدل‌سازی شده است. سپس با انتخاب شتاب نگاشت‌های سازگار با شرایط تکنونیک ایران سعی شده است تا خسارت‌پذیری این سازه‌ها با انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی مورد بررسی قرار گیرد.

لازم بذکر است در این مقاله شاخص خسارت انگ- پارک بعنوان یک شاخص معتبر در بررسی خسارت‌پذیری سیستم‌های بتن‌آرمه مورد استفاده قرار گرفته است.

**کلمات کلیدی:** خسارت‌پذیری، ساختمان‌های بتن‌آرمه با دیوار برشی، شاخص خسارت انگ- پارک،

### ۱- مقدمه

برش پایه را تحمل کرده موجب افزایش چشمگیر سختی ساختمان و کاهش قابل ملاحظه خسارت به عناصر غیر سازه ای گردند. همچنین دیوارهای برشی قابلیت تحمل بارهای ثقلی ساختمان پس از پذیرش ترک‌های زیاد را دارا می‌باشند که ستون‌ها فاقد چنین خاصیتی هستند و در کل چنین عواملی دیوارهای برشی را قابل اطمینان‌تر از قاب‌های خمشی ساخته است [۱].

احداث دیوار برشی در ساختمان‌های بلند بعنوان یک سیستم کارا موجب می‌شود که مقاومت و سختی ساختمان بطور قابل توجهی افزایش یافته، میزان تغییر مکان جانبی سازه در برابر بارهای لرزه‌ای کاهش یابد. امروزه بخوبی می‌توان از دیوارهای برشی در کنار قاب‌های خمشی به نحوی استفاده کرد که رفتار سیستم سازه‌ای، نرم، مقاوم و شکل‌پذیر باشد. در غالب موارد، دیوارهای برشی قادرند بیشترین سهم نیروی

## ۲- مدلسازی اعضای سازه‌ای

مدلسازی المان‌های سازه‌ای در این تحقیق با استفاده از برنامه کامپیوتری IDARC انجام می‌پذیرد که بر اساس تئوری رفتار غیرخطی و دینامیکی اعضای بتنی مسلح و استفاده از تکنیک‌های مدل‌سازی سازه در دانشگاه ایالتی بوفالو نیویورک تهیه شده است. این برنامه به عنوان ابزاری جهت تحلیل استاتیکی و دینامیکی سازه‌های بتنی مسلح تحت بارهای لرزه‌ای کاربرد دارد. همچنین از قابلیت تحلیل شاخص خسارت در مقیاس محلی و کلی برخوردار بوده و در این زمینه یک شاخص خسارت کالیبره شده ارائه می‌دهد که یکی توانایی در ارزیابی کمی ساختمان‌های بتنی مسلح بشمار می‌آید. در برنامه IDARC مدل‌سازی ساختمان‌های بتنی مسلح دو بعدی بوده و تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی انجام می‌پذیرد [۲].

## ۲-۱- المان‌های تیر

اعضای تیر بصورت یک فنر خمشی ساده به نحوی مدل‌سازی می‌شوند که اثر تغییر شکل‌های برشی در آن به کمک یک فنر معادل درگیر بوده و فرض می‌شود که این فنر به صورت سری با فنر خمشی عمل می‌کند.

## ۲-۲- المان‌های ستون

المان‌های ستون نیز مشابه المان‌های تیر به صورت فنرهای خمشی مدل می‌شوند و اثر تغییر شکل‌های برشی به وسیله فنر معادل سری شده با آنها در نظر گرفته می‌شود. تغییر شکل‌های محوری ستون‌ها در محاسبات منظور می‌شود اما از اندرکنش آن با لنگر خمشی صرف‌نظر می‌شود بصورت یک فنر یک بعدی دیگر بصورت غیردرگیر عمل می‌کند.

## ۲-۳- دیوار برشی

مدل‌سازی دیوار برشی به کمک یک فنر برشی و یک فنر خمشی که بصورت سری به هم متصل هستند معرفی می‌شود. عوامل مؤثر در مقاومت و تغییر شکل اعضای دیوار برشی شامل رفتار خمشی و رفتار برشی آن می‌باشد. مشخصه‌های تغییر شکل خمشی با استفاده از مدل رشته‌ای در نظر گرفته شده و مدل رفتار برشی غیرارتجاعی در دیوارهای برشی نیز براساس تحلیل بر روی تعداد زیادی از نتایج آزمایشگاهی بدست آمده است. یکی از المان‌هایی که بر اعضای دیوار برشی متصل می‌باشد ستون لبه می‌باشد. رفتار این عضو به تغییر شکل دیوار برشی بستگی دارد و بصورت جداگانه و با استفاده از یک فنر محوری یک بعدی مدل‌سازی می‌شود [۲].

مطالعات آماری از آسیب‌های ایجاد شده در زلزله‌های گذشته نشان می‌دهد استفاده از دیوارهای برشی در اغلب موارد باعث کاهش میزان خسارت و در نتیجه کاهش میزان تلفات شده است. در روند شناخت نقاط ضعف ساختمان‌ها بررسی چگونگی رفتار آنها در برابر بارهای وارده یکی از عوامل مؤثر می‌باشد، به طوری که اگر انرژی ورودی به سازه نتواند به نحو مطلوبی مستهلک شود کل ساختمان یا قسمتی از آن آسیب خواهد دید. با توجه به اینکه تعداد قابل ملاحظه‌ای از ساختمان‌ها وجود دارند که در زمان ساخت و اجرا، ضوابط طراح لرزه‌ای در آنها رعایت نشده است، به منظور حصول اطمینان از عملکرد مناسب سازه، باید خسارت‌پذیری لرزه‌ای آنها مورد بررسی قرار گیرد. یکی از مفاهیم مهم در زمینه مطالعات آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ها، شاخص خرابی می‌باشد.

سابقه ارزیابی آسیب‌پذیری به سال‌های اول دهه هشتاد بر می‌گردد. زمانی که یک مدل غیرخطی برای بررسی رفتار ساختمان‌ها پیشنهاد شد و تحقیقات در این زمینه توسعه یافت تا اینکه ویتمن در سال ۱۹۷۲ با ارائه روشی برای برآورد خسارت لرزه‌ای ساختمان‌ها اولین قدم را در این راه برداشت. در این روش شدت حرکات زمین را با مقیاس مرکالی اصلاح شده و خسارت زمین‌لرزه با نسبت هزینه تعمیرات به هزینه ساخت مجدد ساختمان، بیان می‌گردید [۲].

ویتمن در سالهای ۱۹۷۳ و ۱۹۷۴ به تحقیقات خود ادامه داد. در سال ۱۹۷۵ روم و همکارانش نیز روش ترسیمی طیفی برای برآورد پتانسیل خسارت ساختمان‌ها یا گروهی از ساختمان‌ها را ارائه نمودند. کار مشابهی نیز توسط کالور و همکارانش در سال ۱۹۸۰ صورت گرفت [۳]. تا اینکه در سال ۱۹۸۴ پارک و همکارانش با ارائه یک شاخص خسارت، کمبودهای تحقیقات گذشته را پوشش داده و ارزیابی خسارت‌پذیری را دستخوش تحولی بزرگ کردند. آنان با در نظر گرفتن مدل‌های جامع‌تری از رفتار غیرخطی، اعضای سازه‌ای را در خسارت اعمال شده به سازه دخالت داده و عملاً جایگاه آسیب‌پذیری کمی را تحکیم بخشیدند. امروزه بررسی آسیب‌پذیری ساختمان‌های بتن‌آرمه با توجه به اهمیت موضوع مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. الناس و مسکوریس در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ ارتباط بین شاخص خسارت در ساختمان‌ها با سیستم قاب خمشی و مشخصه‌های زلزله‌های انتخابی را مورد بررسی قرار دادند [۴و۵]. بران و همکاران [۶] به بررسی رفتار لرزه‌ای قاب‌های بتن‌آرمه با دیوار برشی پرداخته و نتایج خود را در محدوده مشخصه‌ای با نتایج کارهای آزمایشگاهی مقایسه کرده‌اند. از جمله کارهای دیگر که جهت ارزیابی لرزه‌ای این سیستم‌ها انجام شده است می‌توان به کار امیری و همکاران در سال ۲۰۰۸ اشاره نمود [۷].

در این مقاله سیستم قاب خمشی بتنی با دیوار برشی انتخاب و مورد تجزیه و تحلیل لرزه‌ای قرار گرفته سپس با انتخاب شتاب‌نگاشت‌های سازگار با شرایط تکنیک ایران سعی شده است تا خسارت‌پذیری این سازه‌ها با انجام تحلیل‌های دینامیکی غیر خطی مورد بررسی قرار گیرد.

متوسط تحلیل و طراحی شده اند. این نمونه‌ها که در پلان ثابت و در ارتفاع متغیر هستند، توسط نرم افزار ETABS 2000 و به صورت شش، دوازده و هجده طبقه مدل‌سازی شده و بصورت استاتیکی خطی تحلیل شده‌اند. با توجه به نوع کاربری، ساختمان با اهمیت زیاد ( $I=1.2$ ) در منطقه ای با خطر لرزه‌خیزی خیلی زیاد ( $A=0.35$ ) با خاک نوع ۲ واقع شده و ارتفاع در کلیه طبقات ۳٫۲ متر بوده و سیستم سقف از نوع تیرچه و بلوک فرض شده است. همانطوریکه در قسمت قبل اشاره شد، مدل‌سازی در نرم‌افزار IDARC [۲] بصورت دو بعدی می‌باشد لذا قاب کناری در جهت X برای تحلیل انتخاب شده است. طول دهانه‌های کناری ۵ متر و دهانه‌های وسطی ۶٫۲۵ متر و دهانه‌ای که دیوار برشی در آن قرار گرفته است به ۳ متر می‌باشد (شکل ۱). بارگذاری ثقلی سازه‌ها مطابق با مبحث ششم مقررات ملی ساختمان بوده و در طراحی مقاطع مقاومت ۲۸ روز نمونه‌ی استوانه‌ای بتن  $f_c=21\text{Mpa}$  و مقاومت آرماتور مصرفی  $F_y=400\text{Mpa}$  فرض شده است.

در نرم‌افزار IDARC [۲] مدل‌سازی دیوار برشی به یکی از صورت‌های زیر انجام می‌پذیرد:

الف - مدل‌سازی دیوار برشی به همراه ستون‌های انتهایی بصورت جدا از هم، بدین معنی که دیوار و ستون بصورت جدا و منفصل از هم بتن‌ریزی شده و هیچگونه درگیری با هم ندارند.

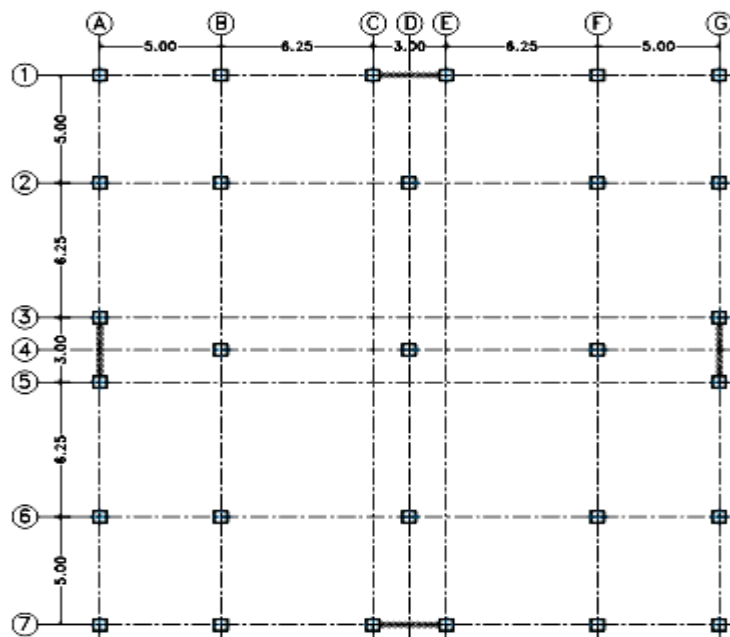
ب - مدل‌سازی دیوار برشی به همراه ستون لبه بدین معنی که دیوار و ستون بصورت متصل و با هم بتن‌ریزی می‌شوند و کاملاً با هم درگیر هستند.

ج - در تعریف مشخصات، ستون لبه به همراه دیوار و نیز جدا از دیوار تعریف شده باشد.

### ۳- ساختمان‌های مورد مطالعه

#### ۳-۱- مشخصات ساختمان‌های مورد مطالعه

در این تحقیق، ۳ نمونه ساختمان بتنی دارای دیوار برشی که دارای تعداد طبقات متفاوت می‌باشند، بر اساس ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ [۸] و مبحث نهم [۹] مقررات ملی ساختمان برای قاب با شکل‌پذیری



شکل ۱- پلان عمومی سازه‌های مورد مطالعه

۳-۲- جزئیات آرماتور گذاری و ابعاد مقاطع

ابعاد مقاطع و آرماتورهای طولی مورد نیاز برای المان‌های سازه‌ای بعنوان نمونه از شکل ۲ تا ۴ برای ساختمان‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.

	A	B	C	D	E	F					
STORY6	5.8 3.8	1.9 4.9	5.7 3.7	8.1 4.9	4.4 6.3	14.6 6.8	4.4 6.3	8.1 4.9	5.7 3.7	1.9 4.9	5.8 3.8
STORY5	8.8 4.9	2.8 4.9	7.0 4.5	9.6 4.9	4.7 6.2	15.6 7.3	4.7 6.2	9.6 4.9	7.0 4.5	2.8 4.9	8.8 4.9
STORY4	8.8 4.9	2.8 4.9	7.4 4.8	10.1 4.9	4.8 6.2	15.9 7.4	4.8 6.2	10.1 4.9	7.4 4.8	2.8 4.9	8.8 4.9
STORY3	8.6 4.9	2.7 4.9	7.7 4.9	10.3 4.9	4.7 6.2	15.6 7.3	4.7 6.2	10.3 4.9	7.7 4.9	2.7 4.9	8.6 4.9
STORY2	7.7 4.9	2.4 4.9	7.5 4.8	10.0 4.9	4.3 6.2	14.4 6.7	4.3 6.2	10.0 4.9	7.5 4.8	2.4 4.9	7.7 4.9
STORY1	5.6 3.7	2.1 4.9	6.6 4.3	8.6 4.9	3.6 6.2	11.7 5.5	3.6 6.2	8.6 4.9	6.6 4.3	2.1 4.9	5.6 3.7
BASE											

شکل ۲- ابعاد مقاطع قاب ۶ طبقه

	A	B	C	D	E	F	
STORY6	C40-40	C40-40	C40-40	C40-40	C40-40	C40-40	C40-40
STORY5	B45-35	B45-35	B45-35	B45-35	B45-35	B45-35	B45-35
STORY4	C40-40	C40-40	C40-40	C40-40	C40-40	C40-40	C40-40
STORY3	B45-35	B45-35	B45-35	B45-35	B45-35	B45-35	B45-35
STORY2	C40-40	C40-40	C40-40	C40-40	C40-40	C40-40	C40-40
STORY1	B45-35	B45-35	B45-35	B45-35	B45-35	B45-35	B45-35
BASE	C40-40	C40-40	C40-40	C40-40	C40-40	C40-40	C40-40

شکل ۳- جزئیات آرماتور گذاری ساختمان ۶ طبقه



جدول ۱- رکوردهای مورد استفاده در این مقاله

شتاب نگاشت	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)	ARIAS M/S
سیرج	۰.۷۱۳	۶۸.۶۲۳	۳۴۹.۵۷۷	۲.۸۶۱
کاریک	۰.۶۲۷	۱۶.۲۰۰	۴۸.۰۹۵	۲.۱۴۴
چالان چولان	۰.۴۴۰	۴۱.۸۸۶	۱۷۴.۹۸۶	۱.۵۴۷
حسن کیف	۰.۹۳۱	۷۳.۷۱۲	۱۲۲۰.۷۵۲	۱.۵۲۵
بم	۰.۸۱۵	۱۰۳.۵۴۷	۱۴۰۵.۶۷۸	۸.۳۴۸
اوج	۰.۵۰۸	۳۶.۲۰۹	۳۴۹.۹۳۳	۱.۹۳۶
پل	۰.۳	۹.۷۸۸	۵۹.۴۵۷	۰.۱۷۷

DI شاخص خرابی و  $E_i$  انرژی جذب شده به وسیله عضو طبقه  $i$  می باشد این روابط براساس خسارات مشاهده شده در ۹ ساختمان بتنی مسلح شاخص خسارت کالیبره شده است [۱۰].  
جدول (۲) مقادیر شاخص خسارت کالیبره شده را نشان می دهد که اساس ارزیابی های آسیب پذیری را تشکیل می دهد.

**۶- محاسبه پرپود طبیعی ارتعاشی سازه های مورد مطالعه**

در جدول (۳) نتایج مربوط به پرپودهای محاسباتی با استفاده از نرم افزارهای ETABS V9.5 ، IDARC V6.1 ، و نیز پرپود تجربی محاسبه شده بر اساس استاندارد [۸] ارائه شده است.

جدول ۲- کالیبراسیون شاخص خسارت در کل ساختمان [۱۱]

وضعیت ساختمان	شاخص خسارت	ظاهر ساختمان	میزان خسارت
تخریب ساختمان	۱	فروریختن کلی یا بخشی از سازه	فروریختن
غیر قابل مرمت	۰.۴ تا ۱	خرد شدگی شدید بتن و کماتش آرماتورها در ستون	شدید
قابل مرمت	کوچکتر از ۰.۴	ایجاد ترک های بزرگ و خورد شدن بتن در اعضای ضعیف	متوسط
قابل سکونت	۰.۲ تا ۰.۴	ایجاد ترک های کوچک و خورد شدگی جزئی بتن در ستون ها	ضعیف
قابل سکونت	کمتر از ۰.۲	ایجاد ترک های پراکنده	ناچیز

با مقایسه نتایج ارائه شده در جدول مذکور میتوان به صحت مدل سازی های انجام شده در دو نرم افزار ETABS و IDARC پی برد. جهت مقایسه بهتر نتایج، پرپود طبیعی ارتعاشی سیستم های مورد مطالعه براساس روابط تجربی استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم [۸] به جدول ۳ اضافه شده است.

جدول ۳- مقایسه پرپودهای تجربی و محاسباتی

تعداد طبقات	پرپود محاسباتی ETABS	پرپود محاسباتی IDARC	۲۸۰۰ پرپود تجربی [۸]
شش طبقه	۰.۶۵	۰.۶۵	۰.۴۶
دوازده طبقه	۱.۴۳	۱.۴۱	۰.۷۷
هجده طبقه	۱.۹۳	۱.۹۵	۱.۰۴۵

جهت ارزیابی بهتر شاخص خسارت در سازه های مورد مطالعه، براساس جدول (۱) شتاب نگاشت ها طوری انتخاب شده اند که مقدار شتاب آنها (PGA) بزرگتر از 0.3g باشد.

**۵- مطالعه خسارت سازه های با استفاده از شاخص پارک-انگ (Park & Ang)**

برای تعیین خسارت، رفتار بتن مسلح به وسیله مدل اصلاح شده سه پارامتری پارک و انگ مدل سازی شده که در آن می توان اثرات کاهش سختی، کاهش مقاومت و لغزش را در نظر گرفت. شاخص خرابی پارک - انگ که در برنامه IDARC مورد استفاده قرار گرفته، به صورت رابطه (۱) نشان داده می شود [۳].

$$DI_{P\&A} = \frac{\delta_m}{\delta_u} + \frac{\beta}{\delta_u P_y} \int dE_h \quad (1)$$

در این رابطه  $\delta_m$  بیشینه تغییر شکل در عضو،  $\delta_u$  تغییر شکل نهایی عضو،  $P_y$  مقاومت تسلیم عضو،  $\int dE_h$  انرژی جذب شده توسط عضو در حین تحلیل تاریخچه زمانی پاسخ و  $\beta$  پارامتر ثابت مدل است. برقراری رابطه این مدل خسارت به یک عضو سازه به تغییر مکان های نهایی آن بستگی دارد.  
شاخص خسارت طبقه و کل سازه، با جمع شاخص های خسارت جزئی (DI) طبق روابط زیر محاسبه می شوند:

$$DI_{(Story)} = \sum (\lambda_i)_{(member)} \cdot (DI_i)_{(member)}; (\lambda_i)_{(member)} = \left( \frac{E_i}{\sum E_i} \right)_{(member)} \quad (2)$$

$$DI_{(total)} = \sum (\lambda_i)_{(story)} \cdot (DI_i)_{(story)}; (\lambda_i)_{(story)} = \left( \frac{E_i}{\sum E_i} \right)_{(story)} \quad (3)$$

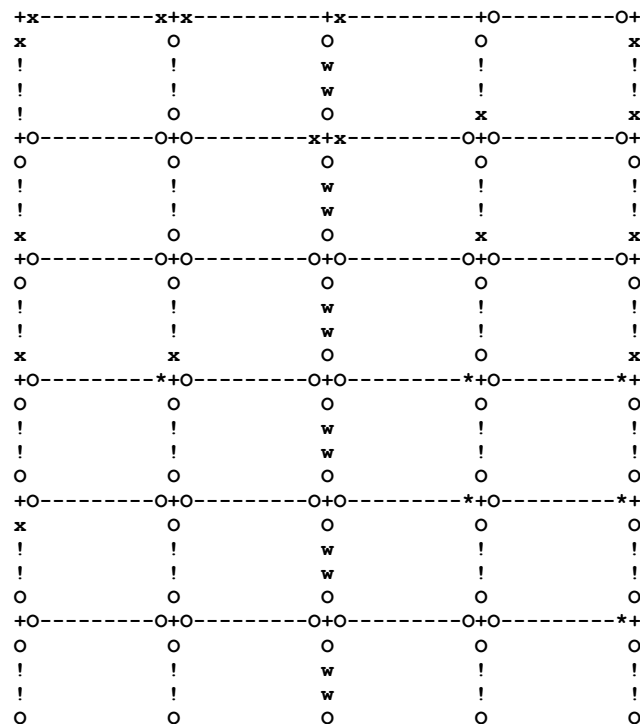
نشان داده شده و مقادیر آنها به ترتیب ۰/۰۵، ۰/۰۶ و ۰/۰۷ در نظر گرفته شده است.

#### ۸- بررسی شاخص خسارت و نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در المان‌های سازه‌ای

در روند بررسی موضوع شاخص خسارت کلی سازه و نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک (در شکل ۵ توزیع مفصل پلاستیک در ساختمان ۶ طبقه به صورت شماتیک نشان داده شده است) مدل‌های سازه‌ای تحت ۷ شتاب نگاشت متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته است که نتایج برحسب درصد تشکیل مفاصل پلاستیک در المان‌های تیر، ستون و دیوار در مدل‌های سازه‌ای مورد استفاده در جدول‌های شماره ۴ تا ۶ آمده است.

#### ۷- قوانین هیستریزیس مورد استفاده

با توجه به آزمایش‌های فراوانی که روی رفتار بتن صورت گرفته است مدل‌های مختلفی برای رفتار غیرخطی بتن پیشنهاد شده است که از آن جمله می‌توان به مدل دو خطی، مدل بدون افت مقاومت، مدل کاهش سختی، مدل بر اساس کاهش انرژی، مدل سه خطی و... اشاره کرد. یکی از کامل‌ترین مدل‌ها برای مدل کردن رفتار هیستریزیس و غیرخطی بتن مدل سه خطی می‌باشد. در این مقاله برای معرفی مدل هیستریزیس اعضای تیر و ستون از مدل سه خطی که در برنامه IDARC حالت شدید بدان اطلاق می‌شود استفاده شده است. پارامتر کاهش مقاومت با  $H_c$ ، کاهش سختی با  $H_b$  و باریک‌شدگی با  $H_s$



#### NOTATION:

- |   |                               |
|---|-------------------------------|
| - = BEAM                                      | x = CRACKING (FOR CONCRETE)   |
| ! = COLUMN                                    | ! = INITIAL YIELD (FOR STEEL) |
| w = SHEAR WALL                                | o = PLASTIC HINGE DEVELOPED   |
| * = LOCAL FAUILURE (EXCEED CRITERIA)          | x = INITIAL SHEAR CRACK       |
| I = EDGE COLUMN FOR EDGE COLS: C: COMPRESSION | \$ = SHEAR FAILURE            |
| T: TENSION                                    |                               |
| O: TENSILE YIELD                              |                               |

شکل ۵- نحوه توزیع مفصل پلاستیک در ساختمان ۶ طبقه

جدول ۴- خسارت کلی و درصد تشکیل مفاصل پلاستیک در المان‌های سازه‌ای ساختمان ۶ طبقه

درصد تشکیل مفصل پلاستیک در دیوارها	درصد تشکیل مفصل پلاستیک در ستونها	درصد تشکیل مفصل پلاستیک در تیرها	خسارت کلی	شتاب نگاشت
۱۰۰	۵۶.۲۵	۷۷.۰۸	۰.۱۲۹	اوج
۸۳.۳۳	۵۶.۲۵	۶۲.۵	۰.۴۵	بم
۱۰۰	۶۰.۴۱	۸۵.۴۱	۰.۲۳۹	چالان
۹۱.۶۶	۵۲.۰۸	۸۵.۴۱	۰.۱۵۳	حسن کیف
۱۰۰	۲.۰۸	۱۴.۵۸	۰.۱۲۳	کاریک
۱۰۰	۸۷.۵	۸۷.۵	۰.۳۳۴	سیرج
۱۰۰	۰	۲.۰۸	۰.۱۰۴	پل

بر اساس نتایج حاصل بیشترین درصد تشکیل مفصل پلاستیک به ترتیب در دیوار، تیر و ستون دیده می‌شود که انتظارات ما در رعایت بحث ستون قوی و تیر ضعیف را تامین می‌نماید.

جدول ۶- خسارت کلی و درصد تشکیل مفاصل پلاستیک در المان‌های سازه‌ای ساختمان ۱۸ طبقه

درصد تشکیل مفصل پلاستیک در دیوارها	درصد تشکیل مفصل پلاستیک در ستونها	درصد تشکیل مفصل پلاستیک در تیرها	خسارت کلی	شتاب نگاشت
۵۸.۳۳	۰	۳۸.۸۸	۰.۰۷۵	اوج
۱۰۰	۴۰.۲۷	۸۹.۵۸	۰.۳۰۱	بم
۸۶.۱۱	۹.۰۲	۹۵.۸۳	۰.۱۳۸	چالان
۶۶.۶۶	۰	۵۹.۷۲	۰.۰۷۹	حسن کیف
۲.۷۷	۰	۷.۶۳	۰.۰۴۲	کاریک
۸۶.۱۱	۲۵	۹۲.۳۶	۰.۱۵۱	سیرج
۰	۰	۴.۱۶	۰.۰۳۶	پل

در سازه ۱۸ طبقه اندرکنش بهتر سیستم قاب دیوار در سازه‌های بلند مرتبه نمایان‌تر شده و دیده می‌شود که درصد تشکیل مفصل پلاستیک در بسیاری از المان‌های سازه‌ای به عدد صفر رسیده و خسارت کلی سازه کاهش یافته است.

#### ۹- بررسی جابجایی نسبی در طبقات

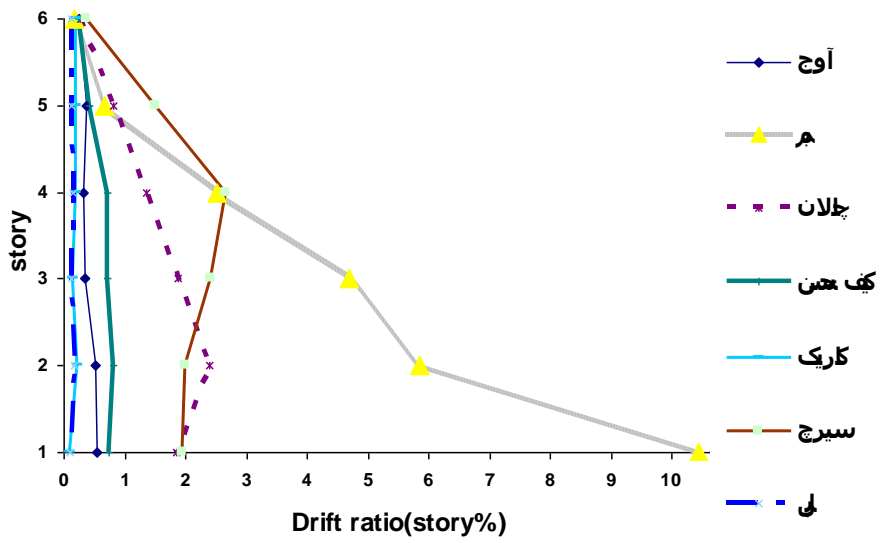
در این بخش به بررسی روابط موجود مابین جابجایی نسبی طبقات در مدل‌های مختلف سازه‌ای و شتاب نگاشت‌های مختلف سازه‌ای خواهیم پرداخت. در این بخش نمودارهای مربوط به درصد جابجایی نسبی طبقات تحت شتاب نگاشت‌های مختلف لرزه‌ای با استفاده از تحلیل مدل‌های سازه‌ای استخراج شده است که نمودار مربوط به سازه‌های ۶ و ۱۲ و ۱۸ طبقه در شکل (۶ و ۷ و ۸) مورد بررسی قرار گرفته است. همانطوریکه در نمودار مشخص است بیشترین تغییر مکان در ساختمان‌هایی با ارتفاع متوسط عموماً در یکی از سه طبقه تراز پایین رخ خواهد داد و در ساختمان‌های بلند مرتبه بیشترین تغییر مکان در طبقات میانی اتفاق خواهد افتاد [۱۲].

جدول ۵- خسارت کلی و درصد تشکیل مفاصل پلاستیک در المان‌های سازه‌ای ساختمان ۱۲ طبقه

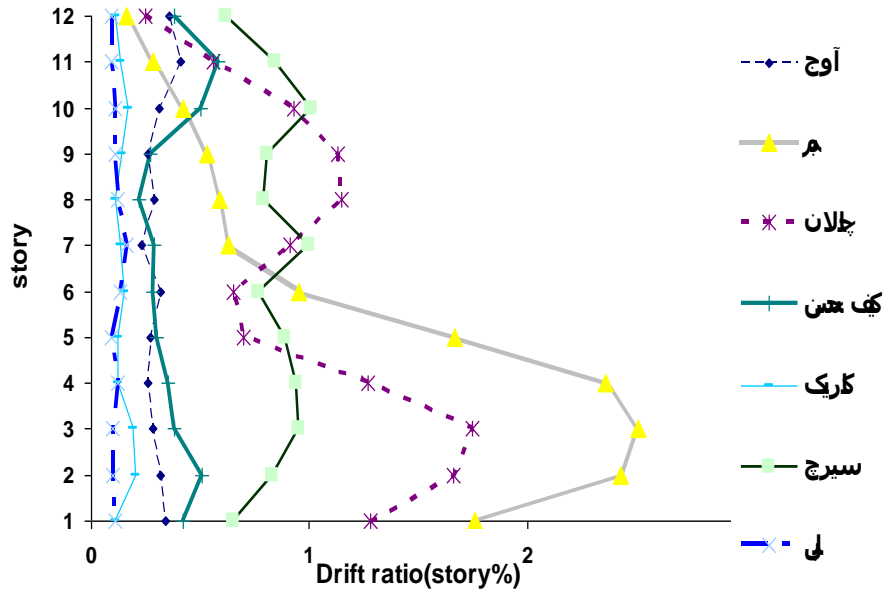
درصد تشکیل مفصل پلاستیک در دیوارها	درصد تشکیل مفصل پلاستیک در ستونها	درصد تشکیل مفصل پلاستیک در تیرها	خسارت کلی	شتاب نگاشت
۹۱.۶۶	۴.۱۶	۲۸.۱۲	۰.۰۹۶	اوج
۸۳.۳۳	۲۷.۰۸	۷۸.۱۲	۰.۲۵۷	بم
۹۱.۶۶	۳۲.۲۹	۸۷.۵	۰.۱۵۷	چالان
۹۵.۸۳	۹.۳۷	۴۲.۷	۰.۰۸۸	حسن کیف
۵۰	۰	۲.۰۸	۰.۰۶۶	کاریک
۱۰۰	۴۱.۶۶	۹۶.۸۷	۰.۱۲۷	سیرج
۲۰.۸۳	۰	۰	۰.۰۵۷	پل

همانطوریکه در جدول ۵ مشخص است بدلیل اندرکنش بهتر سیستم قاب - دیوار در سازه‌های بلند مرتبه، خسارت کلی سازه و درصد تشکیل مفصل پلاستیک در سازه ۱۲ طبقه کاهش یافته است.

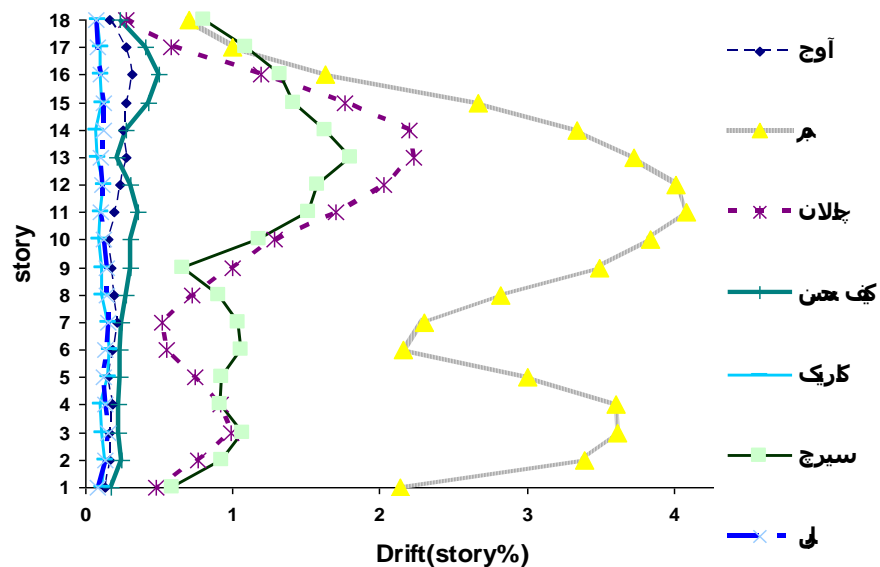




شکل ۶- جابجایی نسبی در ساختمان ۶ طبقه



شکل ۷- جابجایی نسبی در ساختمان ۱۲ طبقه



شکل ۸- جابجایی نسبی در ساختمان ۱۸ طبقه

- در ساختمان های بلند مرتبه تشکیل مفصل پلاستیک بسته به شتاب نگاشت های مختلف گاهی در دیوار بیشتر است و گاهی در تیر، ولی آنچه مسلم است درصد وقوع مفصل پلاستیک در ستونها بسیار پایین تر از دو المان دیگر است.

## ۱۱- مراجع

- ۱- تسنیمی، ع.، رفتار دیوارهای برشی در ساختمان های متداول، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۶.
- 2- Valles, R.E., Reinhorn, A.M., Kunnath, S.K., Li, C., Madan, A., IDARC V6.1, a program for the inelastic damage analysis of reinforced concrete structures, Technical Report NCEER-96-0010, National Centre for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, 1996.
- 3- Valles, R.E., Reinhorn, A.M., Kunnath, S.K., Li, C., Madan, A., A Program for the Inelastic Damage Analysis of Buildings ; NCEER Task Numbers 943103A and 943101 ; January 8; 1996.
- 4- Elenas, A., Correlation between seismic acceleration parameters and overall structural damage indices of buildings, Soil Dynamic and Earthquake Engineering 20, 2000, pp 93-100.
- 5- Elenas, A., Meskouris, K., Correlation study between seismic acceleration parameters and damage indices of structures, Engineering Structures 23, 2001, pp 698-704.

با بررسی نمودارهای بدست آمده برای جابجایی نسبی سازه ها مشاهده می شود که زلزله بم بدلیل داشتن PGA بالا و قرار گرفتن در حوزه زلزله های نزدیک گسل بیشترین جابجایی نسبی را در سازه ها ایجاد می نماید.

## ۱۰- نتیجه گیری

- بر اساس مطالعات صورت گرفته در این مقاله می توان به نتایج زیر دست یافت:
- بیشترین شاخص خسارت محلی، به ترتیب در دیوارها، تیرها و ستونها دیده می شود.
  - در هیچکدام از مدل ها هیچ ستونی به مرحله فروریزی نهایی نرسیده است.
  - در ساختمان های بلند مرتبه رفتار سیستم قاب - دیوار در برابر زلزله های مختلف بهتر از رفتار ساختمان های با ارتفاع متوسط می باشد. چرا که عموماً درصد تشکیل مفاصل پلاستیک و میزان شاخص خسارت در اعضا مختلف ساختمان های بلند مرتبه کمتر است.
  - بیشترین تغییر مکان نسبی در ساختمانهای با ارتفاع متوسط در یکی از ۳ طبقه پایین و در ساختمان های بلند مرتبه در یکی از طبقات میانی رخ خواهد داد.
  - عموماً درصد تشکیل مفاصل پلاستیک به ترتیب در دیوار، تیر و ستون می باشد.
  - در ساختمان های با ارتفاع متوسط درصد تشکیل مفصل پلاستیک در دیوارها بیشتر از تیرها و ستونها می باشد.

- 10- Erduran, E., Yakut, A., Deformation limits for shear critical reinforced concrete columns. In: 8th national conference on Earthquake Engineering, San Francisco; 2006.
- 11- Ghobarah, A., Biddah, A., Dynamic analysis of reinforced concrete frames including joint shear deformation, *Engineering Structures* 21, 1999, pp 971-987.
- 12- Pankaj, P., Lin, E., Material modelling in the seismic response analysis for the design of RC framed structures, *Engineering Structures* 27, 2005, pp 1014-1023.
- 6- Brun, M., Reynouard, J.M., Jezequel, L., Damaging potential of low-magnitude near-field earthquakes on low-rise shear wall, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 24, 2004, pp 587-603.
- 7- Amiri, J.V., Ahmadi, Q.Y., Ganjavi, B., Assessment of Reinforced Concrete Buildings with shear wall based on Iranian seismic code, *Journal of Applied Sciences* 8; 23, 2008, pp 4274-4283.
- ۸- آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴.
- ۹- مقررات ملی ساختمان مبحث نهم، چاپ ۱۳۸۷.

## **Evaluation of Damage Index in RC Shear Wall Structures with Intermediate Ductility**

**S.Yaghmaei**

Department of Civil engineering, Islamic Azad University, Ahar Branch ,Iran

**M.Shokri**

Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Ahar Branch, Iran

**H.Torabi**

Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Ahar Branch, Iran

### **Abstract**

Regarding the seismic hazard potential of Iran region and the damage exerted on the buildings during previous earthquakes, the developments of seismic engineering and vulnerability of buildings should be further taken into account. Due to the increasing use of reinforced concrete buildings in Iran, three 6.12.18 stories concrete flexural frames with shear wall system were selected and after designing based on 9th capture of Iranian national codes and the 2800 standard code were simulated via IDARC software with the capability of nonlinear dynamic analysis. After choosing the reliable accelographs adjustment with Iran tectonic conditions the damage estimates of these structures were investigated through performing nonlinear dynamic analysis. Note that the Ang-Park damage index was used as a reliable criteria for investigation of seismic response of reinforced concrete systems.

**Keywords:** damage index, RC shear wall structures, intermediate ductility