

# ارائه پروتکل بارگذاری برای اتصالات خمشی فولادی در ایران

مهدی قاسمیه<sup>۱\*</sup>، محمد حسنی سوخته‌سرای<sup>۲</sup>

۱- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

۲- دانشجوی دکتری مهندسی زلزله دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

m.ghassemieh@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۸/۲۶]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۷/۱۷]

**چکیده** - برای بررسی رفتار سازه و مولفه‌های آن در برابر نیروهای لرزه‌ای، ایجاد یک تاریخچه بارگذاری هماهنگ برای آزمایش‌ها که الگو مناسبی را از واقعیت نشان دهد، لازم است. در مهندسی زلزله مقاومت و ظرفیت تغییر شکلی بستگی به خسارت جمعی دارد و هر کدام از اجزا دارای یک حافظه دائمی از خسارات و رخداد‌های گذشته است. در هر لحظه از زمان می‌تواند تمامی چرخه‌های پشت سر گذاشته‌ی خود را که در کاهش سلامت این اجزا دخالت داشته‌اند به خاطر بیاورند، که هدف از یک پروتکل بارگذاری دستیابی به این مهم است. با توجه به زلزله‌خیز بودن ایران باید به بررسی عملکرد اتصالات توجه بیشتری داشت. در این مطالعه قاب‌های خمشی فولادی ۷، ۱۲ و ۲۰ طبقه به عنوان نمونه مطالعاتی انتخاب شدند و با تهیه فهرست مناسب شتاب‌نگاشتی از زلزله‌های اتفاق افتاده در ایران بین سال‌های ۱۳۵۷ تا ۱۳۸۶، درخواست‌های اعمالی ناشی از زلزله به این مولفه سازه بررسی شد. برای تهیه پروتکل بارگذاری اتصالات خمشی تحلیل تاریخچه‌زمانی با فهرست شتاب‌نگاشت‌های پیشنهادی انجام شد و با استفاده از روش شمارش چرخه رین‌فلو شبه‌سنجه‌های خسارتی برای نمونه‌های مطالعه به دست آمده‌است. تعداد چرخه‌های خسارتی، مجموع بازه‌های تغییر شکلی، بازه تغییر شکلی و بیشینه بازه تغییر شکلی شبه‌سنجه‌های درخواست می‌باشند که این شبه‌سنجه‌ها برای تمام طبقات نمونه‌های مطالعه بررسی و مقایسه می‌شوند. در ادامه برآورد آماری روی شبه‌سنجه‌های خسارتی انجام شد و مقادیر هدف به دست آمده‌است. و در نهایت پروتکل بارگذاری برای اتصالات خمشی رایج در ایران پیشنهاد شده‌است.

**واژگان کلیدی:** عملکرد اتصال، فهرست شتاب‌نگاشت، شبه‌سنجه‌های خسارتی، پروتکل بارگذاری.

## ۱- مقدمه

متفاوت نسبت به قبل به منظور هر چه بیشتر نزدیک شدن شرایط آزمایشگاهی به واقعیت برای برآورد ظرفیت‌ها و رفتار اتصالات شد.

در بیست سال اخیر که بحث مقاومت ساختمان در برابر نیروهای لرزه‌ای اهمیت چندین برابر پیدا کرده است، پروتکل‌های بارگذاری متعددی راه خود را به ادبیات پیدا کرده‌اند. از مهمترین آنها می‌توان به پروتکل بارگذاری ATC [۱]، پروتکل آماده شده به وسیله‌ی کلارک<sup>۱</sup> و همکاران [۲] برای برنامه‌ای تحت نظر SAC/FEMA برای سازه‌ها و مولفه‌های سازه‌ای فولادی، پروتکل بارگذاری ریچارد و یوانگ<sup>۲</sup> [۳] که برای اتصال لینک‌های کوتاه به ستون‌های سازه‌های برای

پروتکل‌های بارگذاری به منظور شبیه‌سازی نیروهایی که بتواند شامل طیف کاملی از نیروهای تحمیلی به وسیله‌ی زلزله از مناطق زمین‌شناسی، با تمامی بزرگا، قدرت و محتوای فرکانسی شود، به وجود می‌آیند و هدف آن در نظر گرفتن چرخه‌های خسارتی جمعی در هر لحظه که در سلامت اجزا دخالت دارند، است. تنها راه منطقی برای ارزیابی این پیامد نمونه‌سازی تاریخچه بار و بررسی تغییر شکل این جز که تحت زلزله قرار دارد، است. پس از زلزله نورتریج و وقوع گسیختگی زود هنگام در اتصالات فولادی جوشی که ناشی از پارگی جوش بود، لزوم بررسی دوباره و اصلاح پروتکل‌های بارگذاری آن زمان به وجود آمد، که منتج به ایجاد پروتکل‌های جدید با رویکردی

1 Clark

2 Richard and Uang

کشور استفاده می‌شوند، بیشتر از اتصال تیر به ستونی با ورق روسری و زیر سری به صورت گیردار استفاده می‌شود، بنابراین این نوع اتصال به عنوان نمونه اتصال تیر به ستون برگزیده شد. بر همین اساس سه قاب فولادی خمشی ۷، ۱۲ و ۲۰ طبقه به عنوان نمونه پژوهشی بررسی می‌شود. در گام نخست لزوم تهیه فهرست مناسبی از زلزله‌های ایران برای ادامه مطالعه بسیار حائز اهمیت بود. شتاب‌نگاشت‌های استفاده شده باید تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در محل احداث سازه هنگام وقوع زلزله باشند. برای رسیدن به این هدف ۲۰۰۰ شتاب‌نگاشت تصحیح شده، مربوط به زلزله‌های بین سال‌های ۱۳۵۷ تا ۱۳۸۶ ایران بررسی شد. و تمام شبه‌سنجه‌های موثر در انتخاب شتاب‌نگاشت مطابق با آنچه استاندارد ۲۸۰۰ بیان می‌کند، مدنظر قرار گرفت، تا در نهایت فهرستی مناسب از شتاب‌نگاشت برای منطقه تهیه شود. در گام بعد اقدام به تعیین ضریب مقیاس برای فهرست انتخابی شده است. برای تعیین ضریب مقیاس مبتنی با استاندارد ۲۸۰۰ عمل شده است؛ و برای هر شتاب‌نگاشت در سه قاب فولادی نمونه استفاده شده در این پژوهش ضرایب مقیاس تعیین شده است. تعیین ضریب مقیاس در استاندارد ۲۸۰۰ در مقایسه با آیین‌نامه دیگر مانند ASCE-07 [۶ و ۷] به دلیل تفاوت در طیف‌های طرح و روند تعیین ضریب مقیاس محافظه‌کارانه خواهد بود؛ به دلیل اینکه منطقه هدف در پژوهش، ایران است از روند استاندارد ۲۸۰۰ در تعیین ضریب مقیاس استفاده شد. گام بعدی تحلیل دوبعدی تاریخچه زمانی برای قاب‌های نمونه پژوهش صورت پذیرفت؛ و در ادامه نتایج و خروجی‌های مدنظر بررسی شد و تحلیل آماری نتایج با استفاده از روش شمارش چرخه‌های رین‌فلو<sup>۲</sup> روی نتایج صورت پذیرفت. در گام آخر با استفاده از کار آماری روی نتایج هدف که همان چرخه‌های تجمعی خسارتی، بزرگترین چرخه خسارتی و هم‌چنین تعداد چرخه‌های خسارتی است، مقادیر هدف حاصل شد و در نهایت پروتکل بارگذاری مناسب برای اتصالات خمشی در سازه‌های فولاد کشور ارائه شد. با توجه به زلزله خیز بودن کشور در اختیار داشتن، تاریخچه بارگذاری مناسب از رکوردهای زلزله منطقه و تولید یک

AISC [۴] صورت گرفت، و هم‌چنین پروتکل‌های دیوار برشی در سازه‌های چوبی به وسیله‌ی کراوینکلر<sup>۱</sup> و همکاران تحت برنامه‌ی CUREE [۵]، اشاره کرد. در پروتکل آماده شده به وسیله‌ی کلارک و همکاران دو تاریخچه‌ی بارگذاری برای آزمایش ترکیب‌بندی‌های تیر به ستونی فولادی ایجاد شد. یکی موسوم به تاریخچه‌ی بارگذاری پایه که برای برآورد کارایی ترکیب‌بندی تیر به ستونی در زلزله‌هایی که از نوع حوزه نزدیک نباشد و دیگری تاریخچه‌ی بارگذاری در زلزله‌هایی که حوزه نزدیک باشد. لازم به گفتن است روندی که برای تهیه پروتکل بارگذاری برای سازه‌های فولادی خمشی در ایران انجام شده است مانند روندی است که در گام دوم SAC به وسیله‌ی انجام گرفته است. در حقیقت برای درک بهتر از رفتار سازه‌های فولادی در برابر تهییج لرزه‌ای کلارک و همکارانش با انجام کارهای پژوهشی و آزمایشگاهی فراوان پروتکل‌های بارگذاری را آماده کرده‌اند. از آنجایی که دستورالعملی در گذشته وجود نداشت و برداشت‌ها در این باره به صورت فردی بوده، این موضوع ابهامات زیادی را برای تفسیر نتایج و برآورد کارایی مولفه‌ها بوجود آورده بود. در نتیجه این دستورالعمل برای پاسخ به پرسش‌های زیر بوجود آمد:

الف) چند چرخه، چه دامنه‌ی تغییر شکلی و چه دنباله‌ای از چرخه‌ها باید برای برآورد کارایی چرخه‌ای اعمال شود؟

ب) چگونه می‌شود که نتایج یک آزمایش تحت یک تاریخچه‌ی بارگذاری از پیش تعیین شده آنچنان عمومی شود که بتوان رفتار همان مولفه را تحت تاریخچه‌های بارگذاری دیگر فرض نمود.

ج) چگونه می‌شود که نتایج دسته‌های متفاوت آزمایش را به گونه‌ای که تمامی مزایایی به دست آمده از اطلاعات آزمایش ترکیبی که به وسیله‌ی آزمایشگاه‌های مختلف تولید شده‌اند را تفسیر کرد، با هم مقایسه نمود.

در این مطالعه تلاش شده، به علت گسترش روزافزون استفاده از فولاد در صنعت ساختمان، اهمیت شناخت بیش از پیش و مطالعه‌ی رفتار این گونه از سازه‌ها در برابر نیروهای زلزله مورد توجه قرار گیرد. با توجه به این نکته که سازه‌های فولادی در

میانگین بیشینه شتاب زمین در شتاب‌نگاشت برابر  $0.424$  بر حسب  $g$ ، و میانگین بیشینه سرعت زمین در شتاب‌نگاشت‌ها برابر  $23$  سانتی‌متر بر ثانیه است؛ و کمینه زمان تداوم در این شتاب‌نگاشت‌ها برابر  $11$  ثانیه است.

جدول (۱) فهرست شتاب‌نگاشتی حسنی و همکاران [۷]

Event Name	Event Magnitude (Richter)	Year	Station	Component
Changureh	6.4	2002	Avaj	Longitudinal
Changureh	6.4	2002	Avaj	Transverse
Fandoqa	6.6	1998	Sirch	Longitudinal
Fandoqa	6.6	1998	Sirch	Transverse
Khuli-buniabad	7.1	1979	Qaen	Longitudinal
Kojour	6.2	2004	Poul	Longitudinal
Rudbar	7.3	1990	Ab-bar	Longitudinal
Rudbar	7.3	1990	Ab-bar	Transverse
Rudbar	7.3	1990	Qazvin	Longitudinal
Silakhur	6.1	2006	Toshkeabesard	Transverse
Tabas	7.4	1978	Deyhook	Longitudinal
Tabas	7.4	1978	Deyhook	Transverse
Tabas	7.4	1978	Tabas	Longitudinal
Tabas	7.4	1978	Tabas	Transverse
Zarand	6.3	2005	Zarand	Longitudinal
Zarand	6.3	2005	Zarand	Transverse
Zarand	6.3	2005	Qadrouni Dam	Longitudinal
Zanjiran	5.8	1994	Meymand	Longitudinal
Zanjiran	5.8	1994	Meymand	Transverse
Zanjiran	5.8	1994	Firouz Abad	Transverse

Table (1) List of Suggested Records [9&10]

## ۲-۲- تعیین ضریب مقیاس برای قاب‌های مطالعه

در این قسمت به تعیین ضریب مقیاس برای قاب‌های مدنظر با توجه به فهرست شتاب‌نگاشتی در مطالعه پرداخته شده است. تعیین ضریب مقیاس مبتنی بر استاندارد  $2800$  صورت گرفت. در گام اول با توجه به مشخصات قاب‌های مورد نظر اقدام به تعیین زمان تناوب اصلی شد، سپس شتاب‌نگاشت‌های پیشنهادی به ضریب  $g$  همپایه شدند و میانگین طیف‌های پاسخ با  $5$  درصد میرایی به دست آمد. در گام بعد با توجه به این نکته که در ادامه روند مطالعه تحلیل دویبعی تاریخیچه زمانی

پروتکل، به منظور برآورد صحیح مولفه‌های سازه، یکی از ضروریات امر احساس می‌شود، که برای رسیدن به این هدف تلاش شد.

## ۲- فهرست شتاب‌نگاشتی ایران

### ۲-۱- تهیه فهرست مناسب از شتاب‌نگاشت‌ها برای ایران

شتاب‌نگاشت‌هایی که برای تحلیل تاریخیچه‌زمانی در تعیین اثر حرکت زمین استفاده می‌شود باید تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در محل احداث سازه هنگام وقوع زلزله باشند. متأسفانه این نکته که رکوردهای مناسب باید با توجه به شرایط حاکم بر چشمه‌لرزه‌زا، ویژگی‌های زمین‌شناسی، تکتونیکی، فاصله از گسل و بزرگا منطقه انتخاب شوند، مورد غفلت قرار می‌گیرد. حال آن که استاندارد  $2800$  [۸] به صراحت بیان می‌کند که رکوردهای مناسب باید به گونه‌ای انتخاب شوند که ویژگی‌های زمین‌شناسی، تکتونیکی و همچنین ساز و کار چشمه‌لرزه‌زا فاصله از گسل و بزرگا باید رعایت شوند. برای دستیابی به تاریخیچه بارگذاری مناسب، بیش از پیش نیاز به تهیه فهرست از شتاب‌نگاشت‌های مناسب با توجه به زلزله‌های اتفاق افتاده در ایران احساس می‌شود که شرایط منطقه را به خوبی در خود داشته باشند.

در مطالعاتی که به وسیله حسنی و همکاران [۹] قاسمیه و همکاران [۱۰] انجام شد، یک فهرست مناسب که شامل  $20$  شتاب‌نگاشت است، برای استفاده تحلیل‌های دویبعی غیرخطی در حوزه‌ی دور برای ایران پیشنهاد شده است. در این مطالعات  $2000$  شتاب‌نگاشت تصحیح شده، از زلزله‌ها بین سال‌های  $1357$  تا  $1386$  در ایران را مورد بررسی قرار دادند، و با در نظر داشتن شبه‌سنججه‌های تاثیرگذار شامل فاصله، بزرگا، محتوی فرکانسی، ساز و کار زلزله، خاک و مشخصات لایه‌های زمین و مدت تداوم زلزله در نهایت  $20$  شتاب‌نگاشت که تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در ایران است را ارایه کردند. در جدول (۱) فهرست شتاب‌نگاشتی پیشنهادی برای زلزله‌های حوزه‌ی دور آمده است. این شتاب‌نگاشت‌ها متعلق به زلزله‌هایی است که بزرگای آن‌ها، بین  $5/5$  تا  $7/5$  است؛ و میانگین بزرگا برای شتاب‌نگاشت‌های پیشنهادی برابر  $6/5$  است. همچنین

جدول (۲) ضریب مقیاس نهایی برای قاب ۱۲ طبقه

Event Name	Station	Component	Coefficient equal	Scale Factor
Changureh	Avaj	Longitudinal	2.025	2.8
Changureh	Avaj	Transverse	2.15	3
Fandoqa	Sirch	Longitudinal	1.46	1.8
Fandoqa	Sirch	Transverse	2.08	2.6
Khuli-buniabad	Qaen	Longitudinal	4.64	3.7
Kojour	Poul	Longitudinal	3.37	3.8
Rudbar	Ab-bar	Longitudinal	1.67	2.3
Rudbar	Ab-bar	Transverse	1.85	2.3
Rudbar	Qazvin	Longitudinal	4.85	3.4
Silakhur	Toshkeabesard	Transverse	2.62	3.7
Tabas	Deyhook	Longitudinal	3.07	3.8
Tabas	Deyhook	Transverse	2.5	3.1
Tabas	Tabas	Longitudinal	1.15	1.5
Tabas	Tabas	Transverse	1.17	1.5
Zarand	Zarand	Longitudinal	3.07	3.8
Zarand	Zarand	Transverse	4.15	4.1
Zarand	Qadrouni Dam	Longitudinal	4.49	3.6
Zanjiran	Meymand	Longitudinal	2.23	3.1
Zanjiran	Meymand	Transverse	2	2.8
Zanjiran	Firouz Abad	Transverse	3.46	3.9

Table (2) Scale factor for 12-storey frame [9]

انجام می‌گیرد، مقایسه میانگین طیف پاسخ شتابنگاشت‌های پیشنهادی با خود طیف طرح استاندارد صورت می‌پذیرد. ضریب مقیاس نهایی برای هر قاب بدین گونه به دست آمد که میانگین طیف پاسخ شتابنگاشت‌های پیشنهادی در بازه بین ۰/۲ برابر زمان تناوب اصلی قاب تا ۱/۵ برابر زمان تناوب اصلی قاب مدنظر کمتر از سه طیف طرح استاندارد نشد.

در شکل (۱) که نقشه‌ی توپوگرافی [۱۱] از منطقه است سرعت موج برشی در عمق ۳۰ متری برای تمام نقاط ایران به نمایش درآمده‌است، بیش از ۹۵ درصد مساحت منطقه، دارای سرعت موج برشی در عمق ۳۰ متری از زمین، بیشتر از ۲۴۰ متر بر ثانیه است. در نتیجه قسمت اعظم منطقه دارای طبقه بندی تیپ یک، دو و سه خاک مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ است. با توجه به زلزله خیز بودن بسیاری از مناطق در ایران خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد را برای به دست آوردن طیف‌های طرح در نظر گرفته شد. بر همین اساس مقایسه میانگین طیف پاسخ شتاب‌نگاشت‌های پیشنهادی با سه طیف طرح استاندارد برای سه تیپ خاک با خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد انجام پذیرفت. ضریب مقیاس بر اساس روند بیان شده برای قاب‌های ۷، ۱۲ و ۲۰ طبقه برای سه نوع طیف طرح استاندارد به دست آمد جدول (۲). ضریب هم پایه به  $g$  و مقیاس نهایی فهرست شتاب‌نگاشتی برای قاب ۱۲ طبقه آمده‌است.

میانگین ضریب مقیاس نهایی برای قاب گفته شده برابر ۳/۱؛ و برای قاب ۷ و ۲۰ طبقه به ترتیب برابر ۲/۹۵ و ۳/۱ است.

### ۳- تحلیل و نتایج

#### ۳-۱-۱- اطلاعات کلی قاب‌های نمونه مطالعاتی

قاب‌هایی که در این مطالعه برای تحلیل غیرخطی مورد استفاده قرار گرفت، مربوط به ساختمان‌های است که به وسیله‌ی صنعتی‌نیا و همکاران [۱۲ و ۱۳] در پروژه‌ی پژوهشی برای مرکز تحقیقات و مسکن انجام شد. ساختمان فولادی خمشی ۷، ۱۲ و ۲۰ طبقه به طور کامل بر اساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۱۴] و آیین‌نامه طرح لرزه‌ای فولاد آمریکا [۱۵] طراحی شد. در جدول (۳) اطلاعات کلی ساختمان آمده‌است؛ و در شکل (۲) نمونه سه بعدی سازه ۷ طبقه آمده‌است.

شکل (۱) نقشه توپوگرافی از منطقه، ارایه سرعت موج برشی در عمق ۳۰ متری از زمین [۱۱]

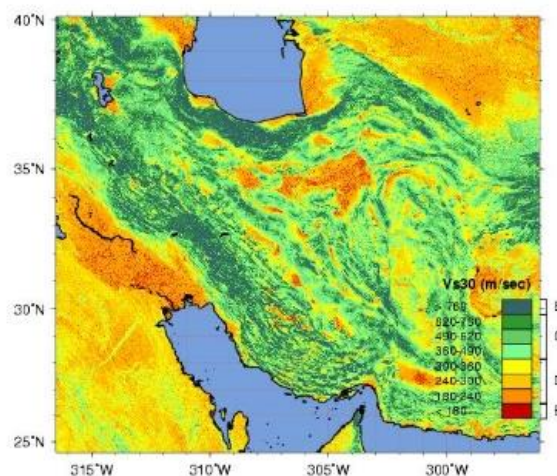


Fig. 1. Zoning map of shear wave velocity at depth of 30 m from ground surface for Iran [11]

زمانی انتخاب شد. در شکل (۳) نمونه قاب ۷، ۱۲ و ۲۰ طبقه برای انجام تحلیل تاریخیچه زمانی آورده شده است.

شکل (۳) قاب ۷، ۱۲ و ۲۰ طبقه مورد استفاده در مطالعه تحلیل تاریخیچه- زمانی دوبعدی

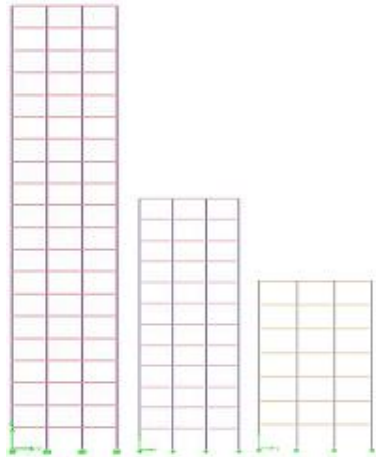


Fig. 3. Frames 7, 12 & 20 floors used in study for two-dimensional time history analysis

### ۳-۲- تحلیل تاریخیچه زمانی

نمونه سازی قابها برای انجام تحلیل تاریخیچه زمانی در محیط نرم افزار OPENSEES انجام شد. فرضیه های تولید نمونه در نرم افزار به شرح ذیل است:

(الف) توسعه رفتار غیرخطی در قابها با فرض شکل گیری این رفتار در مفاصل متمرکز در نواحی انتهایی کلیه تیرها صورت پذیرفته است.

(ب) رفتار تخصیص یافته به مفاصل و المانهای رشته ای رفتار فولاد با ۳ درصد سخت شدگی کرنشی از نوع سینماتیک است که در شکل (۴) آورده شده است.

شکل (۴) رفتار تنش-کرنش مصالح فولادی استفاده شده

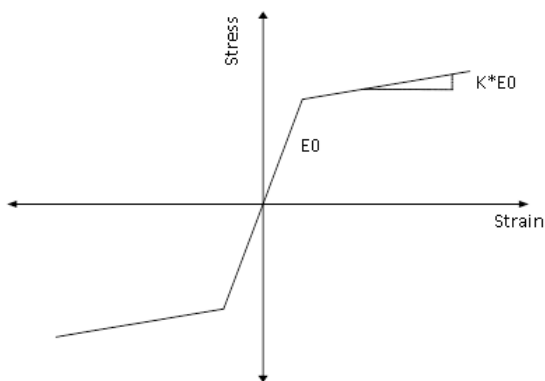


Fig. 4. Material behavior of steel used in study

جدول (۳) اطلاعات ساختمان طراحی شده [۱۲و۱۳]

No. of Story	No. of openings in X	No. of openings in Y	Span (m)	Floor height (m)
7	5	3	5	3.2
12	5	3	5	3.2
20	5	3	5	3.2

Table (3) Information for designed structures [12&13]

مقاطع ستونها به طور عمده از مقطع قوطی شکل استفاده شده است. و کلیه تیرها از مقاطع I شکل ساخته شده از نوع تیروورق است؛ و کلیه تیرهای فرعی تشکیل دهنده سقف کامپوزیت از مقاطع I شکل و اتصالات بر اساس ورقهای زیر سری و روسری طراحی و ساخته شده است.

شکل (۲) نمونه سه بعدی سازه ۷ طبقه

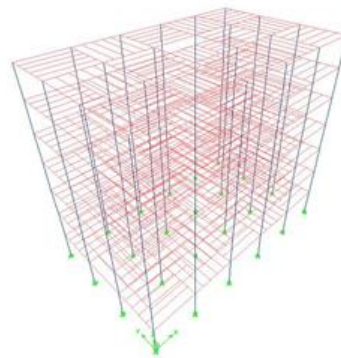


Fig. 2. Three dimensional model 7-storey structures

با بررسی نمونهها به وسیله روش استاتیک خطی معادل، بحرانی ترین قاب در یکی از جهت های X و Y برای هر سازه برای ادامه مطالعه و انجام تحلیل تاریخیچه زمانی انتخاب شد. با توجه به این امر که در قابهای خمشی عمدتاً با مشکل کنترل تغییر مکان نسبی طبقات مواجه خواهیم بود. با کنترل این مورد و بررسی تغییر مکان نسبی طبقات در قابهای جهت X و Y، قابهای جهت Y با تعداد دهانه کمتر بحرانی بوده است؛ و برای مطالعه و انجام تحلیل تاریخیچه زمانی دوبعدی در نظر گرفته شده اند. بنابراین برای سازه های ۷، ۱۲ و ۲۰ طبقه قاب خمشی جهت Y با سه دهانه ۵ متری که ارتفاع هر طبقه برابر با ۳/۲ متر است برای بررسی و انجام تحلیل های تاریخیچه

در ایستگاه توشک آب‌سرد ثبت شده، کمترین تغییر مکان نسبی را برای قاب ۲۰ طبقه ایجاد کرده‌است. نتایج ۷۸۰ نمودار تغییر مکان نسبی در نمونه‌ها بررسی شد و از آن برای شمارش چرخه‌های خسارتی استفاده شد.

#### ۴- پروتکل بارگذاری هدف

##### ۴-۱- شمارش چرخه‌های خسارتی

در این قسمت از مطالعه تغییر مکان نسبی هر طبقه منتج از تحلیل تاریخچه‌زمانی را با استفاده از روش شمارش چرخه‌های رین فلو ساده بررسی شد. برای هر طبقه تعداد چرخه‌های خسارتی، بیشینه تغییر شکلی، بازه‌ی تغییر شکلی و مجموع بازه‌های تغییر شکل به دست می‌آید. در نهایت طبقه‌ی بحرانی برای هر قاب نمونه به دست می‌آید.  $N_r$  تعداد کلی چرخه‌های خسارتی با بازه‌ی برابر ۰/۰۰۵ که نصف آن ۰/۰۰۲۵ در هر جهت متناظر، با تغییر شکل گسیختگی در نظر گرفته شده است. بازه‌های بیشتر از ۰/۰۰۵ به عنوان چرخه‌های خسارتی در مطالعه در نظر گرفته شده است. از دو شبه‌سنجه  $\Delta\theta_{max}$ ، بیشینه‌ی بازه‌ی تغییر شکلی تغییر مکان نسبی طبقه؛ و  $\sum \Delta\theta_i$  مجموع بازه‌های تغییر شکلی بعد از شمارش چرخه‌های خسارتی بزرگ تر از ۰/۰۰۵ برای تشخیص طبقه‌ی بحرانی استفاده شد. برای نمونه در شتابنگاشت رودبار با اعمال مولفه‌ی در امتداد گسل شتاب نگاشت که از ایستگاه آب‌سرد ثبت شده است، به قاب ۷ طبقه و انجام تحلیل تاریخچه‌زمانی نتایج تغییر مکان نسبی هر طبقه به عنوان ورودی برای شمارش چرخه‌های رین فلو داده شد.

بعد از شمارش چرخه‌های رین فلو، بازه‌ی تغییر شکلی بیشتر از ۰/۰۰۵ را به عنوان چرخه‌های خسارتی فرض شده است؛ و سپس شبه‌سنجه‌های  $\Delta\theta_{max}$  و  $\sum \Delta\theta_i$  برای شتاب نگاشت رودبار به دست می‌آید. در جدول (۴) نتایج حاصل شده از شمارش چرخه‌های رین فلو برای شتابنگاشت رودبار ارائه شده‌است.

بیشینه تعداد چرخه خسارتی در طبقه دوازدهم برای قاب ۱۲ طبقه اتفاق افتاده‌است مانند روندی که برای شتاب‌نگاشت رودبار بیان شد؛ برای تمامی شتاب نگاشت‌های فهرست، و در

ج) الگو استفاده شده در این مطالعه مبتنی بر روابط نرمی بوده- است.

د) توزیع جرم؛ در نمونه‌ها به صورت متمرکز در گره‌ها انجام شده است. لازم به گفتن است به دلیل دو بعدی بودن نمونه‌ها متمرکز بودن جرم در سیستم خلی در محاسبات و اشکال مودی ایجاد نخواهد کرد.

و) ضریب میرایی؛ در این مطالعه میرایی به روش رایلی در سیستم معادلات وارد شده است. مقدار میرایی برای کلیه نمونه‌ها براساس ضوابط ارائه شده در گزارش شماره ۱-۷۲ مرکز مطالعات مهندسی زلزله اقیانوس آرام و کمیته فناوری‌های کاربردی آمریکا [۱۴] برابر ۲ درصد در نظر گرفته شده است.

بعد از ایجاد سه نمونه قاب مطالعه در نرم‌افزار، تحلیل تاریخچه‌زمانی برای ۲۰ شتابنگاشت و با اعمال ضرایب مقیاس متناسب هر قاب انجام گرفت.

##### ۳-۳- نتایج تحلیل

برای تدوین پروتکل بارگذاری نیاز به بررسی تغییر مکان نسبی هر طبقه در قاب است. بر این اساس در ادامه روند مطالعه، تغییر مکان نسبی تمام طبقات در قاب‌های ۷، ۱۲ و ۲۰ طبقه برای ۲۰ شتاب‌نگاشت، به دست آمد. در شکل (۵) بیشینه تغییر مکان نسبی برای هر قاب متاثر از ۲۰ شتاب‌نگاشت مقایسه شده‌است.

شکل (۵) بیشینه تغییر مکان نسبی قاب‌ها برای شتاب‌نگاشت‌ها

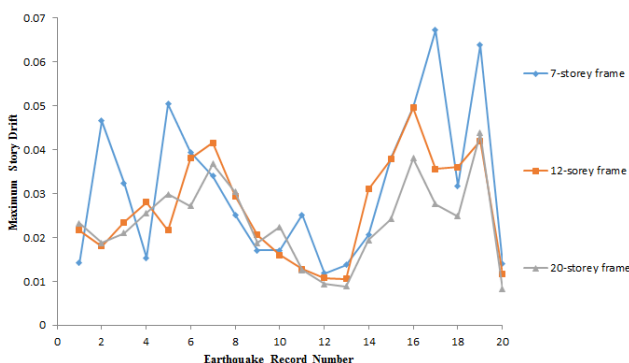


Fig. 5. Maximum story drift frames for proposed list

شتاب‌نگاشت طبرس که در ایستگاه طبرس ثبت شده، بیشترین تغییر مکان نسبی را برای قاب ۷ طبقه؛ و شتاب‌نگاشت سالیخور



شکل (۶) مجموع بازه‌های تغییر شکلی طبقات در قاب ۱۲ طبقه برای

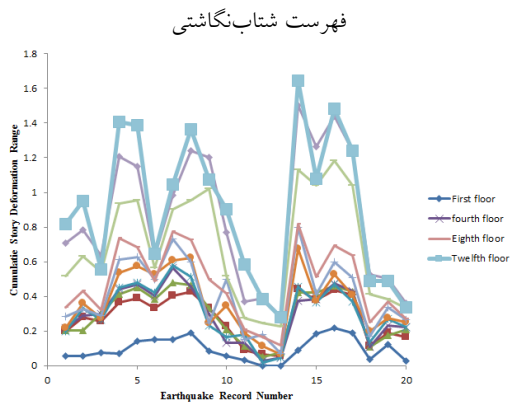


Fig. 6. Maximum story deformation range in 12-storey frame for proposed list

#### ۲-۴- مطالعات آماری روی شبه‌سنجه درخواست

در این قسمت از مطالعه برآورد آماری روی شبه‌سنجه‌های درخواست برای طبقات بحرانی انجام گرفت. برای مجموعه داده‌ها چندین توزیع احتمالاتی مورد آزمایش قرار گرفت و توزیع احتمالی لگ‌نرمال که بهترین تطبیق را نشان داد، انتخاب شد و در نهایت برای هر مجموعه از داده‌ها مقادیر ۷۵، ۵۰ و ۹۰ درصدی تابع توزیع احتمالی لگ‌نرمال محاسبه شد. در ادامه برای طبقات بحرانی قاب‌ها با استفاده از گراف تابع توزیع تجمعی<sup>۱</sup> مقادیر مورد نظر را برای تمامی شبه‌سنجه‌های درخواست به دست آمد (شکل ۷ تا ۹). گراف‌های تابع توزیع تجمعی؛ تابع احتمالاتی لگ‌نرمال برای داده‌های خسارتی در طبقه بحرانی قاب ۱۲ طبقه آمده‌است. مقادیر ۷۵، ۵۰ و ۹۰ درصدی تمام داده‌های خسارتی با استفاده از گراف تابع توزیع تجمعی لگ‌نرمال در جدول (۵ تا ۷) برای قاب‌های مطالعه مشاهده می‌شود.

شکل (۷) گراف تابع توزیع تجمعی لگ‌نرمال برای تعداد چرخه

خسارتی طبقه دوازدهم قاب ۱۲ طبقه

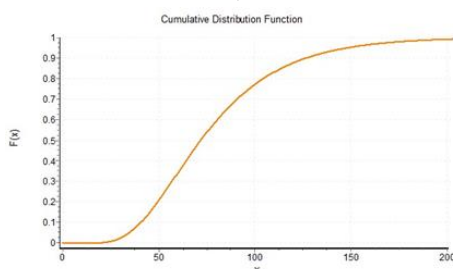


Fig. 7. Lognormal cumulative distribution function for the number of cycles damage the twelfth floor of 12-storey frame

1 CDF (Cumulative Distribution Function)

قاب‌های نمونه شمارش چرخه‌های خسارتی رین فلو انجام گرفت. با توجه به این که مجموع بازه‌های تغییر شکلی بعد از شمارش چرخه‌ها مهم‌ترین شبه‌سنجه است؛ و مبین تاریخچه خسارتی برای طبقه است. در تعیین طبقه بحرانی شبه‌سنجه مجموع بازه‌های تغییر شکلی با دقت بیشتری لحاظ شده است. در ادامه مطالعه باید با مقایسه شبه‌سنجه‌های درخواست، طبقه بحرانی برای قاب گفته شده به دست می‌آید. برای نمونه در شکل (۶) مقایسه شبه‌سنجه‌ی درخواست مجموع بازه‌های تغییر شکلی برای قاب‌های ۱۲ آمده‌است. در ۹۰ درصد از شتاب‌نگاشت‌ها شبه‌سنجه گفته شده در طبقه دوازدهم بیشترین مقدار است. بنابراین در قاب ۱۲ طبقه مورد مطالعه طبقه دوازدهم، طبقه بحرانی است.

جدول (۴) شبه‌سنجه‌های درخواست قاب ۱۲ طبقه برای شتاب‌نگاشت

رودبار ثبت شده از ایستگاه آب‌بر

Story	No. of Cycles	Maximum story deformation range	Cumulative of story deformation range
1	9	0.013	0.0702
2	44	0.0221	0.3636
3	43	0.0265	0.4114
4	41	0.0308	0.441
5	41	0.0351	0.4503
6	46	0.043	0.5361
7	52	0.0502	0.6133
8	58	0.0508	0.734
9	72	0.0402	0.8497
10	84	0.0413	0.9356
11	104	0.0403	1.2084
12	131	0.0346	1.4045

Table (4) Demand parameter 12-storey frame (Rudbar event, Ab-bar station)

مانند روند صورت گرفته برای قاب ۱۲ طبقه، مقایسه و بررسی شبه‌سنجه درخواست در طبقات مختلف قاب‌های ۷ و ۲۰، انجام گرفت و طبقه بحرانی برای قاب‌ها به دست آمد. طبقه هفتم قاب ۷ طبقه و طبقه بیستم قاب ۲۰ طبقه بر مبنای شبه‌سنجه‌های درخواست به عنوان طبقات بحرانی به دست آمدند.

جدول (۷) مقادیر ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصدی تابع توزیع لگ‌نرمال برای داده‌های خسارتی در طبقه بیستم قاب ۲۰ طبقه

Lognormal probability distribution	F(0.5)	F(0.75)	F(0.90)
Number of Cycles	59.92	84.17	114.3
Maximum Deformation Range	0.0313	0.0387	0.047
Cumulative of Deformation Range	0.701	1.041	1.48

Table (7) Values of 50, 75 and 90% log normal distribution function for data loss on the twentieth floor of 20-storey frame

۳-۴ پروتکل بارگذاری برای سازه‌های فولادی خمشی در ایران بعد از برآورد آماری شبه‌سنجه‌های درخواست برای طبقات بحرانی قاب‌های مطالعه، در گام آخر با بررسی مقادیر هدف به دست آمده اقدام به تهیه پروتکل بارگذاری برای سازه‌های فولادی خمشی با اتصالات رایج در ایران شده است. مقدار ۵۰ درصدی تابع توزیع تجمعی لگ‌نرمال چرخه‌های خسارتی در طبقات بحرانی، را برای تعداد چرخه‌های خسارتی پروتکل بارگذاری در نظر گرفته شده است؛ و همچنین مقادیر ۹۰ درصدی تابع توزیع تجمعی لگ‌نرمال مجموع بازه‌های تغییر شکلی و بیشینه‌ی تغییر شکل برای مقادیر متناظر در تدوین نهایی پروتکل استفاده شده است.

مقادیر ۵۰ درصد چرخه‌های خسارتی در قاب‌های ۷ و ۱۲ و ۲۰ طبقه به ترتیب برابر ۵۱، ۷۱ و ۵۹ است و مقادیر ۹۰ درصدی مجموع بازه‌های تغییر شکل در قاب‌های مطالعه به ترتیب برابر ۱/۰۵، ۱/۰۵۶، ۱/۰۴۸ است؛ و در نهایت مقادیر ۹۰ درصدی بیشینه‌ی بازه‌ی تغییر شکلی در قاب‌های مطالعه به ترتیب برابر ۰/۰۳۶، ۰/۰۵۱ و ۰/۰۴۷ است.

انتخاب مقادیر هدف نهایی برای مجموع بازه‌های تغییر شکلی بدین گونه عمل شده است که مقادیر ۹۰ درصدی برای قاب ۷ طبقه و مقادیر بیش از ۷۵ درصد برای قاب‌های ۱۲ و ۲۰ طبقه تامین شوند. که پروتکل بارگذاری نهایی بیش از اندازه محافظه‌کارانه نشود. در قضاوت نهایی، برای تهیه پروتکل تعداد چرخه‌های خسارتی ۴۸، مجموع بازه‌های تغییر شکلی ۱ رادیان و بیشینه‌ی بازه‌ی تغییر شکلی برابر ۰/۰۸ و بیشینه تغییر شکلی برابر ۰/۰۴ انتخاب شده است. شکل (۱۰) پروتکل بارگذاری برای قاب‌های فولادی با اتصالات خمشی در ایران

شکل (۸) گراف تابع توزیع تجمعی لگ‌نرمال برای بیشینه بازه تغییر شکلی طبقه دوازدهم قاب ۱۲ طبقه

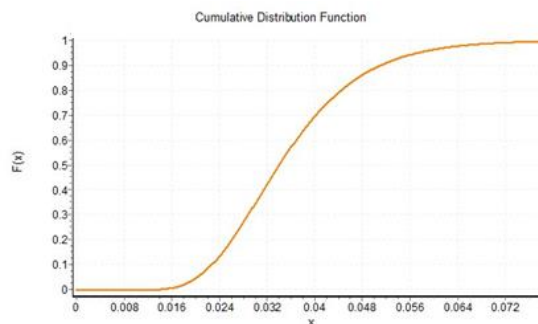


Fig. 8. Lognormal cumulative distribution function for the maximum of story deformation range twelfth floor of 12-storey frame

شکل (۹) گراف تابع توزیع تجمعی لگ‌نرمال برای مجموع بازه‌های تغییر شکلی طبقه دوازدهم قاب ۱۲ طبقه

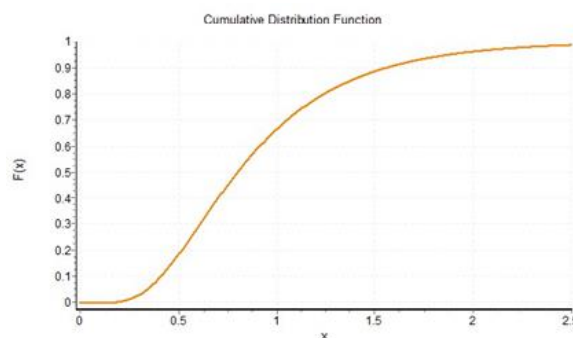


Fig. 9. Lognormal cumulative distribution function for cumulative story deformation range of the twelfth floor of 12-storey frame

جدول (۵) مقادیر ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصدی تابع توزیع لگ‌نرمال برای داده‌های خسارتی در طبقه هفتم قاب ۷ طبقه

Lognormal probability distribution	F(0.5)	F(0.75)	F(0.90)
Number of Cycles	51.4	72.48	98.75
Maximum Deformation Range	0.0278	0.032	0.0364
Cumulative of Deformation Range	0.553	0.778	1.05

Table (5) Values of 50, 75 and 90% log normal distribution function for data loss on the seventh floor of 7-storey frame

جدول (۶) مقادیر ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصدی تابع توزیع لگ‌نرمال برای داده‌های خسارتی در طبقه دوازدهم قاب ۱۲ طبقه

Lognormal probability distribution	F(0.5)	F(0.75)	F(0.90)
Number of Cycles	71.9	97.14	127.3
Maximum Deformation Range	0.034	0.0421	0.051
Cumulative of Deformation Range	0.8026	1.1418	1.56

Table (6) Values of 50, 75 and 90% log normal distribution function for data loss on the twelfth floor of 12-storey frame



۰/۰۲ که تعداد چرخه در این قدم برابر ۴ چرخه است. در قدم بعدی بارگذاری دامنه چرخه برابر ۰/۰۳ و تعداد چرخه در این قدم ۲ چرخه پیشنهاد می‌شود. و در قدم آخر پروتکل پیشنهادی دامنه چرخه برابر ۰/۰۴ و تعداد چرخه در این قدم برابر ۲ است.

## ۵- نتیجه گیری

هدف اصلی در این پژوهش تهیه پروتکل بارگذاری برای اتصالات خمشی رایج در ایران بوده است. که برای رسیدن به این هدف مطالعه، بررسی، تحلیل و محاسبات آماری دقیقی انجام گرفت؛ و در نهایت پروتکل ارائه شده دارای ۹ گام بارگذاری و ۴۸ چرخه با مجموع بازه تغییر شکلی حدود ۱ رادیان و بیشینه تغییر شکلی برابر ۰/۰۴ ارائه شد. در بررسی عملکرد و برای پذیرش اتصالات باید تا گام ۹ بارگذاری اتصالات ۸۰ درصد مقاومت نهایی خود را داشته باشند. در مقایسه با پروتکل بارگذاری پایه SAC با ۳۰ چرخه خسارتی و با مجموع بازه‌های تغییر شکلی حدود ۰/۷ رادیان بیشینه تغییر شکلی ۰/۰۴ رادیان اندکی محافظه کارانه است. که این امر با توجه به چگونگی محافظه کارانه تعیین ضریب مقیاس که در استاندارد ۲۸۰۰ بیان شده و همچنین انتخاب سه نوع طیف طرح استاندارد برای ایران، اجتناب ناپذیر بوده است. در نهایت این پروتکل پیشنهادی برای بررسی عملکرد اتصالات خمشی سازه‌های فولادی در زلزله‌های حوزه دور در ایران پیشنهاد شد.

## References

- [1] ATC-24, (1992). "Guidelines for Cyclic Seismic Testing of Components of Steel Structures for Buildings", ATC-24, Applied Technology Council, Redwood City, CA.
- [2] Clark, P., Frank, K., Krawinkler, H., and Shaw, R., (1997). "Protocol for Fabrication, Inspection, Testing, and Documentation of Beam-Column Connection Tests and Other Experimental Specimens", SAC Steel Project Background Document. October, Report No. SAC/BD-97/02.
- [3] Richards P, Uang, C.-M. (2006). "Testing protocol for short links in eccentrically braced frames". Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineer.
- [4] AISC, 2005. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.

نشان داده شده است. همچنین در جدول (۸) چرخه‌های پروتکل بارگذاری پیشنهادی برای اتصالات خمشی ایران آورده شده است.

شکل (۱۰) پروتکل بارگذاری برای اتصالات خمشی در ایران

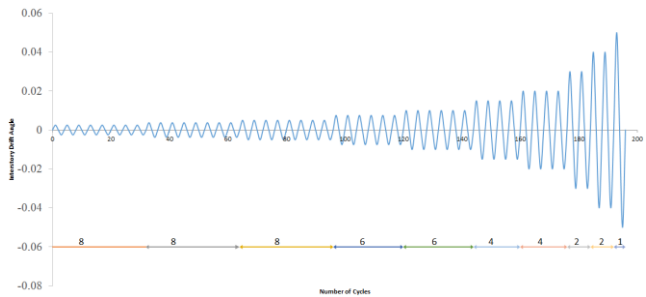


Fig. 10. Loading history for the steel moment connections in Iran

جدول (۸) چرخه پروتکل بارگذاری برای اتصالات خمشی در ایران

Load Step	Peak Drift Angle	Number of Cycles	Sum of Drift Angle	Sum of Cycles
1	0.0025	8	0.04	8
2	0.00375	8	0.1	16
3	0.005	8	0.18	24
4	0.0075	6	0.27	30
5	0.01	6	0.39	36
6	0.015	4	0.51	40
7	0.02	4	0.67	44
8	0.03	2	0.79	46
9	0.04	2	0.95	48

Table (8) Loading protocols for moment connections in Iran

در پروتکل بارگذاری پیشنهادی قدم اول بارگذاری دامنه‌ی چرخه برابر ۰/۰۰۲۵ که تعداد چرخه در گام اول، برابر ۸ چرخه است و در گام دوم بارگذاری دامنه چرخه برابر ۰/۰۰۳۷۵ که تعداد چرخه در این قدم برابر ۸ چرخه است. در قدم سوم بارگذاری دامنه چرخه برابر ۰/۰۰۵ که تعداد چرخه در این قدم برابر ۸ چرخه است و گام چهارم بارگذاری دامنه چرخه برابر ۰/۰۰۷۵ که تعداد چرخه در این قدم برابر ۶ چرخه است. در قدم بعدی بارگذاری دامنه چرخه برابر ۰/۰۱ و تعداد چرخه در این قدم ۶ چرخه پیشنهاد می‌شود. در قدم ششم بارگذاری دامنه چرخه برابر ۰/۰۱۵ که تعداد چرخه در این قدم برابر ۴ چرخه است. در قدم هفتم بارگذاری دامنه چرخه برابر

& Architecture Engineering & Urban Sustainable Management. June 12, 2014, Gorgan, IRAN.

[11] The United States Geological Survey, Wednesday, February 27, 2013, The United States Geological Survey, Available from; WWW.USGS.GOV.

[۱۲] قاسمیه مهدی، صنیعی نیا زهرا، پزشکی هادی، مزروعی علی. "تدوین ضوابط رفتار لرزه‌ای اتصالات صلب از نوع تیر I به ستون قوطی". گزارش پیشرفت پروژه (شماره ۱). مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ۱۳۸۹.

[۱۳] قاسمیه مهدی، صنیعی نیا زهرا، پزشکی هادی، مزروعی علی. "تدوین ضوابط رفتار لرزه‌ای اتصالات صلب از نوع تیر I به ستون قوطی". گزارش پیشرفت پروژه (شماره ۲). مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ۱۳۸۹.

[۱۴] مقررات ملی ساختمان، مبحث دهم. طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی، ۱۳۸۴.

[15] AISC. Seismic provisions for structural steel buildings. AISC: Chicago, IL, 2002.

[16] PEER/ATC 72-1 (2010). Modelling and acceptance Criteria for seismic design and analysis of tall buildings.

[5] Krawinkler, H., Parisi, F., Ibarra, L., Ayoub, A., and Medina, R., (2001). "Final Report, Development of a Testing Protocol for Wood Frame Structures", CUREE-Caltech Woodframe Project Report, Stanford University, Stanford CA.

[6] ASCE- 7-05. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures: American Society of Civil Engineers; 2005.

[7] ASCE- 7-10. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures: American Society of Civil Engineers; 2010.

[۸] استاندارد ۲۸۰۰. آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴.

[۹] حسنی سوخته‌سرایبی محمد، قاسمیه مهدی، علی رحیم-

زاده. "پیشنهاد شتاب‌نگاشت‌های مناسب برای استفاده تحلیل

دوبعدی غیرخطی در حوزه دور برای ایران و تعیین مقیاس

جهت قاب‌های فولادی خمشی"؛ مجموعه مقالات کنفرانس

بین‌المللی عمران معماری و توسعه پایدار شهری؛ جلد اول؛ آذر

۱۳۹۲؛ تبریز، ایران

[10] Ghasemieh Mahdi, Hassani sokhtesarae Mohamad, Jafari pirouz Ebrahim." proposition of a suite of far-field ground motion records applicable to 2-d nonlinear time-history analyses in Iran ".The 2014 Conference on Civil

# Effect of Loading Protocol on the Steel Moment Connections in Iran

M. Ghassemieh<sup>1\*</sup>, M. Hasani sokhtesaraei<sup>2</sup>

1- Professor, School of civil engineering, University of Tehran

2- PhD Candidate, School of civil engineering, University of Tehran

m.ghassemieh@ut.ac.ir

## Abstract:

Premature rupture of steel structures in seismic Northridge connections led to investigate the performance of steel moment connections under the forces of earthquake. In this regard, various kinds of earthquakes, accurate determination of the used parameters and bearing capacity parameters of connections have been investigated. The fact that no two earthquakes are similar leads to adopting a coordinated approach for testing different structural elements. These requirements result in developing standard loading histories called loading protocols. Today, the ever-increasing development of using steel in the construction industry in Iran has become clearly evident. Considering the fact that Iran is an earthquake-prone country, identifying the behavior of these structures against earthquake forces is important. In this study, steel moment frames with seven, twelve and twenty stories are examined as the research models. A proper list of recorded accelerations for Iran's earthquakes during 1978-2007 is provided to estimate the seismic demands of structural components. Regarding the catastrophic aftermath of earthquakes, having a reliable approach to assess the seismic demands of specific regions seems inevitable. The aim of this study is to provide a list of far-field seismic records in Iran which is applicable to 2-D nonlinear time history analyses. For this aim, 2000 seismic records from Iran's seismic records database are selected according to their characteristics, amongst are focal distance, magnitude, rupture mechanism, frequency content, and soil profile. Time-history dynamic analysis is carried out by using the list of proposed acceleration records aiming at preparing the loading protocol of steel moment connections. The rain flow cycle counting technique is employed to determine damage parameters for research models. Considering the fact that values of strength and deformation capacities depend on cumulative damage, every component has a permanent memory of past damaging events and at any instance in time, it will remember all the past excursions (or cycles) that have contributed to the deterioration in its state of health. A loading protocol is developed specifically for this purpose. Developing the loading protocol for moment-resisting connections, the time history is analyzed using the selected set of recorded accelerations. By applying the method of rain flow cycle counting, damage parameters are determined for the research models. Number of the damaging cycles, total deformation range, deformation range and peak of deformation range are the parameters which are evaluated and compared for all the layers of the research models. Afterwards, statistical estimations are performed on damage parameters and target values are established. Finally, a loading protocol is recommended for moment-resisting joints commonly used in Iran which has the capacity of being applied to the considered structural elements under specific general state.

**Keywords:** Connections performance, List of Recorded Accelerograms, Damage Parameters, Loading Protocol.