معرفی راهبردی مؤثر تحلیل و طراحی قاب‌های مهاربندی شده جهت تأمین شکل پذیری مورد انتظار

اباذر اصغری[1]، حمید اسدی[2]، علی رهبر[3]، مهران سلطانی نژاد[4]

1- استادیار دانشکده عمران ، دانشگاه صنعتی ارومیه
abcd1386@gmail.com
2- کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه ، دانشگاه صنعتی ارومیه
hamid.asadi66@gmail.com
3- لیسانس مهندسی عمران- عمران ، دانشگاه علامه محدث نور
Ali_rahbar_66@yahoo.com
4- کارشناسی ارشد مهندسی عمران- زلزله ، دانشگاه تبریز
Soltaninedjad90@ms.tabrizu.ac.ir

چکیده

قاب‌های مهاربندی شده‌ی همگرا فولادی، به‌دلیل اقتصادی بودن و همچنین کنترل تغییر مکان جانبی به‌وجود آمده در اثر زلزله به‌واسطه سختی جانبی زیاد، مورد استفاده فراوان قرار می‌گیرد. با این وجود، این سیستم‌های باربر جانبی به‌دلیل شکل‌پذیری پایین، در هنگام زلزله رفتار خوبی از خود نشان نمی‌دهند. ارزیابی دقیق از شکل‌پذیری این سیستم و همچنین ارائه‌ی راهکارهایی برای بهبود عملکرد لرزه‌ای آن، هدف اصلی این تحقیق می‌باشد. برای رسیدن به اهداف تعیین شده، با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی به ارزیابی قاب‌های مهاربندی همگرا، پرداخته شده و معایب و محاسن ضوابط آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است و در انتها روشی برای بهبود عملکرد لرزه‌ای قاب‌های مورد مطالعه ارائه شده است. در این روش یک‌سری الگوی بارهای جانبی اضافی، علاوه‌بر بارهای جانبی توصیه شده در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای ارائه شده است. چنانچه این بارها با مقادیر توصیه شده در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای جمع شوند و سازه براساس آن طراحی گردد، سازه از شکل‌پذیری بالایی برخوردار خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: سیستم مهاربندی همگرای فولادی، شکل‌پذیری، تحلیل غیرخطی استاتیکی، الگوی بارجانبی اضافی

1. مقدمه

یکی از سیستم‌های فولادی مقاوم در برابر نیروی زلزله قاب‌های مهاربندی همگرا می‌باشد. استفاده از قاب‌های مهاربندی شده جهت مقاومت در برابر بارهای جانبی به اوایل قرن بیستم باز می‌گردد. این سیستم از مفیدترین

Archive of SID
www.SID.ir

سیستم باربر جانبی جهت کنترل تغییرمکان می‌باشند و از سختی و مقاومت بالایی در برابر بارهای سرویس برخوردار می‌باشند. از مهم‌ترین محاسن این سیستم، اقتصادی بودن آن می‌باشد.

تا قبل از زلزله 1997 کوبه، تصور اصلی بر این بود که این سیستم می‌تواند سیستم مؤثری برای تحمل بارهای جانبی ناشی از زلزله یا باد باشد اما خسارات، ناشی از این زلزله نشان داد که این سیستم‌ها به علت شکل‌پذیری پایینی که دارند، می‌توانند عملکرد ضعیفی در زلزله‌ها داشته باشند. عملکرد لرزه‌ای مهاربندهای CBF به طور وسیعی وابسته به عملکرد مهاربندهای مورد استفاده در این سیستم‌ها می‌باشد. حلقه‌های هیسترزیس این اعضاء، به‌علت کمانش آن در بارهای فشاری، ناپایدار شده و همین امر سبب کاهش انرژی جذب شده خواهد شد. آنچه مشکل و نگرانی را برای این سازه‌ها ایجاد کرده است، تأمین شکل‌پذیری است. کمبود شکل پذیری این سیستم از دوجهت حائز اهمیت می باشد:

1- اعضای مهاربندی ظرفیت اتلاف انرژی و قابلیت شکل‌پذیری محدودی دارند. عملکرد لرزه‌ای سیستم قاب مهاربندی همگرا، وابسته به عملکرد اعضای قطری مورد استفاده در این سیستم‌ها می‌باشد. حلقه‌های هیسترزیس المان‌های قطری، به‌دلیل یکسان نبودن ظرفیت کششی و فشاری این اعضاء و همچنین افت مقاومت پدید آمده در اثر کمانش، به‌صورت نامتقارن و ناپایدار می‌باشد و در نتیجه سبب کاهش انرژی جذب شده می‌گردد.

2- در این سیستم باربر جانبی، عناصر مستهلک کنندهٔ انرژی و عناصر غیرمستهلک کننده به خوبی نمی‌توانند به وظایف خود عمل کنند. از آنجایی که ستون‌ها که جزء عناصر مستهلک کننده انرژی به‌شمار نمی‌آیند در مواردی حتی قبل از مهاربندها کمانش می‌نمایند و درنتیجه، در این مدل‌ها هضم انرژی به خوبی صورت نمی‌گیرد و در حقیقت عناصر مستهلک کننده انرژی و غیرمستهلک کننده انرژی به درستی به وظایف خود عمل نمی‌کنند به‌طوریکه در اکثر موارد عناصر بادبندی به تنش نظیر کمانش و یا تسلیم نرسیده و ستون‌ها دچار خرابی می‌گردند و لذا با خرابی ستون، فروپاشی کامل سازه اتفاق می‌افتد. به‌عبارت دیگر قبل از اینکه مهاربندها بتوانند وظیفهٔ اصلی خود را به عنوان عناصر جذب کنندهٔ انرژی انجام دهند، با کمانش ستون‌های سازه، پایداری سیستم از بین می‌رود و این مهاربندها نمی‌توانند به میزان جذب انرژی پیش بینی شده توسط منحنی‌های دوره‌ای دست یابند.

هر چند اعضای مهاربندی متداول، از رفتار چرخه‌ای ناپایدار و نامتقارن در کشش و فشار برخوردار می‌باشند و شکل‌پذیری کمی از خود نشان می‌دهند ولی در صورت فراهم نمودن یک‌سری شرایط ایده‌آل، می‌توان از همین ظرفیت شکل‌پذیری محدود اعضا، حداکثر بهره را برد.

به این صورت که اگر طرحی ارائه شود که در آن ستون‌ها وارد مرحله غیر خطی نشوند و یا حتی الامکان تشکیل مفاصل پلاستیک در این اعضا به تعویق بیفتد، مهاربندها وارد مرحله غیرخطی شده ونیروی زلزله را مستهلک می‌نماید و ستون‌ها نیز بارهای ثقلی را تحمل می‌نمایند.

یکی دیگر از عواملی که باعث عملکرد نامناسب سیستم های لرزه‌بر سازه‌ای در برابر زلزله می‌گردد، استفاده از تحلیل‌های خطی در طراحی سازه می‌باشد. در تحلیل خطی فرض بر این است که تیرها و ستون‌ها در طول تحلیل

Archive of SID

www.SID.ir

دارای مقاومت نامحدود و سختی ثابت باشند و به عنوان روش‌هایی بر مبنای روش‌های کنترل شونده توسط نیرو مطرح می‌گردند. در این روش تصور می‌شود که مقاومت سازه در برابر زلزله بیش از مقداری است که درطراحی در نظر گرفته شده است و سازه می‌تواند نیروی زلزله را در طی مدت تسلیم خود کاهش دهد.
مبنای اصلی کاهش نیرو در این روش طراحی، بر فرض عملکرد مطلوب سازه به علت قابلیت شکل‌پذیری و نیز وجود اضافه مقاومت در سازه‌ی طراحی شده است، که باعث افزایش توانایی سازه در جذب و استهلاک انرژی زلزله می‌شود. تعیین ضریب مذکور با توجه به عوامل متعددی از جمله شکل‌پذیری سازه، اضافه مقاومت، میرایی و نیز ضرایب اطمینان، در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای به کار گرفته شده است. ضریب رفتار سازه به پارامترهای زیادی از جمله دوره‌ی تناوب سازه، ضریب شکل پذیری، ضریب اضافه مقاومت و... وابسته است. در نتیجه صرفاً با اتکای بر نوع سیستم سازه‌ای به کار رفته نمی‌توان تخمین درستی از این ضریب داشت. این ایراد به عنوان اصلی‌ترین ایراد در روش طراحی براساس مقاومت به حساب می‌آید.
همچنین بارهای جانبی اصولاً ماهیتی قراردادی داشته و نحوه توزیع بار جانبی و به تبع آن، عناصر مقاوم در سازه عموماً با استفاده از پاسخ استاتیکی و یا دینامیکی خطی و به طور تقریبی تعیین می‌شود. درنتیجه یکی دیگر از مشکلات در تحلیل‌های خطی، انتخاب الگوی بار جانبی می باشد.

2. مروری بر ادبیات

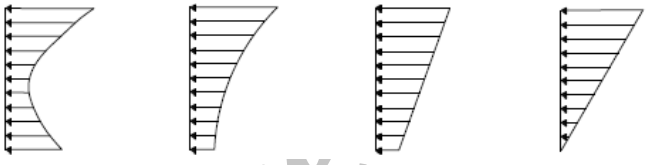
به‌دست آوردن توزیع بهینه سختی و مقاومت در سال‌های اخیر، بسیار مورد توجه محققان بوده است. نحوه توزیع سختی و مقاومت در سازه‌ها متأثر از نحوه توزیع بار طراحی می‌باشد و بنابراین امکان آن وجود دارد تا با انتخاب یک الگوی صحیح برای توزیع این بارها، عملکرد لرزه‌ای سازه افزایش داده شود. یکی از معیارهایی که می‌تواند در طراحی بهینه سازه‌ها مطرح شود آن است که سازه به نحوی طراحی گردد که برای رسیدن به یک سطح عملکرد خاص در هنگام زلزله، وزن سیستم لرزه‌بر به کمترین مقدار ممکن تقلیل یابد. در بین سیستم‌های مختلف، توزیع بار جانبی در سازه‌های با رفتار برشی، از اهمیت بیشتری برخوردار است چرا که طرح نهایی به‌دست آمده وابستگی زیادی به توزیع بارهای جانبی دارد [2 و1].
الگوی توزیع بهینه سختی و مقاومت، در زلزله‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. این امر از آن لحاظ دارای اهمیت است که هیچ‌گاه نمی‌توان مشخصات زلزله‌ای که احتمالاً در عمر مفید سازه به آن وارد خواهد شد را دقیقاً پیش بینی نمود. اما می‌توان انتظار داشت که اگر سازه‌ای برای یک زلزله خاص به‌صورت بهینه طراحی شده است، در صورتی‌که در معرض زلزله‌هایی با مشخصات مشابه قرار گیرد، رفتار مناسبی از خود نشان دهد.
از مطالعات صورت گرفته در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:
تاکواکی و ناکامورا با استفاده از روابط تحلیلی و با حل معادلات حرکت ارتعاش تصادفی سازه، سختی در سازه‌های برشی را به نحوی توزیع کردند که سازه طراحی شده دارای شکل مودی و زمان تناوب مورد نظر طراح باشد [4 و3].

Archive of SID

www.SID.ir

تحقیقات چوپرا بر روی رفتار مدل‌های برشی مختلف در برابر زلزله السنترو بیانگر آن است که توزیع ضرایب شکل‌پذیری طبقات در سازه‌های طراحی شده براساس بار جانبی آیین‌نامه یوبی‌سی97، به‌صورت یکنواخت نخواهد بود [5].

از تحقیقات انجام شده بر روی طراحی بهینه سازه‌های برشی غیر ارتجاعی در برابر تحریکات لرزه‌ای، می‌توان به مطالعات صورت گرفته توسط محمدی و همکاران و محمدی و مقدم اشاره نمود [7 و 6]. در این تحقیقات اثر انتخاب الگوی بارگذاری در پاسخ لرزه‌ای سازه‌های برشی مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شده است که انتخاب الگوی بارگذاری بر رفتار لرزه‌ای سازه و پاسخ‌های دینامیکی آن در زلزله اثر زیادی خواهد گذاشت و انتخاب یک الگوی نامناسب باعث افزایش شدید تغییر شکل‌های سازه می‌گردد. حاجی رسولی‌ها و مقدم با استفاده از تئوری تغییر شکل‌های یکنواخت، نشان دادند که می‌توان الگوی توزیع نیروی زلزله را به گونه‌ای انتخاب نمود که سازه در زلزله رفتار مناسب‌تری داشته باشد [8]. این الگوها مطابق شکل (1)، در حالت کلی در چهار دسته بارهای مثلثی، بارهای ذوزنقه‌ای، بارهای سهمی شکل و بارهای هیپربولیک تقسیم شدند وقابلیت آن در کاهش وزن سازه‌ای به اثبات رسید.



شکل (1) : الگوی بارمناسب در طراحی لرزه‌ای [8]

3. تشریح مساله

با توجه به اینکه مهاربندها برای جذب انرژی زلزله به‌کار گرفته می‌شوند انتظار داریم که رفتار دوره‌ای کاملی را ارائه دهند. اما مشاهده گردیده که قبل از اینکه این مهاربندها به‌صورت مؤثری وارد عمل گردند، ستونی که تحت فشار قرار گرفته کمانش نموده و سازه دچار مکانیزم زود هنگام می‌گردد. اگر بتوان مودهای شکست ترد سازه مانند کمانش زود هنگام ستون‌ها را حذف نمود، از حداکثر ظرفیت جذب انرژی مهاربندها استفاده می‌گردد. همچنین تعداد مهاربندهای بیشتری وارد مرحله غیرخطی شده و انرژی ورودی زلزله را مستهلک می‌نمایند.

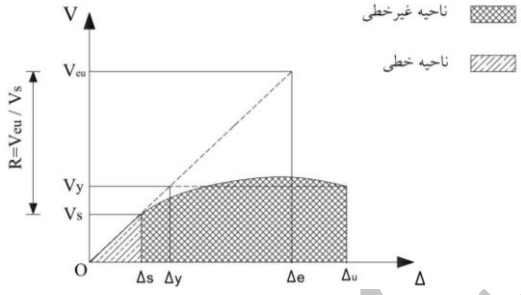
در این قسمت برای حل مشکل فوق، یک‌سری الگوی‌های بار جانبی ارائه شده است که اگر این الگوی بار جانبی با نیروهای جانبی آیین‌نامه جمع شود و سازه براساس آن طراحی گردد، مکانیزم گسیختگی خوبی از سازه خواهیم دید.

همانطور که در شکل (2) مشاهده می‌گردد، در ناحیه خطی به دلیل حاکم بودن قانون هوک بین نیرو و تغییر مکان، مشکل خاصی برای تحلیل‌های خطی وجود ندارد و نتایج تحلیل‌ها از دقت بالایی برخوردار می‌باشند، اما مشکل اساسی در تحلیل‌های خطی در هنگام وقوع زلزله و با ورود سازه‌ها به ناحیه غیرخطی، به‌وجود می‌آید. چراکه در این ناحیه دیگر قانون هوک بین نیرو و تغییرمکان برقرار نمی‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

در نتیجه این تحلیل‌ها برای بررسی رفتار واقعی سازه پس از آغاز تسلیم مناسب نیستند و انجام آنالیزهای غیر خطی برای مشخص ساختن شکل‌های شکست سازه و فروریزش آن ضروری می‌باشد. در تحلیل‌های خطی با اعمال ضریب رفتار، نیروهای جانبی را کاهش داده و سازه را با فرض رفتار خطی، تحلیل و طراحی می نمایند. در این تحلیل انتظار می‌رود قسمت عمده نیروهای زلزله با ورود اعضاء سازه به ناحیه غیرخطی و استهلاک انرژی در این ناحیه، تحمل گردد.



شکل (2) : محدوده خطی و غیرخطی در منحنی ظرفیت سازه

به‌دلیل ماهیت خطی تحلیل مورد استفاده جهت طراحی، عملاً در ناحیه غیرارتجاعی که ناحیه‌ای بسیار بزگتر از مرحله ارتجاعی می‌باشد، هیچ گونه اطمینانی از استهلاک انرژی وجود ندارد. آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای برای رفع این مشکل، یک‌سری ضوابط تجویزی، ارائه داده‌اند و به‌صورت دقیق برای آن راهکاری ارائه ننموده‌اند. البته در آیین‌نامه‌هایی که برپایه طراحی براساس عملکرد می‌باشند، این مشکل وجود ندارد. چرا که تحلیل مورد استفاده در این روش، تحلیل‌های غیرخطی می‌باشد و رفتار سازه را پس از ورود به مرحله غیر خطی را به خوبی ارزیابی می‌نماید.

شکل‌پذیری سازه، مهم‌ترین عامل جذب انرژی زلزله در ناحیه غیرخطی، می‌باشد. از آنجایی که پارامتر شکل‌پذیری تعاریف مختلفی دارد، در این قسمت ابتدا به تعاریف سطوح مختلف شکل‌پذیری پرداخته شده است. پارامتر شکل‌پذیری را می‌توان به چهار دسته شکل‌پذیری مصالح[1]، شکل‌پذیری مقطع عضو[2]، شکل‌پذیری عضو[3] و شکل‌پذیری کل سازه[4] تقسیم نمود [9].

منظور از عبارت شکل‌پذیری به‌کار رفته در این تحقیق شکل‌پذیری در رفتار کلی سازه می‌باشد. هرچند باید توجه داشت که، برای این‌که سازه بتواند شکل‌پذیر باشد بایستی اعضاء، اتصالات، مقاطع و مصالح به‌کار رفته شده در آن شکل‌پذیر باشند.

[1] Material ductility
[2] Cross-section ductility
[3] Member ductility
[4] Structure ductility

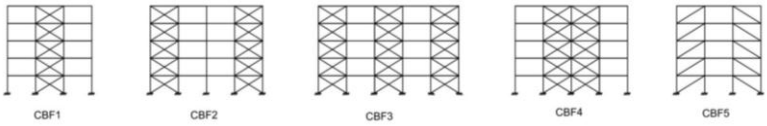
Archive of SID
www.SID.ir

4. مشخصات مدل‌سازی

جهت دستیابی به اهدافی که در بخش مقدمه بیان گردید، در این مطالعه 5 نوع پیکربندی از قاب‌های مهاربندی که دارای طول دهانه‌های متفاوت 5 ،5/5 ، 6 و 6/5 متر بوده و دارای تعداد طبقات مختلف 4، 6، 8، 10 و 12 طبقه در مجموع 125 عدد قاب دوبعدی مورد بررسی قرار گرفتند. سازه‌های مورد بررسی، در ابتدا به کمک نرم‌افزار ETABS [10] مدل‌سازی و بارگذاری شده‌اند و سپس مورد تحلیل و طراحی قرار گرفته‌اند و در پایان به کمک تحلیل استاتیکی غیرخطی، به ارزیابی آن‌ها پرداخته شده است.

4-1 مشخصات مدل‌سازی، تحلیل و طراحی قاب‌های مورد مطالعه

قاب‌های مدل شده بسته به نوع پیکربندی، طول دهانه و تعداد طبقات به اختصار نام‌گذاری شده‌اند. پیکربندی‌های مختلف که در مطالعه حاضر جهت مدلسازی مورد استفاده قرار گرفته در شکل (3) نمایش داده شده است.



شکل (3) : سازه‌های مورد مطالعه در تحقیق حاضر

نحوه نام‌گذاری مدل‌ها بدین صورت می‌باشد که به‌طور مثال قابی با نام اختصاری CBF4-B5.5-S6 قابی است دوبعدی از یک سازه با سیستم باربر جانبی مهاربندی با پیکربندی 1، طول دهانه‌ها برابر 5/5 متر و 6 طبقه می‌باشد.

در تمامی قاب‌های مورد مطالعه، اتصال تمامی تیرها به ستون‌ها از نوع مفصلی (ساده) می‌باشد وتکیه‌گاه‌های ستون در تراز پایه، به‌صورت گیردار می‌باشد.

4-2 مشخصات فولاد مصرفی و نیمرخ‌ها

نیمرخ هندسی اعضای سازه‌ای در تیرها از نوع I شکل و در مهاربندها و ستون‌ها از نوع قوطی می‌باشند. و نوع فولاد مصرفی از نوع ST37 می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که مقاطع اعضا به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که الزامات آیین‌نامه‌ای مربوط به شرایط فشردگی لرزه‌ای را برآورده سازند.

4-3 بارگذاری

در بخش بارگذاری، بارهای وارد بر سازه به دو بخش بارهای ثقلی و بارهای جانبی که ناشی از زلزله می‌باشند، دسته‌بندی می‌شوند.

در بارگذاری ثقلی سازه‌ها، بار مرده و زنده کفها به ترتیب 5 و 2 کیلوپاسکال درنظر گرفته شده است [11]. که این مقادیر بر حسب عرض بارگیر تیرها که دارای طول‌های متفاوت می‌باشند، مقادیر بار مرده و زنده مذکور به‌صورت بارخطی به تیرهای قاب دوبعدی اختصاص داده شده است.

در تحقیق حاضر نسبت شتاب مبنای طرح برابر 0/35 و نوع خاک تیپ 2 و ضریب اهمیت ساختمان برابر 1 در نظر گرفته شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

4-4 مدل‌سازی غیرخطی قاب

مفاصل پلاستیک معرف رفتار غیرخطی اعضا هستند و در نقاطی از اعضا که احتمال تجاوز نیروهای داخلی عضو از نیروهای تسلیم بیشتر است، تعریف می‌شوند [12]. برای ستون‌ها در ابتدا و انتهای آن‌ها دو مفصل پلاستیک اندرکنشی(خمشی-محوری) تعریف شد. برای اعضای بادبندی نیز فقط یک مفصل پلاستیک محوری در وسط آن‌ها در نظر گرفته شد. برای تیرهای دو سر مفصل هیچ مفصل پلاستیکی تعریف نشد. زیرا این اعضا عملاً نقشی در مقاومت جانبی قاب ایفا نمی‌کنند.

بارگذاری ثقلی و جانبی، تغییرمکان هدف و مشخصات مفاصل غیرخطی مطابق آیین‌نامه FEMA در نظر گرفته شده است.

در این تحقیق برای تحلیل غیرخطی استاتیکی سازه‌های مورد مطالعه، از الگوی توزیع بار جانبی مثلثی استفاده شده است.

مسلماً ثابت فرض نمودن الگوی بار جانبی، غیر واقعی و تقریبی است. لذا با این الگوی بار نمی‌توان تغییرات ایجاد شده در توزیع نیروهای اینرسی جانبی را که بر اثر تغییرات سختی ناشی از رفتار غیرخطی ایجاد می‌شود، مدل کرد. اما با توجه به این‌که استفاده از الگوی بار متغیر پیچیدگی خاص خود را دارد، لذا در انجام آنالیز غیرخطی استاتیکی این تقریب را پذیرفته و از الگوی بار ثابت استفاده می‌کنیم.

5. روش انجام تحقیق

هدف اصلی از این پژوهش، ارائه راهکاری برای افزایش شکل‌پذیری سازه می‌باشد که در مراحل زیر به‌صورت گام به گام همراه با یک نمونه مثال از قاب‌های مورد مطالعه، توضیح داده شده است.

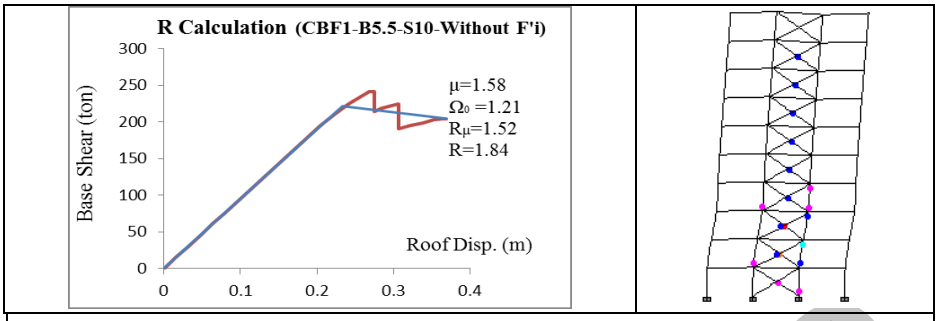
ابتدا سازه‌ها بدون رعایت ضوابط طرح لرزه‌ای آیین‌نامه‌ها طراحی شده‌اند. البته باید توجه داشت که، کلیه مقاطع به کار رفته از نوع فشرده لرزه‌ای بوده و محدودیت‌های مربوط به لاغری اعضای مهاربندی نیز مطابق آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای، رعایت شده است.

طراحی فوق به‌صورت لب مرز صورت گرفته یعنی نسبت تقاضا به ظرفیت[1] در تمامی اعضای لرزه‌بر قاب‌های مورد مطالعه، نزدیک به یک می‌باشد و برای محقق شدن این امر مقاطع متنوع و زیادی برای اعضا به‌کار گرفته شده‌اند.

در مرحله دوم، سازه طراحی شده در مرحله قبل با استفاده از تحلیل غیرخطی استاتیکی مورد ارزیابی قرار گرفته است. شکل تغییر شکل یافته قاب‌های مورد مطالعه، به همراه مفاصل پلاستیک ایجاد شده در هنگام تشکیل مکانیزم، و همچنین منحنی ظرفیت سازه[2] به‌همراه منحنی دوخطی شده و پارامترهای محاسبه شده ضریب رفتار در شکل (4) آورده شده است.

[1] DCR
[2] Capacity Curve

Archive of SID
www.SID.ir



شکل (4) : شکل تغییر شکل یافته قاب (CBF1-B5.5-S10)، به همراه منحنی ظرفیت آن

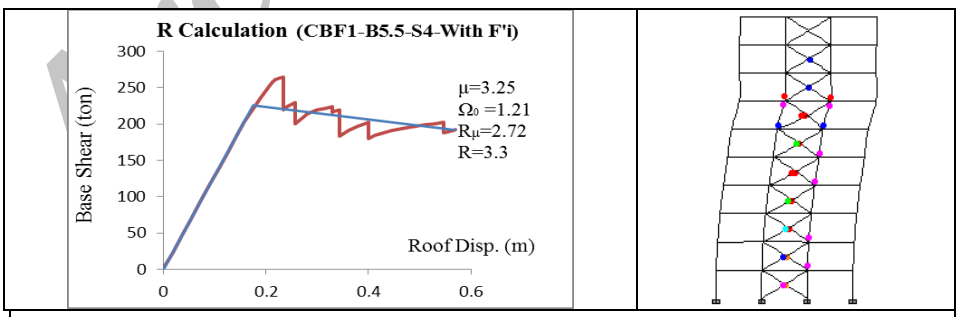
همانطور که مشاهده می‌شود تشکیل مفصل پلاستیک در ستون باعث مکانیزم زودهنگام سازه، شده است. مقاطع این ستون‌هایی که در آن‌ها مفصل تشکیل شده، به مقاطع قوی‌تر تغییر یافته و مجدداً سازه مورد تحلیل و طراحی قرار گرفته است. باید توجه داشت که مقاطع اعضای مهاربندی هیچگاه تغییر نیافته‌اند.

در این مرحله، مکانیزم گسیختگی سازه جدید، با استفاده از تحلیل غیرخطی استاتیکی ارزیابی قرار گرفته و در صورت نیاز، برای ستون‌ها مقاطع قوی‌تری منظور گردیده است.

مراحل فوق تا زمانی که مکانیزم گسیختگی سازه بهبود یابد، تکرار می‌گردد. در نتیجه، تشکیل مفاصل پلاستیک در ستون‌ها به تعویق می‌افتد و از حداکثر شکل‌پذیری مهاربندها استفاده می‌گردد.

باید توجه داشت که افزایش ابعاد ستون‌های لرزه‌بر، پس از این‌که در اعضای مهاربندهای یکی از طبقات گسیخته شوند، در بهبود عملکرد لرزه‌ای دیگر تأثیری نخواهد داشت و هرچه ستون را قوی‌تر کنیم در منحنی ظرفیت سازه تغییر قابل توجهی مشاهده نمی‌گردد و سازه در آستانه فروریزش قرار دارد.

برای سازه مورد مطالعه در این بخش، پس از تکرار مراحل فوق، در نهایت سازه‌ای با شکل تغییر شکل یافته قاب، و همچنین منحنی ظرفیتی مطابق شکل (5) به‌دست می‌آید. پارامترهای شکل‌پذیری و ضریب رفتار سازه‌ی اصلاح شده نیز در این شکل آمده است.

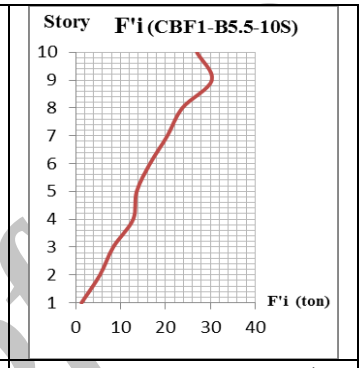


شکل (5) : شکل تغییر شکل یافته قاب (CBF1-B5.5-S10) پس از اصلاح و منحنی ظرفیت آن

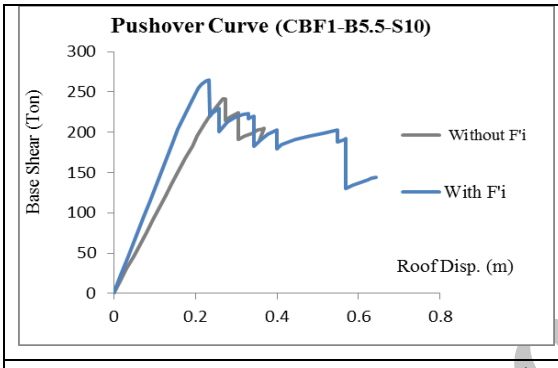
همانطور که مشاهده می‌گردد، رفتار لرزه‌ای سازه به‌طور قابل توجهی بهبود یافته و تعداد مهاربندهای زیادی وارد مرحله غیرخطی شده‌اند.

Archive of SID
www.SID.ir

حال سوالی که پیش می‌آید این است که چه مقدار و چه توزیع بار جانبی در ارتفاع ساختمان به نیروی جانبی پیشنهاد شده در آیین‌نامه‌های بارگذاری اضافه نماییم، تا به سازه‌ای مطابق شکل 5 که مکانیزم خوبی دارد برسیم.
برای یافتن این نیروی جانبی، باید از روابط و ترکیب بارهای حاکم بر طراحی ستون‌ها استفاده شود. به این صورت که با توجه به معلوم بودن مقدار ظرفیت، به مقدار تقاضا خواهیم رسید.
این نیروهای جانبی اضافی و شکل توزیع آن‌ها در ارتفاع ساختمان مطابق شکل (**5**) به‌دست می‌آید. در این تحقیق این نیروهای جانبی به اختصار با $F_i^{'}$، نشان داده شده است.



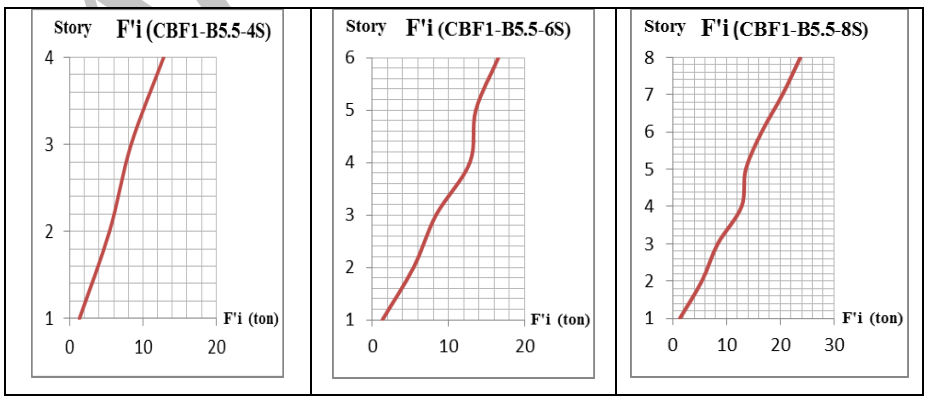
شکل (5) : نیروی جانبی اضافی برای قاب (CBF1-B5.5-S10)



شکل (6) : مقایسه منحنی ظرفیت سازه قبل و پس از اضافه نمودن بارهای جانبی($F_i^{'}$)

در شکل (6) ، منحنی ظرفیت سازه قبل و پس از اضافه نمودن این بارهای جانبی($F_i^{'}$) به بار جانبی توصیه شده در آیین نامه‌های بارگذاری آورده شده است. که همانطور که از این منحنی پیداست، ظرفیت سازه به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد.

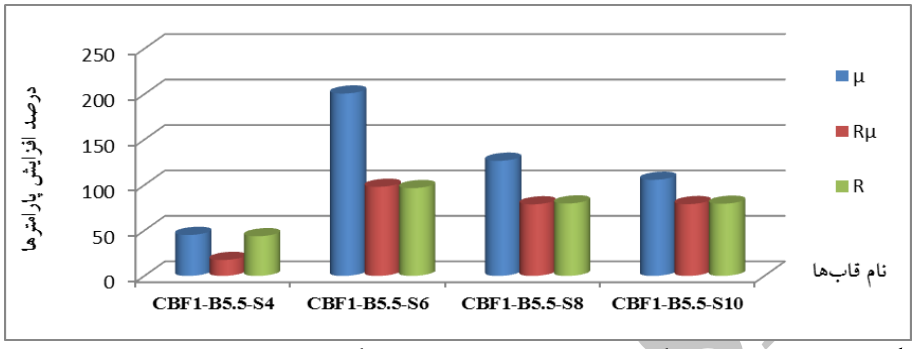
در شکل زیر توزیع نیروی جانبی اضافی($F_i^{'}$)،برای چند نمونه دیگر از قاب‌های **CBF1**، با تعداد طبقات 4،6و8 آورده شده است.



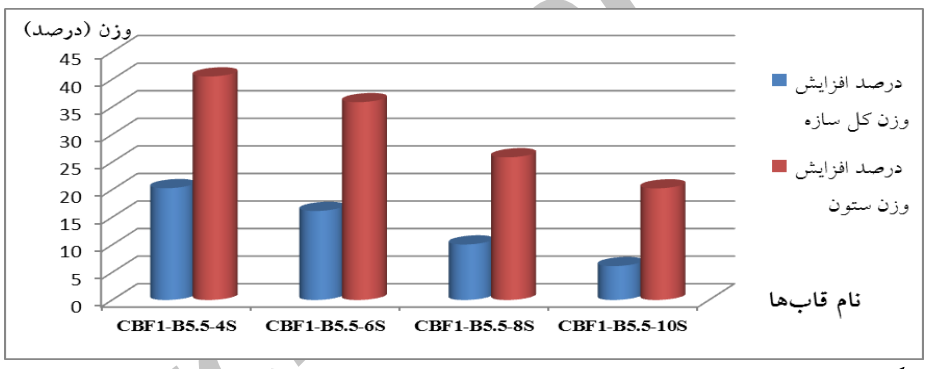
Archive of SID
www.SID.ir

6. مقایسه درصد افزایش پارامترهای ضریب رفتار و وزن سازه

در این قسمت برای مقایسه بهتر میزان افزایش در پارامترهای شکل‌پذیری، ضریب کاهش به‌دلیل شکل‌پذیری و ضریب رفتار سازه به همراه میزان افزایش در وزن سازه‌ای در شکل‌های(7)و (8) آورده شده است.



شکل (7) : درصد افزایش شکل‌پذیری، ضریب کاهش به‌دلیل شکل‌پذیری و ضریب رفتار با طراحی قاب‌ها براساس روش ارائه شده

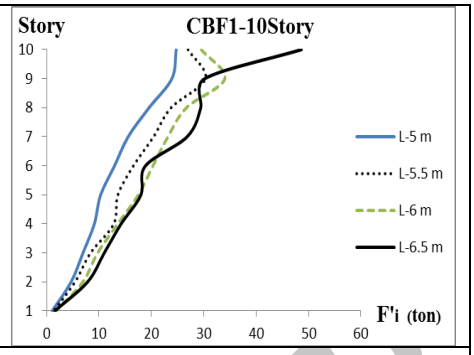


شکل (8) : درصد افزایش وزن کل سازه و همچنین وزن ستون‌ها با طراحی قاب‌ها براساس روش ارائه شده

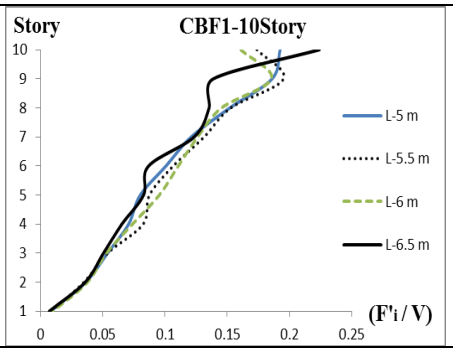
7. نتایج حاصله از مطالعات پارامتریک به دست آمده برای یک قاب با طول دهانه های مختلف

در این قسمت، نیروی جانبی اضافی(F_i')که باید به نیروهای جانبی قید شده در آیین‌نامه‌ها (F_i) اضافه گردد تا مکانیزم گسیختگی سازه بهبود یابد، برای سازه‌های با تیپ‌بندی و تعداد طبقات یکسان ولی با طول دهانه‌های متفاوت، در شکل (9) آورده شده است.

www.SID.ir



شکل (9) : مقدار و شکل توزیع بارجانبی $F_i^{'}$ برای طول دهانه‌های مختلف مهاربندی



شکل (10) : شکل توزیع بارجانبی نرمالیزه شده به برش پایه ($F_i^{'}/V$) برای طول دهانه‌های مختلف مهاربندی

چنان‌که در شکل (9) مشاهده می‌شود، این $F_i^{'}$ها برای دهانه‌های مختلف از یک تیپ، از نظر توزیع در ارتفاع سازه بسیار شبیه به‌هم می‌باشند و فقط از نظر مقدار با یکدیگر فرق می‌کنند. حال اگر مقدار $F_i^{'}$ها را برای مقایسه بهتر، نرمالیزه نماییم همانطور که در شکل (10) مشاهده می‌شود که شکل آن‌ها تقریباً برهم منطبق می‌گردد. این نرمالیزه کردن بدین‌صورت انجام می‌شود که مقدار $F_i^{'}$ها به برش پایه طراحی تقسیم می‌شوند.

8. علت استفاده از تحلیل پوش‌آور در این پژوهش

در این تحقیق برای رسیدن به اهداف مورد نظر، از تحلیل پوش‌آور استفاده شده است. با استفاده از این تحلیل، ناپیوستگی‌های مقاومتی ساختمان در ارتفاع یا در پلان مشخص می‌گردد و ایمن بودن مسیرانتقال نیرو با ملاحظه رفتار کلیه اعضای سازه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد. ولی باید توجه داشت که، بررسی رفتار و برآورد عملکرد یک سازه بایستی توسط تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی و براساس شتابنگاشت‌های معین و متناسب صورت گیرد. به‌دلیل در نظر گرفتن توأم اثرات دینامیکی نیرو و رفتار غیرخطی اعضا، به عنوان کامل‌ترین روش یاد می‌شود اما در استفاده از این روش نیز با مشکلاتی مواجه می‌شویم که کاربرد آن را غیرعملی می‌سازد که در ذیل به آن‌ها اشاره شده است:

1- حساسیت زیاد نتایج آن به دقت مدل و فرضیات حرکت زمین، که عدم توجه به آن‌ها باعث کاهش شدید دقت نتایج خواهد شد.

2- پیچیدگی زیاد این روش به‌دلیل مطابق نبودن شرایط ساختگاهی محل ثبت رکورد با محل سازه مورد بررسی و همچنین وجود عوامل متنوع بر پاسخ سازه (نظیر محتوای فرکانسی، پریود خاک، مدت زمان زلزله و...)

3- این روش تحلیل، ارتباط مستقیمی با رکورد زمین‌لرزه انتخاب شده دارد و تغییرمکان هدف به‌دست آمده از هر رکورد با سایر رکوردها متفاوت بوده و این موضوع نشان می‌دهد که تحلیل‌های زیادی برای همگرا شدن نتایج در تحلیل تاریخچه زمانی لازم می‌باشد و مستلزم صرف وقت زیاد می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

4- از جمله نواقص موجود در این روش، عدم ارائه تصویری پیوسته از رفتار سازه تحت اثر زمین‌لرزه برای بررسی از حالت الاستیک تا نقطه تسلیم و در نهایت شکست و ناپایداری سازه می‌باشد.
5- مشکلاتی که در توجیه و تفسیر نتایج حاصله ممکن است ظاهر شود و نیاز به دانش و تجربه بالا در این زمینه می‌باشد.

هر چند تحلیل پوش‌آور دارای کاستی‌هایی می‌باشد ولی باتوجه به موارد ذکر شده در فوق، پیچیدگی‌ها و نواقص تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی نیز عملاً استفاده از آن را خصوصاً در این تحقیق غیرعملی می‌سازد. از طرفی، به علت توانایی تحلیل پوش‌آور در نشان دادن موقعیت نقاطی که در آن‌ها رفتار غیرخطی مورد انتظار بوده و می‌تواند منجر به مکانیزم‌های محلی یا کلی در سازه گردد، مهم‌ترین دلیل برای استفاده در این تحقیق می‌باشد. از طرفی باید توجه داشت که کاستی‌هایی که متوجه روش تحلیل استاتیکی غیرخطی می‌باشد، متوجه روش ارائه شده در این تحقیق نیز می‌باشد.

9. تفسیر نتایج به‌دست آمده از مطالعات پارامتریک

همانطور که ملاحظه می‌شود در تمامی قاب‌های مورد بررسی، درصد افزایش وزن سازه‌ای با افزایش طول دهانه، کاهش می‌یابد. همچنین درصد افزایش وزن سازه، با افزایش تعداد طبقات ساختمان، افزایش می‌یابد.
به‌طور کلی برای این پیکربندی(CBF1)، میانگین درصد افزایش وزن برای طول دهانه‌های مختلف، برای سازه‌های 4، 6، 8، 10و 12طبقه، این مقادیر به‌ترتیب برابر است با 5/7، 10/5، 14/8، 18و 21/8 درصد.
این مساله را می‌توان اینگونه توجیه نمود که در سازه های با ارتفاع کم، بارهای ثقلی حاکم می‌باشند و با افزایش تعداد طبقات سازه، بارهای جانبی حاکم بر طرح می‌شوند و به تبع آن بارهای جانبی افزایش یافته و وزن سازه نیز افزایش خواهد یافت.

همچنین توزیع نیروی جانبی نرمالیزه شده به برش پایه طراحی($F_i^{'}/V$)، شبیه به الگوی بار مثلثی می‌باشد. این مساله را می‌توان اینگونه توجیه نمود که تحلیل استاتیکی غیر خطی از نوع تک مودی می‌باشد و شکل توزیع بارجانبی برای بارگذاری جانبی از نوع مثلثی می‌باشد در نتیجه شکل بارهای جانبی هم اجباراً از نوع مثلثی به‌دست می‌آید.
این مقادیر برای تعداد طبقات مختلف، دارای مقادیر متفاوتی است ولی در سازه‌های با تعداد طبقات یکسان، بسیار نزدیک به هم می‌باشند.

10. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این پژوهش، که بر روی سیستم‌های مهاربندی همگرا صورت پذیرفت، به نتایج زیر دست یافته شد:
1- در سازه‌های طراحی شده بدون رعایت ضوابط طرح لرزه‌ای، مکانیزم زود هنگام باعث می‌شود استهلاک انرژی به نحو مناسبی صورت نگیرد.
2- نتایج به‌دست آمده از مقایسه ضریب رفتار و پارامترهای شکل‌پذیری سازه‌های طراحی شده با روش ارائه شده در این تحقیق، نشان می‌دهد که این سازه‌ها در حین داشتن مکانیزم گسیختگی مطلوب، دارای وزن سازه‌ای کمتر

Archive of SID
www.SID.ir

از سازه طراحی شده براساس آیین نامه‌های طراحی لرزه‌ای باشد. همچنین به‌دلیل شبیه به هم بودن شکل توزیع نیروهای جانبی $F_i^{'}$، این روش قابلیت تبدیل به یک الگوی بار جانبی برای طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی همگرا را دارا می‌باشد. از طرف دیگر باید توجه داشت که روش ارائه شده در این تحقیق براساس تحلیل استاتیکی غیرخطی به‌دست آمده است لذا بدیهی است، تمام نواقصی که در این تحلیل وجود دارد، در روش ارائه شده در این تحقیق نیز وجود خواهد داشت.

مراجع

[1] Kato, B.; Nakamura, Y.; Anraku, H., (1972), "Optimum Earthquake Design of Shear Buildings", Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol.98.

[2] Ray, D.; Pister, K.S.; Chopra, A.K., (1974), Optimum Design of Earthquake-Resistant Shear Buildings, Earthquake Eng. Research Center EERC 74/3, Berkeley, Univ. of California.

[3] Takewaki, I., (2000) An Approach to Stiffness-Damping Simultaneous Optimization, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 198.

[4] Nakamura, Y.; Nakamura, T., (2000), "Inverse Reliability-Based Design of Shear Buildings Supported by Springs with Stochastic stiffness's", Probabilistic Eng. Mech., Vol. 15.

[5] Chopra, A.K., (2001), Dynamics of structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering, 2nd Edition, London, Prentice Hall Inc.

[6] Mohammadi, R.K.; E1 Naggar, M. h., (2004) Optimum Strength Distribution for Seismic Resistant Shear Buildings, International Journal of Solids & Structures, Vol. 41.

[7] Moghaddam, H.; Mohammadi, R.K.; More Efficient Seismic loading for Multi degrees of Freedom Structures, Journal of Structural Engineering, ACSE, Oct. Vol. 132, No. 3.

[8] حاجی رسولی‌ها، ایمان؛ تأثیر نحوه توزیع عوامل مقاوم در سازه بر عملکرد لرزه‌ای آن، پایان‌نامه دکترا، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف، 1384.

[9] Gioncu, V. (2000), Framed structures, ductility and seismic response, general report, Constructional Steel Research, 125-154. Antoniou, S. and Pinho, R., (2004b), "Development and Verification of Displacement-Based Pushover Procedure," Journal of Earthquake Engineering, 8 (5), pp 643-661.

[10] Computers and Structures Inc. (CSI), (2012), "ETABS Integrated Software for Structural Analysis and Design v9.7.4" Berkeley, California.

[11] مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان

[12] تقی نژاد. رامین،"طراحی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها براساس سطح عملکرد با استفاده از تحلیل پوش‌آور در Etabs & sap2000 ،کتاب دانشگاهی 1389.

Archive of SID
www.SID.ir