فصلنامه آنالیز سازه- زلزله دوره ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵

مقایسه رفتار قابهای فولادی چند طبقه با مهاربند زانویی قطری و شورون در برابر بار جانبی

سیدمهدی زهرائی*

استاد، قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساختهای مهندسی عمران، دانشکده عمران دانشگاه تهران، تهران، ایران

سعید بهرام مسجدبری

کارشناس ارشد پژوهشکده زلزله مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

mzahrai@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۰۷/۱۹

چکیده:

مهاربندها به عنوان یکی از سیستمهای شناخته شده جهت مقاومت قابها در برابر بارجانبی می باشند. چنانچه طول محدودی ازعضو شکل‌پذیر در سیستم بادبندی دارای رفتار غیرارتجاعی باشد، می توان رفتار لرزه ای کنترل شده‌تری را برای سازه فراهم نمود. یکی از سیستمهایی که این مکانیزم را فراهم می‌آورد، قابهای با مهاربندی زانوئی می باشند. در این مقاله ضمن معرفی برخی ویژگیهای این نوع مهاربند در حالات هندسی قطری و شورن، سعی شده است تا با مدلسازی قابهای چند طبقه(۵ و۸ طبقه) در نرم افزار **SAP2000**، نحوه رفتار جانبی سازه ها مورد بررسی قرار گیرد. با استفاده از معیارهایی همچون تغییرمکان هدف، منحنی ظرفیت(نیرو-تغییرشکل)، نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک و مقاطع طراحی شده قابهای نمونه، عملکرد بهترقابهای مهاربندی زانوئی حالت شورن ناشی از میرایی بیشتر به‌خاطر کاربرد جفت عضو زانوئی در مقایسه با حالت قطری نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصله در حالت مهاربندی شورون با افزایش ارتفاع (از۵ طبقه به۸ طبقه) جابجایی هدف به میزان ۶۵٪ افزایش، ولی برش پایه به میزان ۱۰٪ و مقدار شتاب طیفی ۴۰٪ کاهش می یابند در صورتیکه در حالت مهاربندی قطری این افزایش جابجایی هدف به میزان ۷۰٪، ولی کاهش برش پایه به میزان ۵٪ و مقدار شتاب طیفی نیز به همان میزان ۴۰٪ می باشد.

کلید واژگان: بهینه‌سازی وزن، قاب فولادی، الگوریتم ژنتیک، تغییرمکان نسبی، تغییرمکان فوقانی

۱--مقدمه:

سختی، شکل‌پذیری ومقاومت پارامترهای مهم در نحوه پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها در برابر زلزله هستند. حالت ایده‌آل یک سازه آن است که سه فاکتور فوق را به صورت همزمان و به طور بهینه دارا باشد. سیستم‌های مهاربندی همگرا (CBF) که از سالها پیش متداول بوده اند نسبت به قاب مقاوم خمشی معادل دارای سختی بالاتر اما شکل پذیری پائین‌تری می‌باشند و به همین دلیل در زلزله‌های شدید عملکرد مناسبی از خودنشان نداده اند. برای افزایش میزان شکل پذیری سازه‌های مهاربندی شده، پوپوف در سال ۱۹۷۸ سیستم مهاربندی واگرا (EBF) را پیشنهاد نمود که به دلیل عملکرد مناسب، مورد استقبال قرار گرفت. اما این نوع مهاربند نیز نواقصی داشته از جمله اینکه تیر پیوند (Link Beam) که عامل اصلی جذب انرژی می‌باشد، بخشی از تیر اصلی است و پس از زلزله، تیر اصلی باید تعمیر و یا تعویض و سقف ترمیم گردد، لذا محققان در جستجوی روشی بوده‌اند که علاوه بر بالابردن شکل‌پذیری قابهای مهاربندی شده، نقیصه مذکور را نیز برطرف نمایند که به عنوان یکی از این روشها، سیستم مهاربند زانوئی (KBF) پیشنهاد گردید.

پیشنهاد اولیه مهاربند زانوئی (Knee-Braced-Frame) در سال ۱۹۸۶ توسط آچوا ارائه شد و از سال ۱۹۹۰ توسط محققان دیگری از جمله بالندرا، تحقیقات و آزمایشاتی بر روی این سیستم انجام پذیرفته است. همچنین در داخل ایران نیز تحقیقات عددی و آزمایشاتی بر روی این سیستم انجام شده است که از آن جمله می توان به تحقیقات عددی و آزمایشگاهی زهرائی[۱]و زهرائی و جلالی [۲] و همچنین کارهای تحلیلی- عددی مفید و لطف اللهی [۳ و ۴] بر روی نمونه مهاربندی زانوئی قطری اشاره نمود.

در این سیستم (که معمولاً به صورت همگراست) مهاربندها به واسطه عضوی فرعی موسوم به عضو زانوئی به تیر و ستون متصل می‌شوند. ایده کلی آن است که طراحی به گونه‌ای صورت پذیرد تا در زلزله‌های شدید فقط عضو زانوئی تسلیم گردد و بقیه اعضا در حالت ارتجاعی باقی بمانند و یا تعداد مفاصل پلاستیک در تیرها و ستونها و همچنین کمانش بادبندها کاهش قابل ملاحظه‌ای یابد. از مزایای این سیستم آن است که پس از وقوع زلزله‌های شدید و جاری شدن عضو زانویی، تنها با تعویض این عضو می‌توان مجدداً از سیستم استفاده نمود[۱].

از نکات مهم در طراحی این سیستم آن است که باید مشخص گردد که کدام نوع شکست (برشی یا خمشی) برای المان زانویی در نظر گرفته می‌شود. از معیارهای مهمی که مود رفتاری المان زانوئی را مشخص می‌سازد طول این عضو می‌باشد که با توجه به تجارب کارهای قبلی بالندرا، برای وقوع تسلیم خمشی توصیه شده که طول عضو زانوئی از $4M_P/V_P$ بزرگتر باشد و همچنین برای وقوع تسلیم برشی طول عضو زانوئی باید از $3.2M_P/V_P$ کوچکتر باشد که Mp و Vp به ترتیب ممان پلاستیک و برش پلاستیک عضو زانوئی هستند[۵ و ۶]. همچنین با توجه به نتایج کارهای زهرائی[۱] و نیز لطف اللهی و مفید می‌توان دریافت که مود تسلیم برشی دارای عملکرد مناسبتری نسبت به مود تسلیم خمشی می‌باشد [۳ و ۴].

میری و همکاران [۷] در سال ۲۰۰۹ رابطه بین عملکرد لرزه‌ای و پارامترهای سازه‌ای در قابهای مهاربندی زانویی را بررسی و مقایسه کردند. با طراحی قابهای با ابعاد مشابه ولی با ارتفاع متفاوت، پارامترهای لرزه‌ای مثل ضریب رفتار و سطوح عملکرد را مقایسه نمودند. فرحی و مفید [۸] در سال ۲۰۱۳ عوامل موثر بر رفتار سیستم مهاربندی شورن زانویی را طبق روند FEMA P695 و بر اساس احتمال کم خرابی سازه‌ای بررسی کردند. مقاومت افزون و شکل پذیری چنین قابهایی با تحلیلهای غیرخطی استاتیکی مطالعه گردید. زهرائی و جلالی [۹] در سال ۲۰۱۴ با بررسی آزمایشگاهی عملکرد چرخه‌ای دو نمونه قاب یک طبقه یک دهانه زانویی، مودهای خرابی، منحنی‌های هیسترزیس، شکل‌پذیری، ضریب رفتار و اتلاف انرژی را شرح دادند. حداکثر میرایی ویسکوز معادل به حدود ۲۲ تا ۲۳٪ برای دو نمونه رسید.

زهرائی [۱۰] در سال ۲۰۱۵ رفتار چرخه‌ای ۵ نمونه قابهای فولادی با مهاربند شورن دارای تیر پیوند قائم IPE (با بال باریک) را به صورت آزمایشگاهی بررسی نمود که همه نمونه‌ها شکل‌پذیری و اتلاف انرژی مناسبی نشان دادند. حداکثر زاویه تغییرشکل برشی به ۰/۱۶ رادیان، شکل‌پذیری به ۷، ضریب رفتار به ۱۱ و میرایی ویسکوز معادل به ۴۰٪ در چرخه‌های نهایی رسید. کاظم‌زاده آزاد و توپکایا [۱۱] در سال ۲۰۱۷ روشهای مختلفی برای مدلسازی عددی تیرهای پیوند را مرور کردند و نتایج مطالعه عددی عملکرد لرزه‌ای قابهای با مهاربند واگرا را بحث کردند تا جزئیات عوامل پاسخ مناسب برای طراحی چنین سیستمهایی شفاف شوند.

با توجه به نتایج تحقیقات قبلی، در این مقاله جهت مدلسازی قابهای با مهاربندی زانوئی قطری و شورن و مقایسه رفتار تحت اثر باراستاتیکی غیرخطی(push over) فرض شده است که مود تسلیم عضو زانوئی، مود برشی باشد و همچنین طول المان زانوئی از مقدار توصیه شده $3.2M_P/V_P$ بیشتر نشود. بدین منظور سازه‌های فولادی ۵ و ۸ طبقه با قابهای مهاربندی شده زانوئی در حالات هندسی قطری و شورن مورد بررسی قرار می‌گیرند. سازه‌های مورد نظر به روش استاتیکی غیرخطی و توسط نرم‌افزار SAP2000 [۱۲] مورد تحلیل قرار گرفته‌اند.

۲- فرضیات مدلسازی در نرم‌افزار SAP2000

با توجه به آنکه استفاده از سیستم مهاربند زانوئی، بر این فرض استوار است که بخشی از سازه وارد تغییرمکانهای پلاستیک بشود، لذا در روش‌های طراحی بر اساس عملکرد، عملکرد غیرخطی اجزای سازه مورد بررسی قرار می‌گیرد که در اینگونه تحلیلها تغییرمکان به جای

نیرو به عنوان مناسب‌ترین شاخص رفتار مطرح می‌شود. در روش طراحی بر اساس عملکرد، دو روش ارزیابی بر اساس منحنی نیرو- تغییر مکان شناخته شده می‌باشند. یکی از آنها روش طیف ظرفیت است که توسط فریمن ارائه شده و در[۱۳] ATC40 وجود دارد و دیگری روش ضریب تغییر مکان است که توسط کراوینکلر توسعه یافته و در دستورالعملهای FEMA273 & 356 آمده است [۱۴].

جهت به دست آوردن مقیاس‌هائی از ابعاد المانهای تیر و ستون و بادبند ابتدا دو سازه ۵ و ۸ طبقه به صورت مهاربندی ضربدری مدل شده‌اند که تحلیل و طراحی این سیستم‌ها به روش استاتیکی خطی و بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ صورت گرفته است. مقاطع تیرهای مفصلی بیش از حد متداول طراحی شده است و دلیل آن نیز بارگذاری ثقلی بر روی این تیرها می‌باشد که معمولاً این بار ثقلی در سازه‌ها بر روی قاب خمشی اعمال میگردد و به همین دلیل مقاطع ظریفتری برای تیرهای جهت مهاربندی به دست می‌آید. نکته حائز اهمیت جهت مقایسه عملکرد سیستم‌های مهاربندی ضربدری فوق با سیستم CKBF و DKBF ، تغییرات پروفیل مهاربندها می باشد که در جداول ۱و۲ این مطلب بیان شده است.

جدول(۱): تغییرات پروفیل عضو بادبندی در سازه مهاربندی ضربدری ۵ طبقه

طبقه	۱ و ۲	۳ و ۴	۵
عضو بادبند	2UNP140	2NUP120	2UNP100

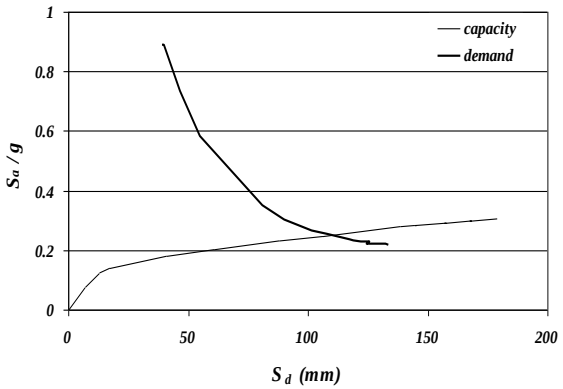
جدول(۲): تغییرات پروفیل عضو بادبندی در سازه مهاربندی ضربدری ۸طبقه

طبقه	۱ و ۲ و ۳	۴ و ۵ و ۶	۷ و ۸
عضو بادبند	2UNP160	2NUP140	2UNP120

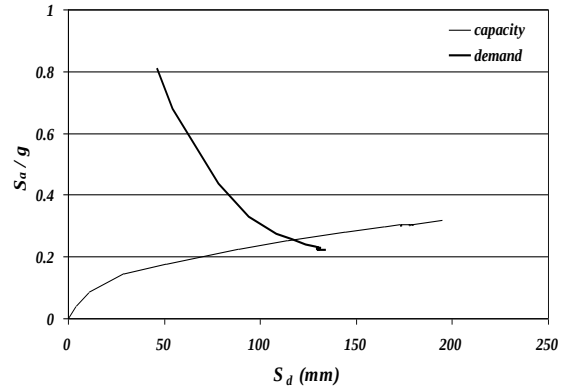
از آنجا که مود تسلیم عضو زانویی، مود برشی انتخاب شده است لذا با توجه به این موضوع و دقت در کانتورهای تنش فون میسز و تنش برشی نمونه‌های یک طبقه که از تحلیل قابهای یک طبقه با مهاربند زانویی حاصل شده است، دو نوع مفصل برشی و خمشی در پنج قسمت المان زانوئی تعریف می‌گردد [۱۴].

همچنین برای آنکه اطمینان حاصل شود که المان زانوئی پیش از المانهای اصلی وارد مرحله غیرارتجاعی گردیده و نیروی زلزله را مستهلک می‌نماید، مفاصلی نیز در محل برخورد المان زانوئی به تیر و ستون و بادبند و بر روی المانهای مذکور تعریف شده که در اشکال و جداول مربوطه که تشکیل مفاصل را نشان می‌دهند، این فرض که المانهای اصلی در محدوده ارتجاعی باقی می‌مانند تائید می‌شود.

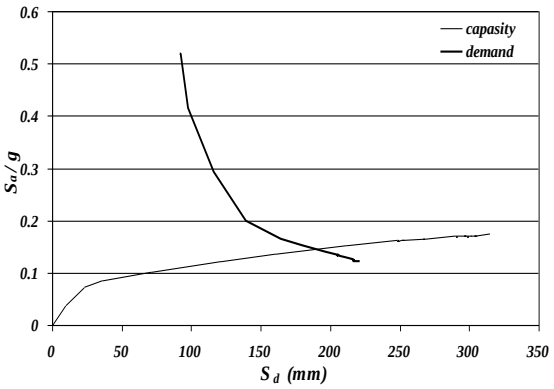
یکی از ملزومات اصلی روش تحلیل استاتیکی غیرخطی (Nonlinear Static Analysis) ، تخمین تغییرمکان هدف می باشد که یکی از روشها جهت رسیدن به این هدف، روش طیف ظرفیت می‌باشد که در برنامه‌های SAP2000 برای تعیین نقطه عملکرد از گزارش ATC40 [۱۳] استفاده شده است که باتعیین دو ضریب منطقه ای C_a , C_v به نرم افزار مذکور میزان جابجایی و برش پایه نقطه عملکرد(Performance Point) سازه به دست خواهد آمد که ضرائب مذکور از طریق آئین‌نامهUBC قابل استخراج بوده که به عنوان مثال برای شهری چون تهران بازمین نوع II مطابق استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ایران که مطابق آیین‌نامه UBC برای خاکی با پروفیل تیپ C و ناحیه لرزه‌خیزی Z=0.4 ضرائب C_a , C_v به صورت $C_a = 0.4, C_V = 0.54$ در نظر گرفته می‌شود که نتایج به دست آمده از آنالیز برای نمونه‌های مورد بررسی در ادامه آورده شده است.



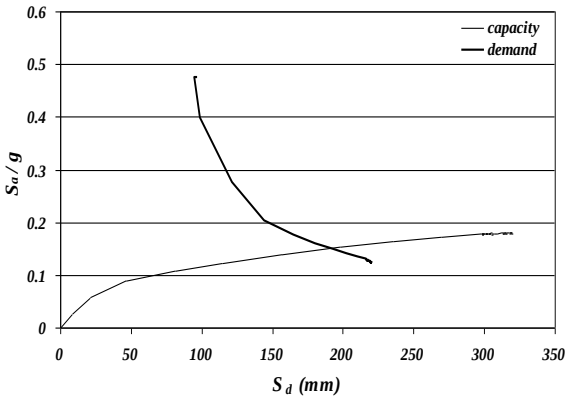
شکل (۱): طیف نیازوظرفیت نمونه(DKBF)۵طبقه



شکل (۲): طیف نیاز وظرفیت نمونه(CKBF) ۵طبقه



شکل (۳): طیف نیاز و ظرفیت نمونه(DKBF) ۸طبقه



شکل (۴): طیف نیاز و ظرفیت نمونه(CKBF) ۸طبقه

خلاصه نتایج دیاگرامهای فوق به ازای مقادیر برش پایه(V)، جابجایی هدف(D)، شتاب طیفی (S_a) و جابجایی طیفی (S_d)، در نقطه عملکرد به صورت جدول(۳) بیان گردیده که با توجه به آن می توان به نکات زیر اشاره نمود:

۱. در حالت مهاربندی شورون نسبت به حالت مهاربندی قطری، مقدار ضریب‌نیروی‌برش‌پایه و جابجایی بیشینه افزایش یافته هرچند که این افزایش (در حدود۱۰٪ افزایش برش پایه و ۵٪ افزایش جابجایی هدف)محسوس نیست

۲. در حالت مهاربندی شورون با افزایش ارتفاع (از۵طبقه به۸طبقه) برش پایه به میزان ۱۰٪ کاهش می‌یابد در صورتیکه در حالت مهاربندی قطری این کاهش برش پایه به میزان ۵٪ می‌باشد که این کاهش به دلیل آنست که با افزایش ارتفاع پریود سازه افزایش یافته و بر روی طیف پریود-شتاب در ناحیه انتهایی طیف قرار می‌گیرد که شتاب و درنتیجه نیروی برش پایه کاهش می‌یابد.

۳. در حالت مهاربندی شورون با افزایش ارتفاع (از ۵ طبقه به۸طبقه) جابجایی هدف به میزان ۶۵٪ افزایش می‌یابد در صورتیکه در حالت مهاربندی قطری این افزایش جابجایی هدف به میزان ۷۰٪ می‌باشد که این امر با توجه به افزایش ارتفاع که منجر به افزایش تغییرمکان سازه می‌گیرد امری بدیهی می‌باشد.

۴. در حالت مهاربندی شورون و قطری با افزایش ارتفاع (از۵طبقه به۸طبقه)، مقدار شتاب طیفی ۴۰٪ کاهش می‌یابد که این کاهش به دلیل آنست که با افزایش ارتفاع پریود سازه افزایش یافته و بر روی طیف پریود-شتاب در ناحیه انتهایی طیف قرار می‌گیرد که در این ناحیه شتاب کاهش می‌یابد.

جدول(۳): مقادیر برش پایه، جابجایی هدف، شتاب طیف و جابجایی طیفی در نقطه عملکرد

نمونه مورد بررسی	برش پایه (kN)	جابجایی هدف (mm)	شتاب طیفی $(\%g)$	جابجایی طیفی (mm)
CKBF(5ST)	۸۲۶/۰۴	۱۴۴/۲۱	۰/۲۵۴	۱۱۷/۱۳
DKBF(5ST)	۷۵۵/۶۰	۱۳۲/۶۵	۰/۲۵۱	۱۰۸/۵۷
CKBF(8ST)	۷۵۱/۳۰	۲۳۹/۲۵	۰/۱۵۱	۱۹۰/۶۰
DKBF(8ST)	۷۱۶/۶۱	۲۲۷/۶۱	۰/۱۴۵	۱۸۸/۵۸

۳- مدلسازی قابهای چند طبقه

هندسه کلی سازه‌های مورد بررسی جهت آنالیز استاتیکی غیرخطی(Push Over) مشابه هندسه دو سازه مورد بررسی با مهاربندی ضربدری می‌باشد با این تفاوت که مهاربند ضربدری با مهاربند زانوئی قطری و شورون جایگزین شده‌است. همچنین پروفیل مورد استفاده در المان زانوئی، مقاطع IPE120&160 می باشد که با ثابت نگهداشتن اندازه پروفیل زانوئی، تغییرات پروفیل مهاربندی مورد بررسی قرار گرفته است.

در جدول (۴) قابهای مورد بررسی به همراه برخی مشخصات مربوطه تعریف شده‌اند:

جدول(۴): مشخصات کلی قابهای با مهاربند زانوئی

عنوان	تعدادطبقات	حالت هندسی مهاربندی	پروفیل المان زانوئی
5ST(CKBF)	۵	شورون	IPE120
5ST(DKBF)	۵	قطری	IPE160
8ST(CKBF)	۸	شورون	IPE120
8ST(DKBF)	۸	قطری	IPE160

قابهای فوق با نرم افزارSAP2000 ver9.1.6 و به روش تحلیل استاتیکی غیرخطی مورد تحلیل قرار گرفته‌اند که در ادامه

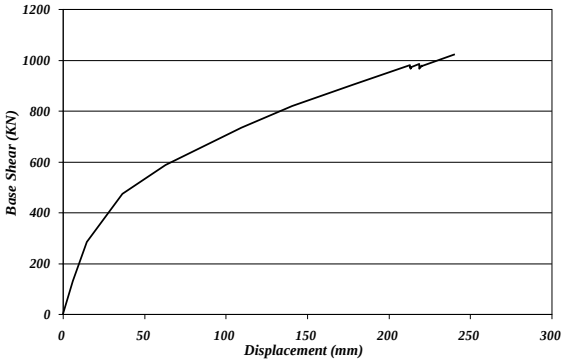
مختصری از نحوه کار و ملزومات روش پوش‌آور و نتایج به دست آمده از تحلیل قابها ارائه خواهد شد.

با توجه به مفاهیم طیف ظرفیت و مفصل پلاستیک که در صفحات قبلی به آنها اشاره گردید، در ادامه قابهایی با مشخصات مندرج در جدول۴ در نرم‌افزار SAP2000 مدل گردیده و با استفاده از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی آنالیز شده است **[۱۲]**.

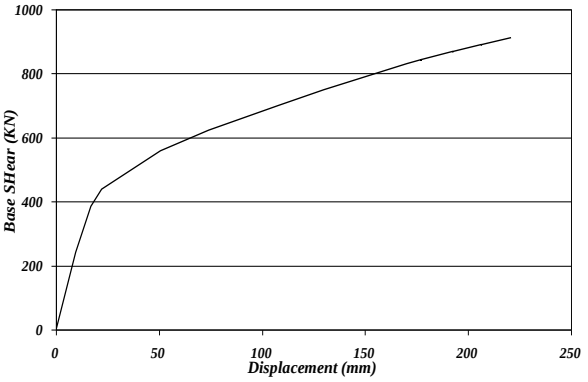
از معیارهای مقایسه عملکرد سیستمهای سازه‌ای در روش آنالیز پوش‌آور می‌توان به دو مورد عمده اشاره نمود:

۱. مقایسه منحنی ظرفیت (نیرو-تغییرشکل)
۲. مقایسه نحوه تعیین تشکیل مفاصل پلاستیک بر روی سازه

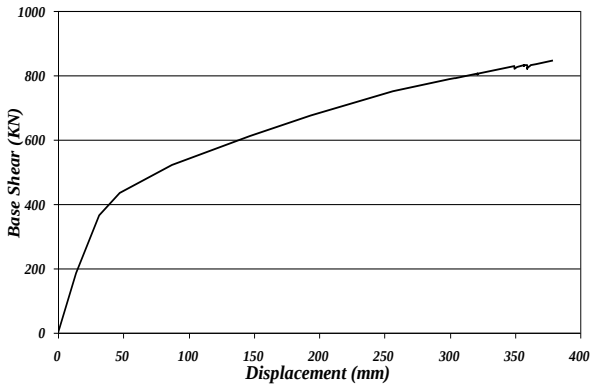
در ادامه در اشکال ۵ تا ۸ به ترتیب منحنی ظرفیت مربوط به هر قاب و نمایش تشکیل مفاصل در گام مربوط به جابجایی هدف آورده شده است که نتایج وتفسیر نکات مربوطه در خاتمه هریک از موارد مذکور آورده شده است.



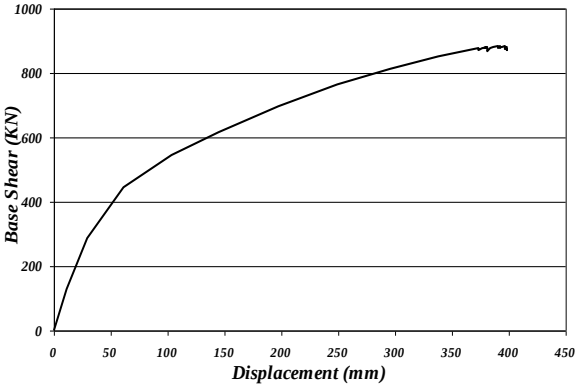
شکل (۵): منحنی ظرفیت "نیرو-تغییرشکل" قاب (CKBF) ۵طبقه



شکل (۶): منحنی ظرفیت "نیرو-تغییرشکل" قاب (DKBF) ۵طبقه



شکل(۷): منحنی ظرفیت "نیرو-تغییرشکل" قاب(DKBF) ۸ طبقه



شکل (۸): منحنی ظرفیت "نیرو-تغییرشکل" قاب(CKBF) ۸ طبقه

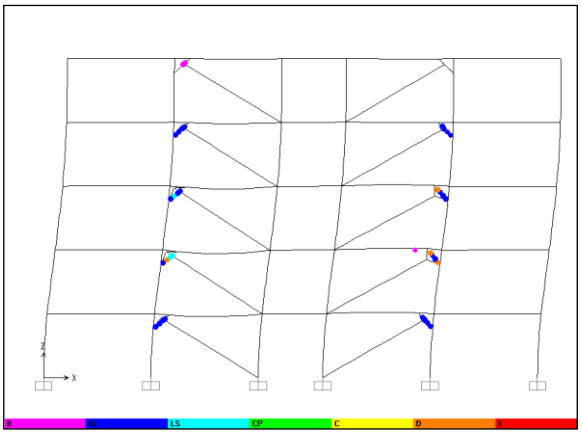
با توجه به اشکال منحنی ظرفیت هر کدام از قابها می‌توان به نکات و نتایج زیر اشاره نمود:

با توجه به منحنی‌های ظرفیت نمونه‌ها می‌توان بیان کرد که در ارتفاع یکسان (۵ طبقه یا ۸ طبقه) ، مهاربندی‌زانوئی شورن**(**CKBF**)** نسبت به مهاربندی‌زانوئی قطری**(**DKBF**)** هم برش پایه نهائی بیشتری دارد و هم دارای جابجائی بیشتری می‌باشد. در هر دو نمونه مهاربند زانوئی قطری وشورن، با افزایش ارتفاع (از ۵ طبقه به ۸ طبقه) می‌توان از روی منحنی‌های ظرفیت مشاهده نمود که برش پایه هر چند کم ولی کاهش می‌یابد که دلیل این امر افزایش پریود و قرارگرفتن سازه در ناحیه کاهش شتاب و در نتیجه کاهش برش پایه می‌باشد در صورتیکه تغییرمکان نهائی سازه به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد به طوریکه به عنوان مثال در مهاربندی زانوئی شورن، تغییرمکان نهائی در سازه ۵ طبقه حدود ۲۴ سانتیمتر و در سازه ۸ طبقه به حدود ۴۰ سانتیمتر می‌رسد که ملاحظه می‌گردد حدود ۴۰٪ به ظرفیت جابجائی سازه با افزایش ارتفاع افزوده شده است.

فاکتور مهم دیگری که از نتایج تحلیل پوش‌آور می‌توان برای تفسیر نتایج استفاده نمود توصیف نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک از خروجی‌های نرم افزار SAP2000 بوده که به دلیل حجیم بودن از

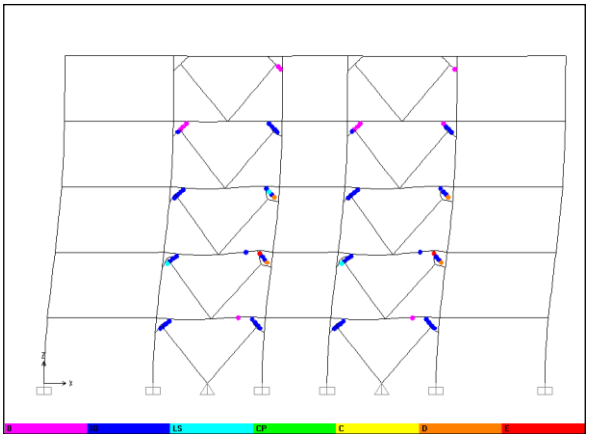
آوردن این جداول خودداری شده ولی از نتایج این جداول می‌توان به اشکال ۹ تا ۱۲ برای بیان نحوه تشکیل مفاصل اشاره نمود:

برای حالت قاب (DKBF) ۵طبقه سازه وارد مرحله پلاستیک شده (D-E) که این تشکیل مفصل از گام ۱۰ و جابجائی۱۷۷/۲۶ میلی متر آغاز شده است که نشان می‌دهد سازه تا حدود ۳۳ درصد بیش از جابجائی هدف، ظرفیت جابجا شدن را داشته است.



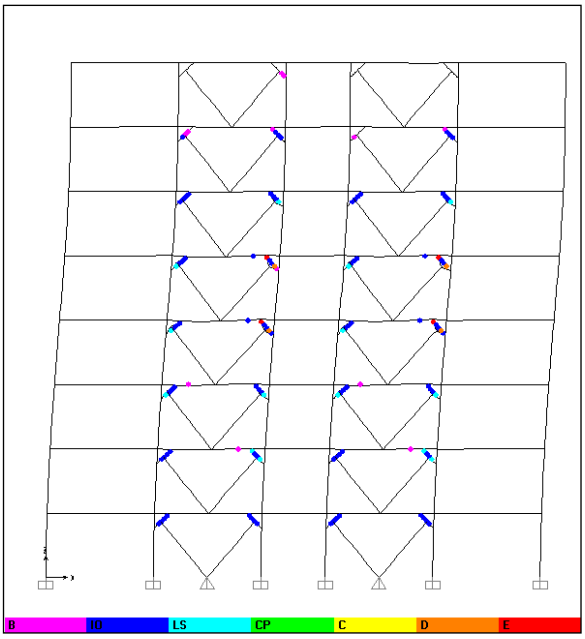
شکل (۹): نحوه تشکیل مفاصل قاب (DKBF) ۵طبقه

با توجه به شکل(۱۰)مشاهده می شود که قاب (CKBF) ۵طبقه به مرحله فرو ریزش رسیده است (E>) که این تشکیل مفصل از گام ۱۴ و جابجائی ۲۱۸/۷۳ میلی متر آغاز شده است که نشان می‌دهد سازه تا حدود ۵۰ درصد بیش از جابجائی هدف، ظرفیت جابجا شدن را داشته است.



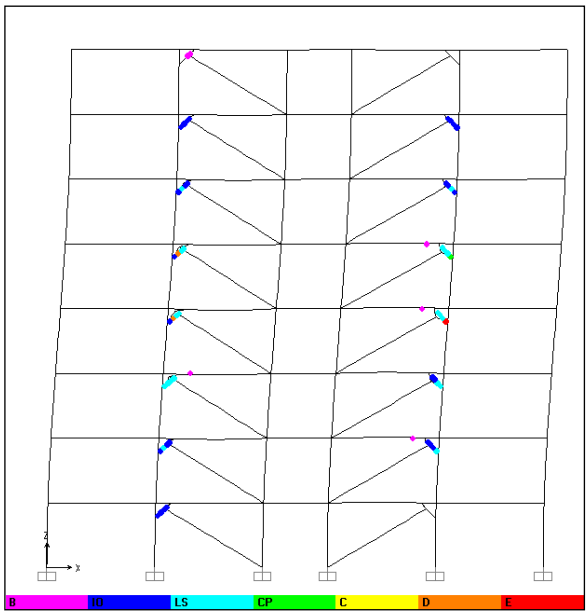
شکل (۱۰): نحوه تشکیل مفاصل قاب (CKBF) ۵ طبقه

همچنین در قاب(DKBF) ۸طبقه مشاهده می‌شود که سازه وارد مرحله پلاستیک شده (D-E) که این تشکیل مفصل از گام ۱۱ و جابجائی۳۷۳/۳۹ میلی متر آغاز شده است که نشان می‌دهد سازه تا حدود ۵۶ درصد بیش از جابجائی هدف، ظرفیت جابجا شدن را داشته است.



شکل (۱۱): نحوه تشکیل مفاصل قاب (DKBF) ۸ طبقه

در سازه (CKBF) ۸طبقه سازه وارد مرحله پلاستیک شده (D-E) که این تشکیل مفصل از گام ۱۱ و جابجائی۳۷۳/۳۹ میلی متر آغاز شده است که نشان می‌دهد سازه تا حدود ۵۶ درصد بیش از جابجائی هدف، ظرفیت جابجا شدن را داشته است.



شکل (۱۲): نحوه تشکیل مفاصل قاب (CKBF) ۸ طبقه

با توجه به این دیاگرامها می‌توان بیان کرد که همانطور که فرض شده بود المانهای اصلی (تیرو ستون و بادبند) در محدود ارتجاعی باقی مانده مشاهده می‌شود و مفاصل تعریف شده بر روی این المانها، یا اصلاً تشکیل نشده یا معدود مفاصلی هم که تشکیل شده از محدوده IO تجاوز نکرده اند.

در انتها نیز المانهای قابهای مذکور طراحی شده‌اند که با توجه به این مقاطع به دست آمده می‌توان مشاهده نمود که در قاب (CKBF)۵طبقه پروفیل المانهای مهاربندی از 2UNP120 تا 2UNP80 تغییر می‌کنند و دارای نسبت تنش کمتر از ۰/۷۵ نیز می باشند در قاب (CKBF) ۸طبقه پروفیل المانهای مهاربندی در طبقات اول تا سوم دارای پروفیل 2UNP140، در طبقات چهارم تا ششم دارای پروفیل 2UP120 و در طبقات هفتم وهشتم دارای پروفیل 2UNP80 می‌باشد که کلیه این مقاطع دارای نسبت تنش کمتر از ۰/۷۵ نیز می‌باشند که این نسبت تنش در طراحی مهاربندها، توصیه شده است این در حالیست که در قاب (DKBF) ۵و۸ طبقه در طراحی المان مهاربندی فقط از پروفیل 2UNP160 استفاده شده است که آنهم دراکثر طبقات دارای نسبت تنش بزرگتر از یک بوده که بیانگر عملکرد ضعیف سازه و به خصوص المان بادبند می‌باشد. در مورد پروفیل تیرهای مفصلی نیز باید گفت که به طور قابل محسوسی در قاب(CKBF) ۵ و ۸ طبقه مقاطع تیرها ظریفتر از قاب(DKBF) ۵و۸طبقه نظیر خود می‌باشند. همچنین با دقت در المانهای زانوئی مشاهده می‌گردد که این المانها دارای نسبت تنش بزرگتر از یک می باشند که در واقع بیانگر این مطلب است که این اعضا نقش خود را به عنوان مستهلک‌کننده انرژی ناشی از بارهای جانبی به خوبی ایفا کرده اند و فرض اصلی این روش که فقط عضو زانوئی وارد محدوده غیرارتجاعی می‌گردد، برقرار بوده است.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی شده است تا مقایسه عملکرد قابهای دو بعدی چند طبقه مهاربند زانویی قطری و شورون مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به آنکه این قابها به لحاظ عملکردی مشابه قابهای واگرا هستند و مزیتهای آنها شامل(شکل‌پذیری و سختی مطلوب) را دارا می‌باشند ولی چون عضوی که به عنوان فیوز سازه در نظر گرفته می‌شود(المان زانویی)، بخشی از قاب اصلی نمی‌باشد لذا تعویض یا تعمیر آن پس از زلزله‌های شدید به راحتی قابل انجام است. با توجه به آنکه مهاربندی شورون(Chevron) محدودیتهای معماری کمتری داشته و در مسایل اجرایی مقبولیت بیشتری داشته در این مقاله مهاربند زانویی در حالات هندسی قطری و شورن مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج به شرح ذیل می باشند:

۱. در ارتفاع یکسان هر کدام از ساختمانهای(۵ و ۸ طبقه) مهاربندی زانوئی شورن(CKBF) نسبت به مهاربندی زانوئی قطری (DKBF) دارای برش پایه نهائی و جابجائی بیشتری می‌باشد. همچنین در هر دو نمونه مهاربند زانوئی قطری وشورن، با افزایش ارتفاع (از ۵ طبقه به ۸ طبقه) بر اساس منحنی‌های ظرفیت مشاهده می‌شود که برش پایه به مقدار کمی کاهش می‌یابد در صورتیکه تغییرمکان نهائی سازه به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. به طوریکه به عنوان مثال در مهاربندی زانوئی شورن، تغییرمکان نهائی در سازه ۵ طبقه حدود ۲۴ سانتیمتر و در سازه ۸ طبقه به حدود ۴۰ سانتیمتر می‌رسد که ملاحظه می‌گردد حدود ۴۰٪ به ظرفیت جابجائی سازه با افزایش ارتفاع افزوده شده است.

۲. همانطور که فرض شده بود اعضای اصلی (تیرو ستون و بادبند) در محدوده ارتجاعی باقی بمانند مشاهده می شود که مفاصل تعریف شده بر روی این المانها، یا اصلاً تشکیل نشده یا معدود مفاصلی هم که تشکیل شده از محدوده IO تجاوز نکرده‌اند.

۳. به لحاظ مقایسه ابعاد طراحی شده می‌توان نتیجه گرفت که سیستم مهاربندی زانویی شورون (CKBF) نسبت به سیستم مهاربندی زانویی قطری(DKBF) المانها و مقاطع ظریفتری را نتیجه داده که می‌توان گفت به لحاظ صرفه‌جویی اقتصادی نیز مناسبتر می‌باشد.

۵- مراجع

۱- زهرائی. سید مهدی، (۱۳۸۸)، رفتار تیر پیوند قائم برشی در ساختمانهای فولادی، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ایران.

۲- زهرائی، سیدمهدی و جلالی، میثم (۱۳۸۶)، بررسی بهبود رفتار لرزه‌ای قابهای مهاربندی‌شده به کمک عضو شکل‌پذیر زانوئی، نشریه سازه و فولاد شماره۲ زمستان۸۶.

3- Lotfollahi M., Mofid M., "On the characteristics of new ductile knee bracing systems", Journal of Constructional Steel Research, 2006; 62: 271-281

4- Lotfollahi M., Mofid M., "On the design of new ductile knee bracing", Journal of Constructional Steel Research, 2006; 62: 282-294

5- Balendra, T., Sam, M.T., & Liaw, C.Y. "Diagonal Brace with Ductile knee Anchor for a seismic steel frame" Earthquake Engineering & structural Dynamics; 1990; 19: 847-858

6- Balendra, T., Lim E.L., & Liaw, C.Y., Lee SL "Large-Scale seismic Testing of Knee-Brace-Frame" Journal of structural Engineering; 1997; 123: 11-19

7- Miri, M., Zare, A., Abbaszadeh, H. (2009). "Seismic behavior of steel frames investigation with knee brace based on pushover analysis", International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering Vol: 3, No:2, pp. 122-128.

8- Farahi, M., Mofid, M. (2013). “On the quantification of seismic performance factors of Chevron Knee Bracings, in steel structures”, Engineering Structures, Vol. 46, pp. 155-164.
9- Zahrai, S.M., Jalali, M. (2014). "Experimental and analytical investigation on seismic behavior of ductile steel knee braced frames", Steel and Composite Structures, an Intl. Journal, Vol. 16, No. 1, pp. 1-21.
10-Zahrai, S.M. (2015). "Cyclic Testing of Chevron Braced Steel Frames with IPE shear panels", Steel and Composite Structures, an Intl. Journal, Vol. 19, No. 5, pp. 1167-1184
11-Kazemzadeh Azad, S., Topkaya, C. (2017). “A review of research on steel eccentrically braced frames”, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 128, pp. 53-73.
12-SAP2000, Software and User Manual, revision 9.1.6, 2006
13-Applied Technology Council" ATC40-Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings", 1996.
۱۴-بهرام‌مسجدبری، سعید(۱۳۸۶)، بررسی کاربرد و مقایسه عضوزانوئی در مهاربندی قطری و شورن در ساختمانهای فولادی متعارف، پایان نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده ساختمان و مسکن مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

Comparing Behavior of Steel Buildings with Diagonal & Chevron Knee Braced Frames under Lateral Loads

Seyed Mehdi Zahrai*
Professor, Center of Excellence for Engineering & Management of Civil Infrastructures, school of civil Engineering, The University of Tehran, Iran.
Saeed Bahram
M.Sc. Graduated in Earthquake Engineering, Building and Housing Research Center, Tehran, Iran
mzahrai@ut.ac.ir

ABSTRACT:

Bracing system is one of typical lateral bearing schemes in steel buildings. If just a limited length of ductile element becomes inelastic, a more controllable behavior is warranted. Knee Braced Frames, KBFs, are among such systems. In this paper, multistory frames (5 and 8-story frames) have been modeled with SAP2000 software and their lateral behavior has been studied. Meanwhile some of their properties have been introduced by using criteria such as target displacement, capacity curve (Force-Displacement), formation of plastic hinge and sample designed sections. Better lateral performance of chevron knee braced frames compared to diagonal knee braced frames has been indicated due to more knee elements and thus higher damping. According to the results of chevron knee braced frames, when the height of the structure increases (from 5 to 8 stories), the target displacement increases 65%, base-shear and spectral acceleration decrease 10% and 40% respectively, while in diagonal knee braced frames the target displacement increases 70%, base-shear and spectral acceleration decrease 5% and 40% respectively.

Keywords: Diagonal bracing, Chevron bracing, Knee element, Capacity curve, Target displacement, Plastic hinge.