



مطالعه تحلیلی رفتار لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده زانویی

سید مهدی زهرانی^۱، میثم جلالی^۲

چکیده

در قاب‌های مهاربندی شده زانویی (Knee Braced Frames) KBF یک انتهای مهاربند قطری بجای اتصال به گره اتصال تیر - ستون به عضو مورب زانویی متصل می‌شود. در واقع عضو مورب زانویی به عنوان یک میراگر هیستریزس طوری طراحی و جزئیات‌بندی می‌شود که همانند یک فیوز سازه‌ای عمل کرده و با پذیرش تغییرشکل‌های غیرالاستیک کنترل شده، ضمن استهلاک انرژی لرزه‌ای مانع از ورود سایر اعضا و اتصالات به محدوده غیرارتجاعی شود. در این مقاله اثر پارامترهای مختلف سازه‌ای بر رفتار لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده زانویی و همچنین اثر استفاده از مهاربندی زانویی دوطرفه DKBF (Double Knee Braced Frames) بر روی رفتار لرزه‌ای قاب با استفاده از روش تحلیل غیر خطی اجزا محدود بررسی می‌شود. نتایج تحقیق بیانگر ضعف سیستم DKBF نسبت به قاب‌های KBF و همچنین کارایی قاب‌های KBF در قاب‌های مفصلی می‌باشد.

کلمات کلیدی:

مهاربندی زانویی، استهلاک انرژی، بهسازی لرزه‌ای، تحلیل غیرارتجاعی، مهاربندی زانویی دوطرفه

Analytical Study of Seismic Behavior of Knee-Braced Frames

Seyed Mehdi Zahrai, Meysam Jalali

ABSTRACT

In Knee-Braced Frames, KBF, one end of diagonal brace is connected to knee element rather than the beam-column joint. In fact, knee element as a hysteretic damper is designed and detailed to behave like a structural fuse such that by sustaining controlled inelastic deformations and dissipating seismic energy, other members and connections would remain elastic. In this paper, the impact of different structural parameters on the behavior of KBF and also the situation of using DKBF (Double Knee Braced Frames) are studied using nonlinear finite element analysis. The results of this research show efficiency of using KBF in simple framing structures and some drawback of using DKBF compared to KBF.

Key words:

Knee-Braced Frames, Energy Dissipation, Seismic Retrofit, Inelastic Analysis, Double Knee Braced Frames

۱. استادیار قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌ها، دانشکده عمران دانشگاه تهران mzahrai@ut.ac.ir
۲. دانشجوی دکتری عمران گرایش سازه و مدرس دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود mei_jalali@yahoo.com

۱- مقدمه

یکی از سیستم‌های باربرجانبی متداول در سازه‌های فولادی، سیستم قاب مهاربندی شده می‌باشد که در کشور ما نیز به طور گسترده‌ای از آن استفاده می‌شود. در سازه‌های مهاربندی شده هم محور از نوع ویژه (Special Concentrically Braced Frames-SCBF) عضو شکل‌پذیر یا کنترل شونده توسط تغییر مکان (Displacement Controlled)، مهاربند می‌باشد و سایر اعضا سازه کنترل شونده توسط نیرو (Force Controlled) بوده و انتظار رفتار غیرارتجاعی در آنها نمی‌رود.

اگر محدوده کنترل شونده توسط تغییر مکان به یک فاصله کوچک محدود شود ضمن استفاده از شرایط کلی آن (مثل سختی و شکل‌پذیری مناسب) می‌توان رفتار لرزه‌ای کنترل‌شده‌تری را فراهم کرد، چراکه ناحیه غیرارتجاعی محدود به یک المان کوتاه می‌شود. سیستم بادبندی برون‌محور (Eccentrically Braced Frames-EBF) که توسط Popov و همکارانش در دانشگاه برکلی کالیفرنیا معرفی شد [۱]، علاوه بر دارا بودن سختی بالا در ناحیه خطی، از شکل‌پذیری مناسبی نیز برخوردار می‌باشد. در قاب‌های مهاربندی شده برون‌محور به دلیل اینکه تیرهای پیوند بعنوان المانهای شکل‌پذیر (کنترل‌شونده توسط تغییر مکان)، بخشی از اعضای اصلی سازه (تیرها) می‌باشند، لذا امکان تعویض سریع و کم‌هزینه این اعضا بعد از وقوع یک زلزله شدید وجود ندارد.

سیستم دیگری که علاوه بر دارا بودن محاسن سیستم بادبندی خارج از محور، فاقد مشکلات آن می‌باشد، سیستم بادبندی زانویی (KBF) است. این سیستم که توسط Balendra و همکارانش معرفی شد [۲]، در واقع اصلاح شده سیستم دیگری با عنوان سیستم بادبندی زانویی تعویض پذیر است که قبلاً توسط Aristizabal و ochoa ارائه گردیده بود [۳]. در این نوع مهاربندی حداقل یک انتهای مهاربند بجای اتصال به گره محل برخورد تیر و ستون به المان زانویی متصل می‌شود. از مزایای قابل توجه این سیستم می‌توان به تعویض پذیری سریع عضو زانویی (عضو شکل‌پذیر یا کنترل شونده

توسط تغییر مکان) بعد از زلزله اشاره نمود، همچنین این سیستم هم برای طراحی در سازه‌های جدید هم برای بهسازی لرزه‌ای سازه‌های مهاربندی موجود قابل استفاده می‌باشد [۴ و ۲]. قاب KBF که المان زانویی در هر دو طرف مهاربند قطری قرار دارد، DKBF نام دارد. Balendra [۴] مطالعاتی را در مورد اثر پارامترهای مختلف بروی سختی این سیستم‌ها انجام داده است، که شامل بررسی اثر طول عضو زانویی، سطح مقطع مهاربندی قطری و ممان اینرسی المان زانویی روی سختی الاستیک DKBF می‌باشد. نتایج بررسی‌های ایشان نشان دهنده عملکرد نامطلوب این قابها نسبت به قاب‌های KBF در ناحیه عملکرد الاستیک می‌باشند. در این مقاله برخی از پارامترهای موثر در رفتار لرزه‌ای این سیستم‌ها بررسی می‌شوند که شامل این مواردند:

الف) بررسی اثر سخت‌کننده‌های جان و حضور قاب خمشی روی سختی و مقاومت KBF،
ب) محاسبه استهلاک انرژی عضو زانویی در مقایسه با کل انرژی وارده به قاب و مقایسه آن در حالت‌های مختلف.
ج) مقایسه رفتار چرخه‌ای KBF و DKBF (حالتی که المان زانویی در دو طرف مهاربندی قطری قرار دارد).

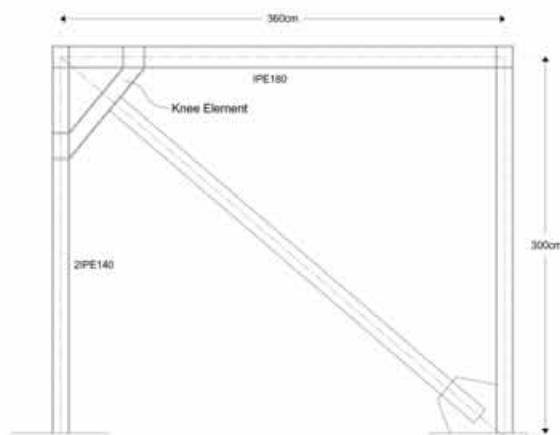
۲- مطالعه عددی KBF ها

به منظور بررسی تأثیر مهاربندی زانویی در بهبود عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی مطالعه‌ی عددی روی چند نمونه قاب یک طبقه یک دهانه با مشخصات کلی نشان داده شده در شکل (۱)، با استفاده از نرم‌افزار ANSYS انجام شده است [۵]. از آن جا که طراحی یک قاب یک طبقه یک دهانه بر اساس بارهای واقعی معمولاً مقاطع کوچکی را برای اعضاء سازه‌ای نتیجه می‌دهد، تصمیم گرفته شد که با پیش فرض کردن مشخصات مهاربندی زانویی (تیر پیوند)، سایر اعضاء متناسب با ظرفیت برشی تیر پیوند طراحی شوند.

همچنین روند طراحی KBFها مشابه با روند مقررات لرزه‌ای AISC Seismic provisions 1997 [۶] برای طراحی EBFها انتخاب شده است.

۳- روش طراحی

یک قاب یک طبقه مطابق شکل (۱) طوری بارگذاری جانبی شد که نیروی برشی قسمت جاری شونده عضو زانویی به مقدار متناظر تسلیم برسد. سپس به منظور طراحی مهاربند، تیر وستونها که از آنها انتظار میرود بطورالاستیک عمل کنند، نیروهای آنها در ضرایب سخت شدگی کرنش متناظرشان ضرب شد. و این اعضا برای این نیروها طراحی شدند.



شکل (۱): هندسه عمومی قابها

مشخصات تکمیلی نمونه‌ها در جدول (۱) آورده شده است. نمونه‌ها به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که بتوان تأثیر عواملی همچون نوع اتصالات و سخت کننده‌های جان عضو زانویی را مورد بررسی قرار داد، وضعیتهای A و B برای سخت کننده‌ها در ادامه توضیح داده می‌شود.

جدول (۱): مشخصات نمونه‌ها برای مطالعه عددی

نمونه	نوع اتصال	مهاربندها	سخت کننده‌ها
KBF1	صلب	2 UNP120	B
KBF2	صلب	2 UNP120	A
KBF3	مفصلی	2 UNP120	A

در وضعیت A علاوه بر سخت کننده‌های محل اتصال تیر-ستون، زانویی-ستون و زانویی-تیر، در طول قطعه زانویی سخت کننده‌هایی متناسب با ضوابط AISC-Seismic provisions قرار داده شد [۷]. در وضعیت B در قطعه

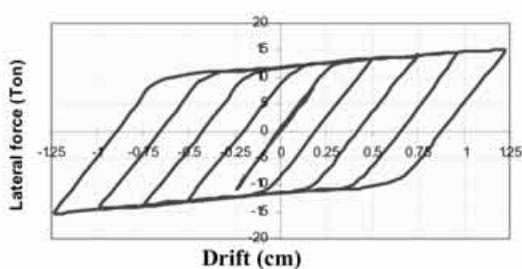
بالایی و پایینی زانویی سخت کننده‌ای قرار ندارند. از آنجایی که وجود نیروی محوری کششی در عضو زانویی باعث کاهش ظرفیت برشی آن می‌شود، لذا زاویه بین المان زانویی و مهاربندی قطری به صورت قائمه در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب مهاربندی قطری باعث تولید نیروی محوری در عضو زانویی نخواهد شد.

۴- مدل تحلیلی

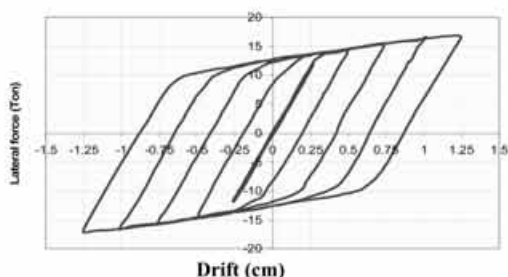
از المان SHELL43 برای مدل‌سازی المان زانویی و نواحی اطراف آن استفاده شده است. این المان برای مدل کردن سازه‌های پوسته‌ای نه چندان ضخیم مناسب می‌باشد و در هر گره شش درجه آزادی دارد: سه درجه آزادی انتقالی و سه درجه آزادی دورانی. به علاوه این المان قابلیت در نظر گرفتن پلاستیسیته، خزش، سخت شدگی تنش، تغییر شکل‌های بزرگ و کرنش‌های بزرگ را دارد. بخش‌های باقی مانده از سازه شامل ستون‌ها، بخشی از تیر و بادبند با استفاده از المان BEAM24 مدل شده‌اند. المان BEAM24 المانی تک محوره است که می‌تواند دارای هر شکل مقطعی (اعم از باز یا بسته) باشد. این المان توانایی تحمل فشار، کشش، خمش و پیچش را دارد. در هر گره شش درجه آزادی دارد: سه درجه آزادی انتقالی و سه درجه آزادی دورانی. همچنین توانایی مدل کردن پلاستیسیته، خزش و تورم (افزایش ابعاد) را در جهت محوری برای هر شکل مقطع دلخواه دارا می‌باشد. به علاوه اثرات سخت شدگی تنش، تغییر شکل‌های بزرگ و تغییر شکل‌های برشی برای این المان لحاظ می‌شوند. مقطع عرضی این المان توسط یک سری از قطعات مستطیلی شکل تعریف می‌شود و جهت تیر حول محور طولیش توسط گره سومی تعریف می‌شود [۵]. در محل اتصال المانهای خطی به المان‌های صفحه‌ای صفحات انتهایی صلبی قرار داده شد و هر دو نوع المان به این صفحات صلب متصل شدند. با این کار درجات آزادی کلی سازه بطور چشمگیری نسبت به حالتی که کل قاب با المانهای صفحه‌ای مدل شود، کاهش می‌یابد و در نتیجه با کاهش قابل ملاحظه زمان تحلیل

۵- پاسخ هیستریزس قابها

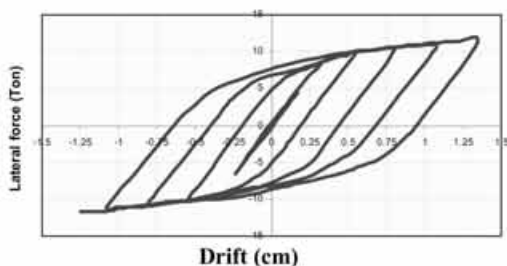
نمونه‌ها تا پنج برابر تغییر مکان تسلیمشان بارگذاری شدند. برای بررسی تأثیر سخت کننده جان در عضو زانویی، نمونه KBF1 مشابه با نمونه KBF2 انتخاب شده است با این تفاوت که جان مهاربندی زانویی در نمونه KBF1 فاقد سخت کننده می‌باشد. با مقایسه رفتار چرخه‌ای این دو قاب در شکل‌های (۴) و (۵) مشخص می‌شود دو قاب دارای عملکرد بسیار مشابهی بوده‌اند و در واقع ناپایداری چندانی در جان مهاربندی زانویی نمونه KBF1 اتفاق نیفتاده است.



شکل (۴): منحنی هیستریزس قاب KBF 1



شکل (۵): منحنی هیستریزس قاب KBF 2

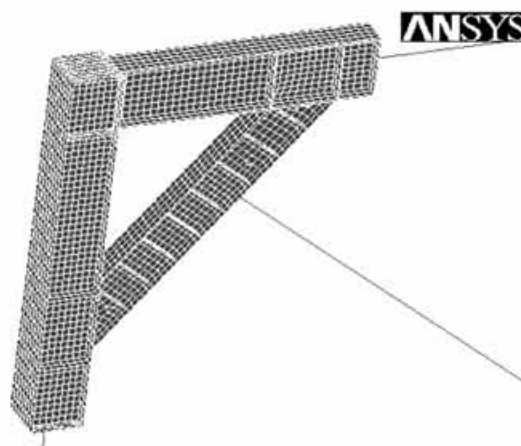


شکل (۶): منحنی هیستریزس قاب KBF 3

به‌خوبی روشن می‌شود که سخت‌کننده‌های جان علاوه بر کمک در پایداری جان عضو زانویی، روی افزایش ظرفیت باربری مهاربندی زانویی و همچنین مقدار تغییر شکل‌های نهایی تأثیرگذار بوده‌اند. لازم به توضیح است که مدل

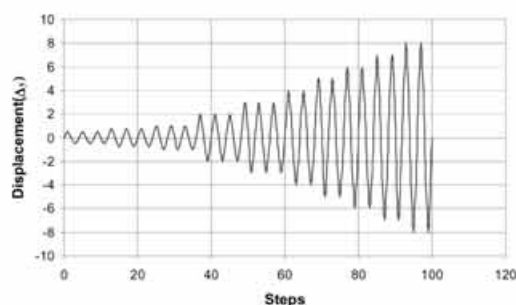
غیرخطی، مشکلات همگرایی در زمان تحلیل نیز کمتر رخ می‌دهد [۷] (شکل ۲). برای کل مدل، رفتار مصالح به صورت غیرارتجاعی در نظر گرفته شده‌اند، هر چند که وقوع تسلیم در نواحی دور از المان زانویی محتمل نیست. مدل پلاستیسیته بر اساس معیار تسلیم فون میسز و قانون سیلان مربوطه می‌باشد. فرضیات اصلی در ایده‌آل سازی مشخصات مصالح عبارتند از:

$$E=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2, F_y=2500 \text{ kg/cm}^2, F_u=3700 \text{ kg/cm}^2,$$



شکل (۲): المان‌بندی عضو زانویی و نواحی اطراف آن برای مطالعه عددی

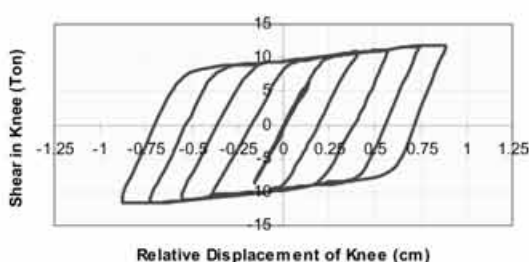
نمونه‌ها تحت اثر بارگذاری چرخه‌ای در تراز طبقه به صورت جابجایی جانبی قرار گرفته‌اند. بارگذاری چرخه‌ای شبه استاتیکی مطابق با پیشنهاد AISC Seimic provisions 1997 در نظر گرفته شده است (شکل ۳).



شکل (۳): بارگذاری چرخه‌ای AISC-LRFD 1997

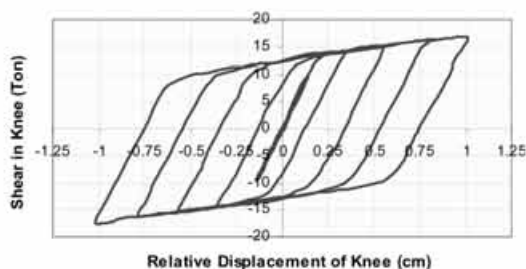
ناپایداری می‌شود و این امر تحلیل عددی را بسیار زمان‌بر می‌سازد.

به منظور بررسی بیشتر رفتار عضو زانویی و محاسبه استهلاک انرژی المان زانویی در مقایسه با کل قاب، منحنیهای هیستریزس مربوط به المان زانویی بصورت نیروی برشی در المان زانویی در مقابل تغییر مکان نسبی دو سر آن تهیه و ترسیم شد. در اشکال (۹) و (۱۰) منحنیهای هیستریزس نیروی برشی - تغییر مکان نسبی قابهای KBF1 و KBF2 نشان داده شده است.



شکل (۹): رفتار هیستریزس برش - تغییر شکل قطعه بالایی

المان زانویی قاب KBF1



شکل (۱۰): رفتار هیستریزس برش - تغییر شکل قطعه بالایی

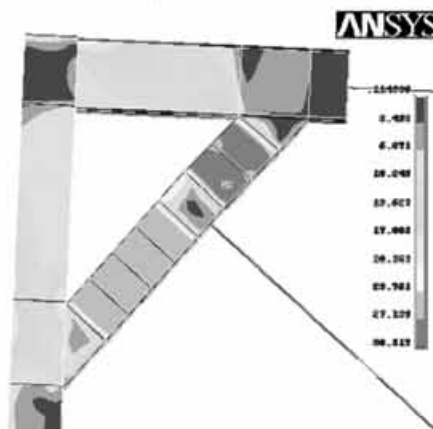
المان زانویی قاب KBF2

به استثنای KBF4 که در آن به علت لاغر بودن و کماتش مهاربندها تحلیل عددی متوقف شده است، مهاربندی زانویی در کلیه حالات به خوبی توانسته است منحنیهای هیستریزس پایداری ایجاد نماید (منحنی مربوط به KBF3 نمایش داده نشده است).

تحلیلی توانایی بررسی ناپایداری جان عضو زانویی را ندارد. شکل‌های (۷) و (۸) کانتور نمونه تنش معادل فون میسر در سیکل آخر بارگذاری برای نمونه‌های KBF1 و KBF2 را نشان می‌دهند (واحدها kg/mm^2).



شکل (۷): منحنیهای هم تنش فون میسر KBF1



شکل (۸): منحنیهای هم تنش فون میسر KBF2

تأثیر نوع اتصال تیر به ستون از مقایسه اشکال (۵) و (۶) قابل استنتاج است. قاب KBF2 به ظرفیت باربری بیشتری نسبت به قاب KBF3 رسیده است، ضمن این که حلقه‌های چرخه‌ای مربوط به قاب KBF2 با شیب بیشتری رشد پیدا می‌کنند. این اختلاف به خاطر وجود اندرکنش قاب و زانویی در نمونه KBF2 می‌باشد. اما در صورتی که طول زانویی کوتاه‌تر انتخاب شود، می‌توان از اثرات منفی وجود اتصال مفصلی بین تیر و ستون کاست. باید توجه داشت که وجود مهاربند لاغر باعث وقوع

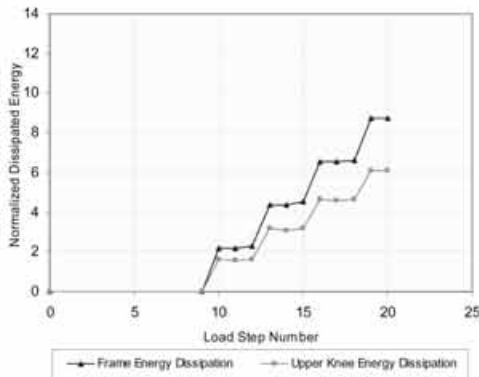
۶- میزان انرژی مستهلک شده

در شکل‌های (۱۱) تا (۱۳)، نمودار استهلاک انرژی در قاب‌های زانویی KBF1، KBF2 و KBF3، نشان داده شده است. محور افقی نمودار، سیکل‌های بارگذاری و محور قائم آن میزان استهلاک انرژی نرمالیزه شده می‌باشد. برای نرمالیزه نمودن استهلاک انرژی میزان انرژی مستهلک شده بر حاصلضرب نیروی تسلیم برشی قاب در جابجایی تسلیم قاب تقسیم شد [۸]. همانطور که مشاهده می‌شود، تقریباً بین ۷۰ تا ۷۸ درصد انرژی بوسیله قطعه بالایی از عضو زانویی مستهلک شده است. بررسی منحنی‌های هم تنش فون میسر نشان می‌دهد سایر المان‌ها، بجز المان زانویی، الاستیک باقی مانده‌اند، و صرفاً المان زانویی وارد ناحیه غیرخطی شده است [۷].

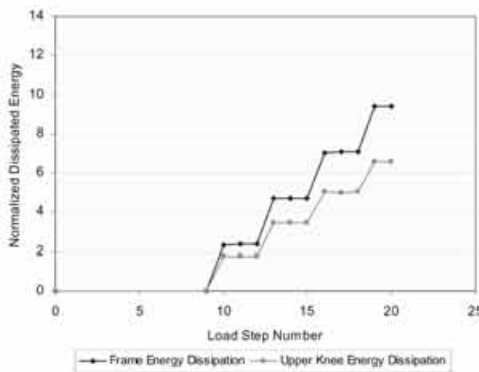
بنابراین با توجه به اختلاف قابل توجه مابین کل انرژی مستهلک شده توسط قاب و انرژی مستهلک شده توسط قطعه بالایی می‌توان انتظار داشت که بخش عمده این اختلاف مربوط به تسلیم قطعه پایینی عضو زانویی باشد. منحنی‌های هم تنش نیز وقوع تسلیم در قطعه پایینی را تأیید می‌کنند [۷]. لازم به توضیح است در KBF1 که سخت کننده‌های جان وجود ندارند وقوع مواردی همچون کماتش موضعی جان عضو زانویی بسیار محتمل است.

به منظور بررسی پدیده کماتش در نرم افزار ANSYS می‌بایست قبل از اعمال بارگذاری، تغییر مکان بسیار کوچکی منطبق با مد کماتش واقعی سازه مورد بررسی، به سازه وارد نمود [۵]. بنابر این باید وضعیت تغییر شکلی مد کماتشی محتمل در دسترس باشد تا با اعمال آن بر سازه در واقع سازه با نقص اولیه مدل شود. با این کار وقوع کماتش در المانها قابل مشاهده خواهد بود. اما چنانچه مد کماتشی محتمل (که در واقع وضعیت واقعی سازه کماتش یافته را نشان می‌دهد) به درستی به سازه اعمال نشود، سازه در یک مد مجازی کماتش خواهد کرد. بهترین کار برای یافتن مد کماتشی واقعی استفاده از نتایج آزمایشگاهی می‌باشد. در بررسی رفتار قاب‌های KBF در ANSYS صرفاً برای ملحوظ کردن کماتش احتمالی عضو

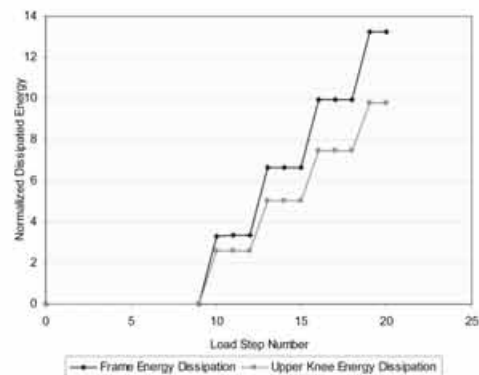
مهاربندی بارگذارهای جانبی بسیار کوچکی عمود بر صفحه قاب وارد شد چرا که مد کماتش احتمالی مهاربند نیز تقریباً بر همین تغییر شکل منطبق می‌باشد. اما مسئله کماتش موضعی المان زانویی در مدل‌سازی دیده نشده است.



شکل (۱۱): نمودار استهلاک انرژی در قاب KBF 1



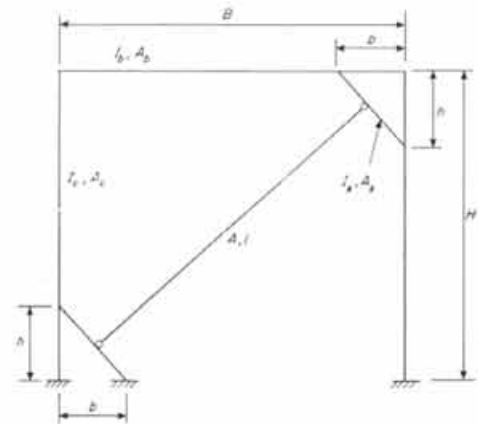
شکل (۱۲): نمودار استهلاک انرژی در قاب KBF 2



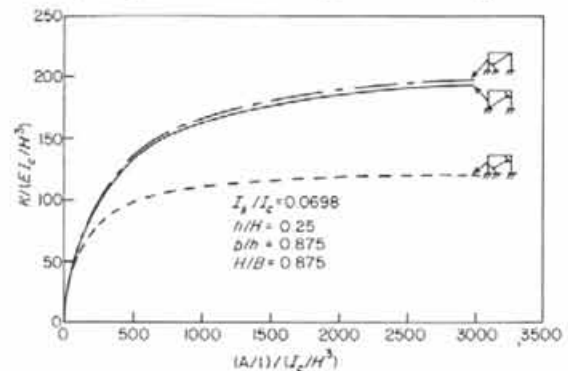
شکل (۱۳): نمودار استهلاک انرژی در قاب KBF 3

۷- بررسی تحلیلی المان زانویی دو طرفه

قاب KBF که المان زانویی در هر دو طرف مهاربند قطری قرار دارد، قاب DKBF نام دارد (شکل ۱۴). همانطور که در قسمت مقدمه اشاره شد، Balendra مطالعاتی را در محدوده الاستیک روی قاب‌های DKBF انجام داده است [۴]. یک نمونه از نتایج تحقیقات ایشان که شامل بررسی اثر سختی مهاربندی قطری روی سختی الاستیک قاب‌های DKBF و KBF می‌باشد در شکل (۱۵) نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، زانویی دوطرفه باعث کاهش سختی جانبی شده است.



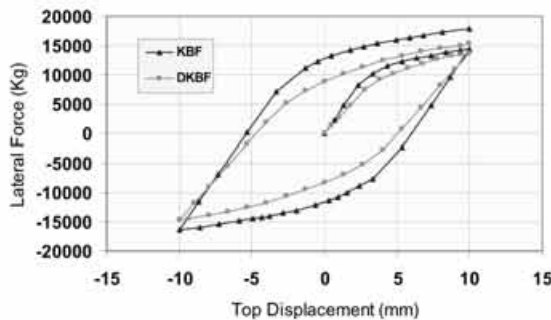
شکل (۱۴): نمای کلی از قاب بادبند زانویی دوطرفه



شکل (۱۵): اثر سطح مقطع بادبند بر روی سختی قاب [۴]

تاکنون مطالعاتی روی پاسخ غیرالاستیک قاب‌های DKBF انجام نشده است، در این قسمت رفتار هیستریزس قاب DKBF برای حالت تسلیم برشی عضو زانویی بررسی شده است و نتایج آن با قاب KBF معمولی (المان زانویی در یک طرف مهاربندی قطری قرار دارد) مورد مقایسه

قرار گرفته است. در قاب DKBF مورد مطالعه، المانهای زانویی از مقطع IPE120 انتخاب شد و بر مبنای ظرفیت مورد انتظار آنها مقاطع اعضای ستون، تیر و عضو مهاربندی به ترتیب IPE180، IPE140 و UNP10 بدست آمدند. مدول الاستیسیته مصالح $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ ، تنش حد تسلیم فولاد $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ و شیب ناحیه سخت شدگی کرنش (مدول مماسی) برابر $E/100$ فرض شد. زانویی پایینی موازی با زانویی بالایی و با همان مشخصات در نظر گرفته شد. قاب KBF از حذف زانویی پایینی بدست آمد. هر دو قاب KBF و DKBF تحت بار گذاری چرخه‌ای با کنترل تغییر مکان به اندازه 10mm قرار گرفتند. به دلیل اینکه هدف مقایسه نتایج بود لذا بارگذاری صرفاً به اندازه یک بار رفت و برگشت کامل روی قابها انجام شد. شکل (۱۶) منحنی چرخه‌ای دو قاب را نشان می‌دهد.



شکل (۱۶): مقایسه منحنی چرخه‌ای قاب‌های KBF و DKBF

از مقایسه دو منحنی مشخص می‌شود که قاب DKBF ضمن اینکه به مقاومت‌های کمتری دست یافته است، سختی کمتری را نیز ارائه کرده است. نکته مهم و قابل ذکر در مورد قاب DKBF این است که این قاب منحنی لاغرتری را نسبت به قاب KBF به نمایش گذاشته است که این امر باعث کاهش میزان استهلاک انرژی لرزه‌ای خواهد شد. منحنی‌های هم تنش قاب DKBF در شکل (۱۷) نمایش داده شده‌اند.

پلاستیک در جان زانویی حاکم بر رفتار قابها بوده است.

مراجع

1-Kasai K, Popov EP.(1986). "A study of seismically resistant eccentrically braced steel frame systems." Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC- 86/01. Berkeley (CA): University of California.

2-Balendra T, Sam MT, Liaw CY.(1990). " Diagonal brace with ductile anchor for a seismic steel frame." Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol 19 , pp. 847-58.

3-Aristizabal-ochoa JD. (1986). "Disposable knee bracing: Improvement in seismic design of steel frames." ASCE, Journal of Structural Engineering, Vol 112, No.7, pp. 1544-52.

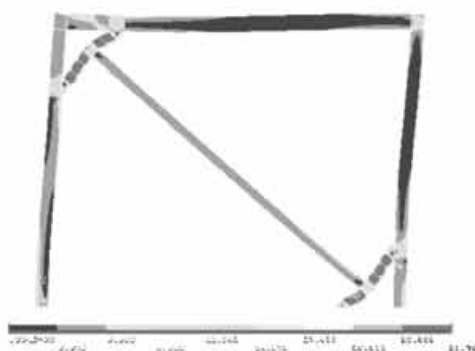
4-Balendra T, Sam MT, Liaw CY, Lee SL.(1991). "Preliminary studies into the behavior of knee braced frames subject to seismic loading." , Engineering Structure;13:67-74.

5-Swanson Analysis Systems Inc., ANSYS (Revision 5.4) (1992). User's Manual, Theory, Vol. IV.

6-American Institute of Steel Construction (AISC) (1997). Seismic provisions for structural steel buildings, Chicago

۷- جلالی، میثم (۱۳۸۵) « بررسی بهبود رفتار لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده به کمک عضو شکل پذیر زانویی »، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشکده عمران دانشگاه تهران.

۸- زهرانی، سید مهدی (۱۳۸۴). «مطالعه تحلیلی و تجربی کاربرد پانلهای برشی برای کنترل غیر فعال ساختمانهای فولادی متعارف» گزارش پروژه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.



شکل (۱۷): منحنی‌های هم تنش فون میسر

(Kg , mm واحدها) DKBF

۸- نتیجه‌گیری

مهمترین نتایج حاصل از این تحقیق عبارتند از:

۱- روند استفاده شده در مدل‌سازی هندسی قاب‌های مورد مطالعه که شامل استفاده از المان‌های تیر بجای المان‌های صفحه‌ای می‌باشد، با حفظ صحت نتایج، مدت زمان انجام تحلیلها را کاهش می‌دهد.

۲- در صورتی که طول زانویی کوتاه‌تر انتخاب شود، می‌توان از اثرات منفی وجود اتصال مفصلی بین تیر و ستون کاست. این مسئله نشان می‌دهد که با انتخاب سنجیده طول تیر رابط، می‌توان تا حدی نیاز به اتصالات خمشی تیر به ستون را حداقل برای ساختمان‌های متعارف و کوتاه مرتبه کاهش داد. این نکته می‌تواند به عنوان یک مزیت برای قاب‌های مهاربندی شده با مهاربندی زانویی محسوب شود، به خصوص در کشور ما که اتصالات خمشی غالباً به نحوی نامطلوب اجرا می‌شوند.

۳- وجود یک عضو کنترل شونده توسط نیرو در میان دو عضو شکل‌پذیر (قاب‌های DKBF) ضمن افزایش حساسیت طرح به واسطه افزایش اعضا شکل‌پذیر، باعث کاهش سختی و مقاومت سازه نسبت به حالت‌های متعارف (قاب‌های KBF) نیز می‌شود. لذا قاب DKBF رفتار لرزه‌ای نسبتاً نامطلوبی را ارائه می‌دهد و استفاده از آن توصیه نمی‌شود.

۴- کانتور تنش معادل فون میسر نمونه‌ها، به‌خوبی بیانگر آن است که عمده تغییر شکل‌های غیرالاستیک در جان المان زانویی به وقوع پیوسته است. تغییر شکل برشی