



دانشگاه عمان
دانشکده عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته و گرایش:

مهندسی عمران-زلزله

عنوان:

ارزیابی قاب مهاربندی شده زانویی تحت عملکردهای مختلف

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر صبوری قمی

دانشجو:

الهام مشروطه زنگانی

شماره دانشجویی:

۸۸۲۰۲۸۴

پاییز ۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خود گذشتگی، به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگار بهترین پشتیبان است و به پاس محبت‌های بی دریغشان و زحمات بی منتشان این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم که بودنشان تاج افتخاری بر سرم و نامشان دلیلی بر بودنم است، تقدیم می‌کنم.

ب

بر خود لازم می‌دانم که از زحمات استاد راهنما محترم، گرانقدر و فرهیخته خود جناب آقای
دکتر صبوری قمی که در تمامی مراحل پژوهش و تدوین این تحقیق با راهنمایی‌های
مشفقانه و بی دریغشان مرا یاری نمودند تشکر و قدردانی کنم. بدون شک این تحقیق بدون
راهنمایی‌های گره گشای ایشان به سرانجام نمی‌رسید.

چکیده

سیستم‌های مقاوم در برابر زلزله باید دارای سختی مناسب در ناحیه الاستیک برای کنترل دریافت در زلزله‌ای متوسط و شکل پذیری کافی جهت جذب انرژی و جلوگیری از فروریزش در هنگام زلزله شدید باشند. در قاب‌های مهاربندی شده زانویی یک انتهای مهاربند به عضو مورب زانویی متصل می‌شود. مهاربند تامین کننده سختی جانبی می‌باشد و عضو زانویی از طریق تسلیم برشی و یا خمشی شکل پذیری سازه را تحت بار جانبی فراهم می‌کند. در هنگام زلزله ابتدا عضو زانویی تسلیم می‌شود و باعث می‌گردد که آسیب جدی در دیگر اعضای اصلی قاب اتفاق نیفتد.

در این تحقیق رابطه تئوریک جهت تعیین سختی الاستیک قاب مهاربندی شده زانویی با اتصالات مفصلی به دست آمده و اثر برخی پارامترهای موثر قاب بر روی سختی بررسی شده است. هم چنین روابط تئوریک جهت تسلیم زانو قبل از کمانش و یا تسلیم مهاربند بیان شده است. صحت روابط به دست آمده نیز توسط برنامه ABAQUS به اثبات رسیده است. پس از آن اثر تغییر طول عضو زانویی و نوع تسلیم آن بر روی رفتار غیرخطی قاب مهاربندی شده زانویی و مسئله کمانش خارج از صفحه عضو زانویی توسط برنامه ABAQUS بررسی شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از زانو با طول بلندتر (تسلیم خمشی زانو) رفتار غیر خطی بهتری در مهاربندهای زانویی دارد و مسئله کمانش خارج از صفحه عضو زانویی مطرح نمی‌باشد. در آخر اثر استفاده از فولاد نرم در این سیستم بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که هر گاه دو قاب مهاربندی شده زانویی تحت بارگذاری یکسان که در یکی از آن‌ها در عضو زانویی از فولاد نرم استفاده شده باشد، سختی قاب با فولاد نرم بیشتر از سختی قاب با فولاد معمولی می‌باشد و هم چنین قاب با فولاد نرم در جابه جایی کمتری وارد مرحله پلاستیک و جذب انرژی توسط زانو می‌شود.

کلمات کلیدی: قاب مهاربندی شده زانویی، سختی الاستیک، رفتار غیر خطی، طول عضو زانویی، عملکرد عضو زانویی، فولاد نرم

فهرست مطالب

مقدمه..... ۱

فصل اول - مروری بر تحقیقات گذشته

- ۱-۱- قاب مهاربندی شده زانویی اولیه (DKB) ۴
- ۱-۱-۱- اثرات مهاربند قطری به طور کلی ۵
- ۲-۱-۱- تکنیک DKB در مقابل روش پوپوف ۵
- ۳-۱-۱- اثرات مهاربند قطری در تکنیک DKB ۶
- ۴-۱-۱- تاثیر نوع اتصالات تیر- ستون ۷
- ۲-۱- معرفی سیستم قاب مهاربندی شده زانویی ۷
- ۱-۲-۱- انواع KBF ۸
- ۲-۲-۱- سختی جانبی ۸
- ۳-۲-۱- ویژگی اصلی سیستم KBF (رفتار غیر خطی سیستم) ۱۰
- ۴-۲-۱- موقعیت عضو زانویی ۱۱
- ۵-۲-۱- عملکرد جانبی قاب با مهاربندی‌های مختلف ۱۲
- ۶-۲-۱- عملکرد جانبی قاب با تیرها و ستون‌های مختلف ۱۳
- ۳-۱- مود تسلیم عضو زانویی ۱۴
- ۱-۳-۱- تسلیم خمشی عضو زانویی ۱۴
- ۲-۳-۱- تسلیم برشی عضو زانویی ۱۶
- ۴-۱- روند جذب انرژی و ظرفیت شکل پذیری ۱۶
- ۱-۴-۱- ظرفیت شکل پذیری سیستم در آزمایش اول ۱۶
- ۲-۴-۱- روند جذب انرژی و ظرفیت شکل پذیری سیستم در آزمایش دوم ۲۰
- ۳-۴-۱- مقایسه جذب انرژی در دو سیستم دو طبقه با ابعاد المان زانویی مختلف ۲۳
- ۵-۱- مقایسه قاب چند طبقه سیستم مهاربندی شده زانویی با خارج از مرکز ۲۷

فصل دوم - رابطه تئوریک سختی الاستیک برای قاب مهاربندی شده زانویی با اتصالات مفصلی

- ۱-۲- تعیین سختی الاستیک قاب با استفاده از روابط شیب-افت ۳۱
- ۲-۲- صحت سنجی رابطه دستی به آمده توسط برنامه‌های SAP و ABAQUS ۳۹
- ۳-۲- تاثیر پارامترهای اساسی قاب روی سختی ۴۴

فصل سوم-صحت سنجی مدل ساخته شده در نرم افزار ABAQUS و

معرفی قاب‌های مورد بررسی

- ۳-۱- صحت سنجی مدل ساخته شده در نرم افزار ABAQUS ۴۸
- ۳-۲- قاب‌های مدل ساخته شده در نرم افزار ۵۰

فصل چهارم- تسلیم زانو قبل از کمانش و یا تسلیم مهاربند

(جذب انرژی سیستم توسط زانو)

- ۴-۱- نیروی تسلیم عضو زانویی ۵۴
- ۴-۱-۱- تسلیم خمشی عضو زانویی ۵۴
- ۴-۱-۲- تسلیم برشی عضو زانویی ۵۷
- ۴-۱-۳- بررسی تاثیر نیروی محوری زانو در نیروی تسلیم عضو زانویی ۵۷
- ۴-۱-۴- اصلاح روابط به دست آمده برای تسلیم عضو زانویی ۶۴
- ۴-۲- نیروی تسلیم و کمانش مهاربند ۶۴
- ۴-۳- بررسی برقراری رابطه اصلی جذب انرژی توسط عضو زانویی ۶۵
- ۴-۴- صحت سنجی روابط به دست آمده در بخش‌های ۴-۱-۴، ۴-۲ و ۴-۳ توسط برنامه ABAQUS ۶۵

فصل پنجم- بررسی اثر تغییر طول عضو زانویی در رفتار غیر خطی مهاربندهای زانویی

- ۵-۱- بررسی اثر تغییر طول عضو زانویی در رفتار غیر خطی قاب ۶۸
- ۵-۲- بررسی خروجی نرم افزار در بارگذاری رفت ۷۷
- ۵-۳- بررسی خروجی نرم افزار در بارگذاری برگشت ۷۹
- ۵-۴- بررسی کمانش خارج از صفحه عضو زانویی تحت بار مونوتونیک ۸۱

فصل ششم- بررسی تاثیر نوع فولاد در مهاربندهای زانویی

- ۶-۱- مدل کردن دو قاب مشابه با دو زانوی مختلف در نرم افزار ABAQUS ۸۷
- ۶-۲- بررسی خروجی نرم افزار ۸۸
- ۶-۳- بررسی خروجی نرم افزار برای دو قاب مشابه دیگر با دو زانوی مختلف ۸۹

فصل هفتم- نتیجه گیری و پیشنهادات

- ۷-۱- نتیجه گیری ۹۲
- ۷-۲- پیشنهادات ۹۳

فهرست اشکال

- شکل ۱: (a) سیستم قابهای فولادی متداول، (b) مقایسه عملکرد قابها ۱
- شکل ۱-۱: قابهای مهاربندی شده زانویی اولیه ۴
- شکل ۱-۲: اثر سختی مهاربند روی تغییر شکل الاستیک قاب مهاربندی شده ۵
- شکل ۱-۳: منحنی نیرو- تغییر مکان قاب صلب ۶
- شکل ۱-۴: اثر اندازه سطح مقطع مهاربند قطری روی پاسخ غیرالاستیک قاب یک طبقه ۶
- شکل ۱-۵: اثرات نوع اتصال تیر به ستون روی پاسخ غیرالاستیک قاب یک طبقه ۷
- شکل ۱-۶: انواع قابهای مهاربندی شده زانویی (a) K-KBF، (b) X-KBF، (c) KBF با یک مهاربند و زانو، (d) KBF با یک مهاربند و دو زانو ۸
- شکل ۱-۷: مشخصات یک قاب مهاربندی شده زانویی ۹
- شکل ۱-۸: اثر سطح مقطع مهاربند روی سختی الاستیک ۹
- شکل ۱-۹: اثر طول عضو زانویی روی سختی الاستیک ۱۰
- شکل ۱-۱۰: اثر ممان اینرسی زانو روی سختی ۱۰
- شکل ۱-۱۱: (a) پارامترهای اصلی سیستم KBF، (b) منحنی نیرو- تغییر مکان جانبی ۱۱
- شکل ۱-۱۲: (a) منحنی نیرو- تغییر مکان قاب با مقادیر مختلف X، (b) منحنی نیرو- تغییر مکان قاب با مقاطع زانویی مختلف ۱۲
- شکل ۱-۱۳: (a) منحنی نیرو- تغییر مکان قاب با مهاربندیهای مختلف، (b) مدل ساده شده و نیروهای داخلی المان زانویی ۱۳
- شکل ۱-۱۴: عملکرد جانبی قاب با تیرهای مختلف (a) منحنی نیرو- تغییر مکان قاب با طولهای مختلف تیر، (b) با سطح مقطعهای مختلف تیر ۱۴
- شکل ۱-۱۵: عملکرد جانبی قاب با ستونهای مختلف، (a) منحنی نیرو- تغییر مکان قاب با طولهای مختلف ستون، (b) با سطح مقطعهای مختلف ستون ۱۴
- شکل ۱-۱۶: مشخصات قاب آزمایش شده ۱۷
- شکل ۱-۱۷: دو اتصال ساخته شده برای اتصال مهاربند به زانو ۱۷
- شکل ۱-۱۸: (a) تاریخچه زمانی جابه جایی قاب مورد آزمایش با اتصال مهاربند به زانوی نوع یک، (b) منحنی نیرو- تغییر مکان قاب مورد آزمایش با اتصال مهاربند به زانوی نوع یک ۱۹
- شکل ۱-۱۹: مکان ترکها در مهاربند زانویی ۱۹
- شکل ۱-۲۰: منحنی هیستریزس نیرو- تغییر مکان قاب مورد آزمایش با اتصال مهاربند به زانو نوع دو ۲۰
- شکل ۱-۲۱: مشخصات و ابعاد قاب دو طبقه KBF ۲۱
- شکل ۱-۲۲: منحنی نیرو- تغییر مکان هیستریزس آزمایش V ۲۲

- شکل ۱-۲۳: منحنی هیستریزیس نیرو-تغییرمکان افقی طبقه دوم ۲۲
- شکل ۱-۲۴: ابعاد قاب دو طبقه آزمایش شده ۲۴
- شکل ۱-۲۵: جزییات اتصال زانویی در قاب دو طبقه آزمایش شده ۲۵
- شکل ۱-۲۶: چرخه‌های هیستریزیس در آزمایش اول ۲۶
- شکل ۱-۲۷: چرخه‌های هیستریزیس در آزمایش دو ۲۶
- شکل ۱-۲۸: انرژی ورودی و انرژی تلف شده برای آزمایش اول و دوم ۲۷
- شکل ۱-۲۹: مشخصات هندسی سه سیستم مهاربندی شده ۲۸
- شکل ۱-۳۰: دریافت بین طبقات برای هر سه قاب ۲۹
- شکل ۱-۳۱: مشخصات قاب مهاربندی شده زانویی با اتصالات مفصلی ۳۱
- شکل ۲-۲: تغییر شکل قاب مهاربندی شده زانویی پس از اعمال نیروی F بر بالای قاب ۳۲
- شکل ۲-۳: تغییر شکل مثلث CDE در اثر جابه جایی‌های u_1 ، u_2 و u_3 که ترکیب یک انتقال به اندازه u_1 و یک دوران به اندازه $(u_2-u_1)/L_4$ حول نقطه E می‌باشد ۳۲
- شکل ۲-۴: جابه جایی محل تقاطع زانو و مهاربند $(\Delta X_G, \Delta Y_G)$ در اثر تغییرمکان‌های u_1 ، u_2 و u_3 ۳۳
- شکل ۲-۵: جابه جایی نهایی محل تقاطع زانو و مهاربند (X_G, Y_G) ۳۳
- شکل ۲-۶: نمایش تعادل قسمتی از قاب جهت لنگر گیری حول نقطه D ۳۷
- شکل ۲-۷: نمایش تعادل قاب جهت نوشتن معادله برش ۳۷
- شکل ۲-۸: مشخصات قاب مدل شده در نرم افزارهای SAP و ABAQUS ۳۹
- شکل ۲-۹: منحنی نیرو-تغییرمکان برای قاب شماره یک ۴۰
- شکل ۲-۱۰: منحنی نیرو-تغییرمکان برای قاب شماره دو ۴۱
- شکل ۲-۱۱: منحنی نیرو-تغییرمکان برای قاب شماره سه ۴۱
- شکل ۲-۱۲: منحنی نیرو-تغییرمکان برای قاب شماره چهار ۴۲
- شکل ۲-۱۳: منحنی نیرو-تغییرمکان برای قاب شماره پنج ۴۲
- شکل ۲-۱۴: منحنی نیرو-تغییرمکان برای قاب شماره شش ۴۳
- شکل ۲-۱۵: تاثیر تغییر ممان اینرسی عضو زانویی روی سختی در قاب شماره شش ۴۴
- شکل ۲-۱۶: تاثیر تغییر طول عضو زانویی روی سختی در قاب شماره شش ۴۵
- شکل ۲-۱۷: تاثیر تغییر سطح مقطع مهاربند روی سختی در قاب شماره شش ۴۵
- شکل ۲-۱۸: تاثیر تغییر ممان اینرسی تیر و ستون روی سختی در قاب شماره شش ۴۶
- شکل ۳-۱: مشخصات قاب یک طبقه ساخته شده در مقاله مرجع ۴۸
- شکل ۳-۲: منحنی هیستریزیس نیرو-تغییرمکان آزمایش پنجم ۴۹
- شکل ۳-۳: مقایسه منحنی نیرو-تغییرمکان مدل ساخته شده در نرم افزار ABAQUS با مقاله مرجع ۴۹
- شکل ۳-۴: مشخصات قاب مدل شده در نرم افزار ABAQUS ۵۱

- شکل ۳-۵: قاب شماره پنج مدل شده در نرم افزار ABAQUS ۵۱
- شکل ۴-۱: (a) زانو تحت اثر نیروی محوری و نیروی مهاربند و منحنی نیرو-تغییرمکان متناظر، (b) مهاربند تحت اثر نیروی محوری و منحنی نیرو-تغییرمکان متناظر با آن ۵۳
- شکل ۴-۲: مقطع عضو زانویی تحت نیروی محوری، نیروی برشی و لنگر خمشی ۵۴
- شکل ۴-۳: تغییر شکل زانو در فاصله x از نقطه A ۵۵
- شکل ۴-۴: مشخصات هندسی مشابه در چهار قاب مدل شده در برنامه SAP ۵۸
- شکل ۴-۵: نمودار F_{ku} بر حسب P برای رابطه ۴-۱۷ و همچنین برای نسبت F/P به دست آمده از نرم افزار SAP برای قاب شماره یک ۶۰
- شکل ۴-۶: نمودار F_{ku} بر حسب P برای رابطه ۴-۱۷ و همچنین برای نسبت F/P به دست آمده از نرم افزار SAP برای قاب شماره دو ۶۰
- شکل ۴-۷: نمودار F_{ku} بر حسب P برای روابط ۴-۶، ۱۵، ۱۷ و همچنین برای نسبت F/P به دست آمده از نرم افزار SAP برای قاب شماره سه ۶۱
- شکل ۴-۸: نمودار F_{ku} بر حسب P برای روابط ۴-۶، ۱۵، ۱۷ و همچنین برای نسبت F/P به دست آمده از نرم افزار SAP برای قاب شماره چهار ۶۱
- شکل ۴-۹: نمودار F_{ku} بر حسب P برای روابط ۴-۶، ۱۵، ۱۷ و همچنین برای نسبت F/P به دست آمده از نرم افزار SAP برای قاب شماره پنج ۶۲
- شکل ۴-۱۰: نمودار F_{ku} بر حسب P برای روابط ۴-۶، ۱۵ و همچنین برای نسبت F/P به دست آمده از نرم افزار SAP برای قاب شماره شش ۶۲
- شکل ۴-۱۱: نمودار F_{ku} بر حسب P برای روابط ۴-۶، ۱۵ و همچنین برای نسبت F/P به دست آمده از نرم افزار SAP برای قاب شماره هفت ۶۳
- شکل ۴-۱۲: تسلیم عضو زانویی قاب شماره دو در دریفت ۰.۱۰۶ درصد ۶۶
- شکل ۵-۱: تغییر شکل المان زانویی ۶۸
- شکل ۵-۲: منحنی نیرو-تغییرمکان برای هر هفت قاب مدل شده در نرم افزار ABAQUS تا خرابی زانو ۶۹
- شکل ۵-۳: منحنی نیرو-تغییرمکان در بار رفت و یا برگشت برای قاب شماره یک ۷۰
- شکل ۵-۴: منحنی نیرو-تغییرمکان در بار رفت و یا برگشت برای قاب شماره دو ۷۱
- شکل ۵-۵: منحنی نیرو-تغییرمکان در بار رفت و یا برگشت برای قاب شماره سه ۷۲
- شکل ۵-۶: منحنی نیرو-تغییرمکان در بار رفت و یا برگشت برای قاب شماره چهار ۷۳
- شکل ۵-۷: منحنی نیرو-تغییرمکان در بار رفت و یا برگشت برای قاب شماره پنج ۷۴
- شکل ۵-۸: منحنی نیرو-تغییرمکان در بار رفت و یا برگشت برای قاب شماره شش ۷۵
- شکل ۵-۹: منحنی نیرو-تغییرمکان در بار رفت و یا برگشت برای قاب شماره هفت ۷۶

شکل ۵-۱۰: منحنی نیرو-تغییرمکان هر هفت قاب مدل شده در نرم افزار ABAQUS تا تغییرمکان	۷۸.....
d_2	۷۸.....
شکل ۵-۱۱: تغییر شکل قاب شماره شش هنگام بار رفت در دریافت ۳ درصد	۷۹.....
شکل ۵-۱۲: تغییر شکل قاب شماره دو هنگام بار برگشت در دریافت ۲.۷۵۲ درصد	۸۰.....
شکل ۵-۱۳: مقایسه منحنی بار-تغییرمکان برای قاب شماره یک در بار برگشت با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن کمانش خارج از صفحه عضو زانویی	۸۲.....
شکل ۵-۱۴: مقایسه منحنی بار-تغییرمکان برای قاب شماره دو در بار برگشت با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن کمانش خارج از صفحه عضو زانویی	۸۲.....
شکل ۵-۱۵: مقایسه منحنی بار-تغییرمکان برای قاب شماره سه در بار برگشت با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن کمانش خارج از صفحه عضو زانویی	۸۳.....
شکل ۵-۱۶: مقایسه منحنی بار-تغییرمکان برای قاب شماره چهار در بار برگشت با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن کمانش خارج از صفحه عضو زانویی	۸۳.....
شکل ۵-۱۷: مقایسه منحنی بار-تغییرمکان برای قاب شماره پنج در بار برگشت با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن کمانش خارج از صفحه عضو زانویی	۸۴.....
شکل ۵-۱۸: مقایسه منحنی بار-تغییرمکان برای قاب شماره شش در بار برگشت با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن کمانش خارج از صفحه عضو زانویی	۸۴.....
شکل ۵-۱۹: مقایسه منحنی بار-تغییرمکان برای قاب شماره هفت در بار برگشت با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن کمانش خارج از صفحه عضو زانویی	۸۵.....
شکل ۶-۱: (a) مشخصات قاب مدل شده در نرم افزار ABAQUS، (b) مقطع عضو زانویی	۸۸.....
شکل ۶-۲: مقایسه منحنی نیرو- تغییرمکان دو قاب مدل شده در نرم افزار	۸۹.....
شکل ۶-۳: مقایسه منحنی نیرو- تغییرمکان دو قاب مدل شده دیگر در نرم افزار	۹۰.....

فهرست جداول

- جدول ۱-۱: مشخصات المان زانویی در هر یک از پنج قاب یک طبقه ۲۱
- جدول ۱-۲: شکل پذیری جابه جایی و دریافت بین طبقات ۲۲
- جدول ۱-۳: ویژگی‌های المان زانویی برای تست اول و دوم ۲۴
- جدول ۱-۴: مقاطع اعضا در هر طبقه در سه قاب ۲۸
- جدول ۲-۱: مشخصات مقاطع اعضا در شش قاب مورد نظر ۴۰
- جدول ۲-۲: سختی به دست آمده از هر دو نرم افزار مذکور برای هر یک از قاب‌ها و مقایسه با رابطه
دستی ۴۳
- جدول ۱-۳: مشخصات طول عضو زانویی در قاب‌های مدل شده در نرم افزار ABAQUS ۵۰
- جدول ۱-۴: طول زانو و نوع عملکرد آن در هر یک از قاب‌ها ۵۸
- جدول ۲-۴: نسبت F/P حاصل از نرم افزار برای هر قاب ۵۹
- جدول ۳-۴: مقایسه نیروی تسلیم عضو زانویی با حضور نیروی محوری و در غیاب نیروی محوری P ۶۴
- جدول ۴-۴: نیروی کمانش مهاربند در هر قاب ۶۵
- جدول ۱-۵: دریافت نهایی قاب با طول زانویی‌های مختلف ۶۹
- جدول ۲-۵: نتایج نرم افزار در بارگذاری رفت ۷۷
- جدول ۳-۵: نتایج نرم افزار در بارگذاری رفت ۷۹
- جدول ۴-۵: ماکزیمم جابه جایی خارج از صفحه زانو در محل تقاطع زانو به مهاربند برای هر قاب ۸۱
- جدول ۱-۶: مشخصات مقطع عضو زانویی ۸۸
- جدول ۲-۶: سختی الاستیک و همچنین تغییر مکانی که عضو زانویی در آن تسلیم می‌شود برای هر دو
قاب مدل شده در نرم افزار ۸۹
- جدول ۳-۶: سختی الاستیک و همچنین تغییر مکانی که عضو زانویی در آن تسلیم می‌شود برای دو قاب
مدل شده دیگر در نرم افزار ۹۰

فهرست علائم

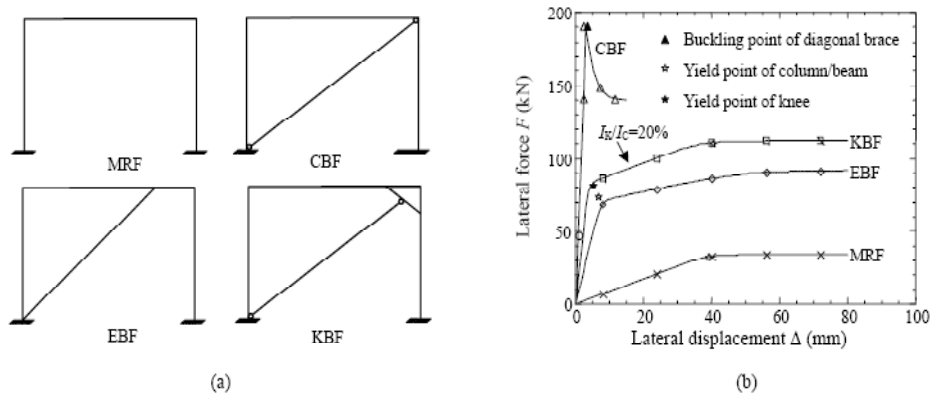
شتاب کلی طبقه i ام	a_i^t
سطح مقطع	A
سطح مقطع تیر	A_b
سطح مقطع ستون	A_c
سطح مقطع عضو زانویی	A_k
عرض بال عضو زانویی	b_f
جابه‌جایی زمین در اثر زلزله	du_g
مدول الاستیسیته فولاد	E
نیرو	F
نیروی کمانش مهاربند	F_{bcr}
نیروی تسلیم مهاربند	F_{bu}
نیروی تسلیم عضو زانویی	F_{ku}
ارتفاع کل مقطع عضو زانویی	h
ارتفاع جان مقطع عضو زانویی	h_w
ممان اینرسی	I
ممان اینرسی تیر	I_b
ممان اینرسی ستون	I_c
ممان اینرسی زانو	I_k
ماتریس سختی قاب	K
طول	L
طول مهار نشده عضو زانویی	L_{cr}
جرم طبقه i ام	m_i
لنگر	M
ظرفیت لنگر پلاستیک	M_p
نیروی کمانش عضو زانویی	P_{cr}
شعاع ژیراسیون عضو زانو حول محور ضعیف	r_y
اساس مقطع عضو زانویی	s
ضخامت بال مقطع عضو زانویی	t_f
ضخامت جان مقطع عضو زانویی	t_w

جابه‌جایی	u
نیروی برشی	V
ظرفیت برش مقطع عضو زانویی	V_p
جابه‌جایی افقی نهایی محل تقاطع زانو و مهاربند	x_G
جابه‌جایی عمودی نهایی محل تقاطع زانو و مهاربند	y_G
اساس مقطع عضو زانویی	z
جابه‌جایی افقی محل تقاطع زانو و مهاربند در اثر تغییرمکان‌های u_1 ، u_2 و u_3	Δx_G
جابه‌جایی عمودی محل تقاطع زانو و مهاربند در اثر تغییرمکان‌های u_1 ، u_2 و u_3	Δy_G
جابه‌جایی ایجاد شده در محل تقاطع زانو و مهاربند در اثر اعمال نیروی مهاربند	ΔG
زاویه عضو زانویی با افق	α
زاویه مهاربند با افق	β
زاویه دوران	θ
زاویه مهاربند با عضو زانویی	δ

مقدمه

سازه‌هایی که برای مناطق با لرزه خیزی بالا طراحی می‌شوند باید دو معیار را ارضا کنند. اول باید دارای سختی کافی برای کنترل تغییر مکان جانبی باشند تا از وقوع هرگونه خسارت در طی زمین لرزه‌های متوسط ولی مکرر جلوگیری به عمل آید، دوم سازه باید مقاومت و شکل پذیری کافی داشته باشد تا در زمین لرزه‌های شدید از فرو ریزش آن جلوگیری شود. [۱]

با توجه به شکل ۱- a قاب‌های مهاربندی شده فولادی به چهار گروه اصلی تقسیم می‌شوند: قاب خمشی ممان گیر^۱ (MRF)، قاب مهاربندی شده هم مرکز^۲ (CBF)، قاب مهاربندی شده خارج از مرکز^۳ (EBF) و قاب مهاربندی شده زانویی^۴ (KBF).



شکل ۱: (a) سیستم قابهای فولادی متداول، (b) مقایسه عملکرد قابها [۲]

شکل ۱- b عملکرد جانبی مختلف قاب‌های فوق را با پارامترهای مشابه ساختمانی نشان می‌دهد. قاب‌های خمشی و مهاربندهای هم مرکز در ساختمان‌های فولادی به طور گسترده به عنوان سیستم‌های مقاوم در برابر زلزله مورد استفاده قرار می‌گیرند. قاب‌های خمشی دارای شکل پذیری زیاد و سیستم‌های مهاربندی هم مرکز دارای سختی بالا و شکل پذیری کم می‌باشند، بنابراین هیچ یک از آن‌ها نمی‌توانند سختی و شکل پذیری را توأماً فراهم کنند. با ترکیب خوبی از این دو سیستم، یک سیستم مقاوم لرزه‌ای اقتصادی به نام قاب مهاربندی شده خارج از مرکز در سال ۱۹۷۸-۱۹۷۷ توسط پوپوف و ریدر^۵ پیشنهاد شد. این سیستم سختی کافی و شکل پذیری مناسب را با قرار دادن مهاربندی برون مرکز در شکل یک تیر پیوند ایجاد می‌کند. تسلیم لینک برشی در زلزله‌های بزرگ ایمنی کافی از کماتش مهاربند و خرابی قاب را فراهم می‌کند. به علت اینکه تیر پیوند بخشی از اعضای اصلی سازه (تیر) می‌باشد امکان تعویض

^۱ Momen--resisting frame

^۲ Centrally braced frame

^۳ Eccentrically braced frame

^۴ Knee braced frame

^۵ Popov & Roeder

سریع و کم هزینه آن بعد از وقوع زلزله شدید وجود ندارد. [۲]

در سال ۱۹۸۶ آریستیزابل اوچوا^۱ یک سیستم ترکیبی جدید به نام قاب مهاربندی شده زانویی پیشنهاد داد. در این سیستم حداقل یک انتهای مهاربند به جای اتصال به محل تقاطع تیر و ستون به عضو مورب زانویی متصل می‌شود. هنگام زلزله ابتدا المان زانویی تسلیم می‌شود و از طریق تسلیم برشی و یا خمشی تامین کننده شکل پذیری است، مهاربند نیز سختی الاستیک کافی برای سازه فراهم می‌کند. در این سیستم مهاربند برای فشار طراحی نشده و کمانش می‌کند. به دلیل کمانش مهاربند و ناپایداری در چرخه‌های هیستریزیس، سیستم مذکور توسط محقق دیگری به نام تامبیراجا بالندرا^۲ و همکارانش (۲۰۰۱) اصلاح شد. در این سیستم مهاربند قطری طوری طراحی می‌شود که در فشار کمانش نکند. این سیستم دارای چرخه‌های هیستریزیس پایدار است. از مزایای دیگر آن تعویض پذیری آسان و کم هزینه عضو زانویی به عنوان المان ثانویه بعد از وقوع زلزله می‌باشد. [۳]

در این تحقیق:

در فصل اول مروری بر تحقیقات گذشته صورت گرفته است.

در فصل دوم رابطه تئوریک جهت تعیین سختی الاستیک قاب مهاربندی شده زانویی با اتصالات مفصلی با استفاده از روش تحلیل سازه‌ها (شیب - افت) به دست آمده و اثر برخی پارامترهای مهم بر روی سختی بررسی شد است. صحت رابطه به دست آمده توسط برنامه‌های SAP و ABAQUS به اثبات رسیده است.

در فصل سوم پس از صحت سنجی مدل ساخته شده در برنامه ABAQUS، هفت قاب مشابه با طول زانویی‌های مختلف که در برنامه مذکور مدل شده اند، معرفی گردیده‌اند.

در فصل چهارم روابط تئوریک جهت تسلیم زانو قبل از کمانش و یا تسلیم مهاربند به دست آمده است. صحت روابط به دست آمده نیز توسط برنامه ABAQUS بررسی شده است.

پس از آن در فصل پنجم اثر تغییر طول عضو زانویی بر روی رفتار غیرخطی قاب و هم چنین مسئله کمانش خارج از صفحه عضو زانویی در بارگذاری برگشت توسط برنامه ABAQUS ارزیابی شده است.

در فصل ششم اثر استفاده از فولاد نرم در این سیستم بررسی شده است.

و در آخر نتایج این تحقیق و پیشنهادات برای مطالعات بعدی بیان شده است.

¹Aristizabal Ochoa

²Thambirajah Balendra

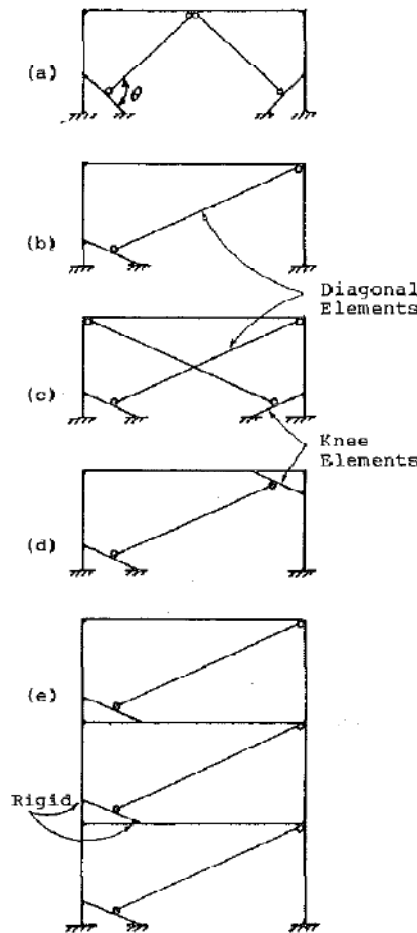
فصل اول

مروری بر تحقیقات گذشته

(۱-۱) قاب مهاربندی شده زانویی اولیه (DKB^۱)

در سال ۱۹۸۶ تکنیک استفاده از قاب مهاربندی شده زانویی برای اولین بار توسط آریستیزابل اوچوا پیشنهاد داده شد. سیستم DKB از طریق مهاربند کششی قطری و تسلیم خمشی المان زانویی بدون تسلیم در اعضای اصلی قاب، در بهبود پاسخ جانبی قاب‌های فولادی نقش اساسی دارد. در این سیستم مهاربند قطری برای فشار طراحی نشده است.

پنج سیستم مهاربندی شده با تکنیک DKB در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. در همه موارد اتصال مهاربند کششی به وسط عضو زانویی مفصلی می‌باشد و زانو به صورت گیردار در دو انتها به تیر و ستون متصل شده است. به منظور پرهیز از مشکلات ناپایداری و نیروهای خارج از صفحه در عضو زانویی، مهاربند طوری طراحی شده است که فقط کشش را تحمل کند. در هنگام زلزله ابتدا عضو زانویی از طریق تشکیل مفاصل پلاستیک در دو انتها و میانه دهانه، بدون تسلیم در تیر قاب، شروع به جذب انرژی زلزله می‌کند. ستون‌ها طوری طراحی شده اند که در محدوده الاستیک باقی بمانند.

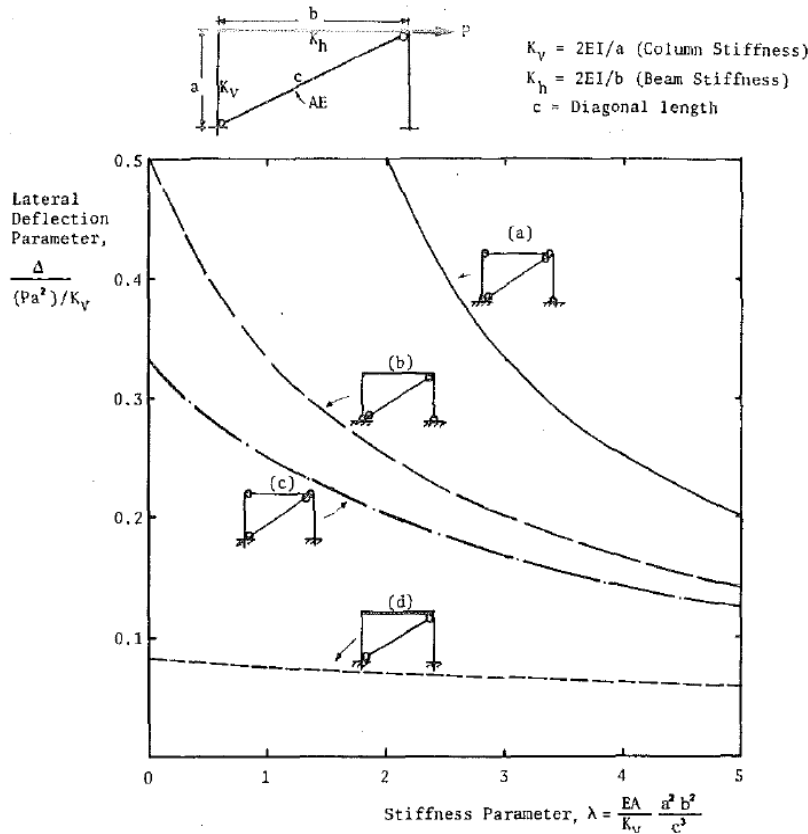


شکل ۱-۱: قابهای مهاربندی شده زانویی اولیه [۴]

¹ Disposable knee bracing

۱-۱-۱) اثرات مهاربند قطری به طور کلی

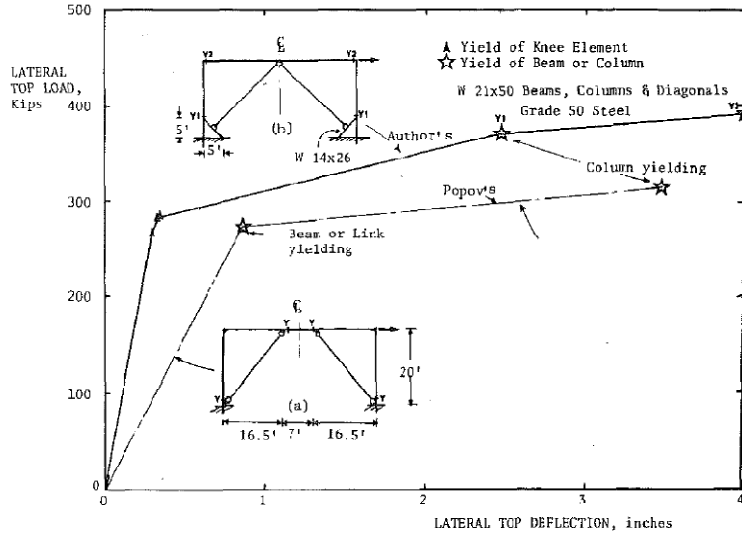
شکل ۲-۱ اثر اندازه سطح مقطع مهاربند روی تغییر شکل جانبی الاستیک قاب با شرایط اتصالات مختلف تحت بار جانبی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل هرچه سطح مقطع مهاربند، مخصوصاً در قاب با اتصالات ساده، بیشتر باشد دریافت جانبی سازه کمتر است. هم چنین سازه با اتصالات صلب تیر به ستون، دریافت بسیار کمتری نسبت به سازه با اتصالات ساده دارد.



شکل ۲-۱: اثر سختی مهاربند روی تغییر شکل الاستیک قاب مهاربندی شده [۴]

۱-۱-۲) تکنیک DKB در مقابل روش پوپوف

شکل ۳-۱ رفتار الاستو پلاستیک دو قاب صلب، EBF با لینک برشی و سیستم DKB، تحت بار افزایشی مونوتونیک را نشان می‌دهد. طول دهانه و ارتفاع در هر دو سازه مورد بررسی به ترتیب ۶.۱m و ۱۲.۹m است. طول تیر پیوند برشی در سازه 'a' و طول زانوها در سازه 'b'، ۲.۱۳m می‌باشد. بقیه مشخصات در شکل ۳-۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص می‌باشد سازه 'b' دارای ظرفیت جذب انرژی، مقاومت و سختی بیشتری است.

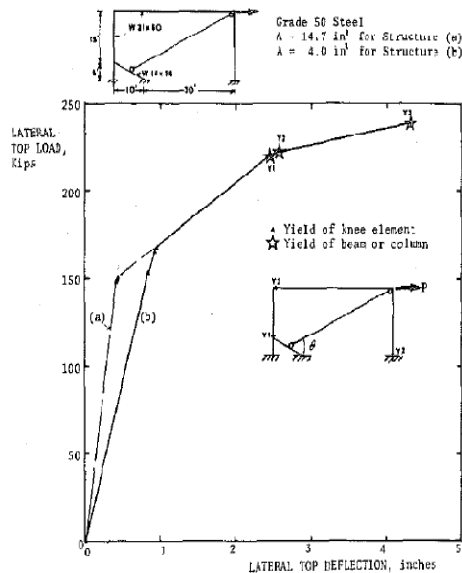


شکل ۳-۱: منحنی نیرو- تغییر مکان قاب صلب [۴]

۳-۱-۱ اثرات مهاربند قطری در تکنیک DKB

به منظور بررسی اثر سطح مقطع مهاربند در این سیستم، دو قاب مشابه با دو مهاربند مختلف در نظر گرفته شده است. با توجه به شکل ۳-۱ مشاهده می‌شود که اثر اندازه سطح مقطع مهاربند در سختی الاستیک قاب قابل توجه است. لازم به ذکر است که مهاربند باید در طول زمان و تحت بار کششی الاستیک باقی بماند.

مهندسين سازه با تکنیک DKB می‌توانند سطح سختی جانبی الاستیک را با تغییر در سطح مقطع مهاربند قطری و سطح مقاومت جانبی را با تغییر در طول المان زانویی کنترل کنند.



شکل ۳-۱: اثر اندازه سطح مقطع مهاربند قطری روی پاسخ غیرالاستیک قاب یک طبقه [۴]