

بررسی اثرات فاصله هسته از بتن محصور کننده بر رفتار مهاربندهای کمانش ناپذیر

مجید قلهکی^{۱*}، امین جمالی فر^۲، امید رضائی فر^۳

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، پردیس فنی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۲- کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، پردیس فنی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۳- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، پردیس فنی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

چکیده

با توجه به معایب رفتار لرزه ای مهاربندهای معمولی به لحاظ شکل پذیری اندک و منحنی هیستریزیس نامتقارن در کشش و فشار و وجود پینچینگ و در نتیجه کاهش میزان استهلاک انرژی، مهاربندهای کمانش ناپذیر به عنوان نسل جدید سیستم مهاربندی پیشنهاد شده اند. در این مقاله به بررسی نوع خاص از اینگونه مهاربندها با هسته فولادی و غلاف بتنی پرداخته شده است و اثرات فاصله هسته از بتن محصور کننده این مهاربندها در قالب تحلیل اجزای محدود مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مود کمانش و جذب انرژی این سیستم بسیار وابسته به مقدار این فاصله بوده و فاصله ۲ تا ۴ میلی متر باعث استهلاک بیشترین انرژی می گردد.

کلمات کلیدی: مهاربند کمانش ناپذیر، فاصله هسته از بتن، منحنی هیستریزیس، استهلاک انرژی.

*نویسنده مسئول: مجید قلهکی

پست الکترونیکی: mgholhaki@semnan.ac.ir

DOI: 10.22065/jsce.2017.43234

شناسه دیجیتال

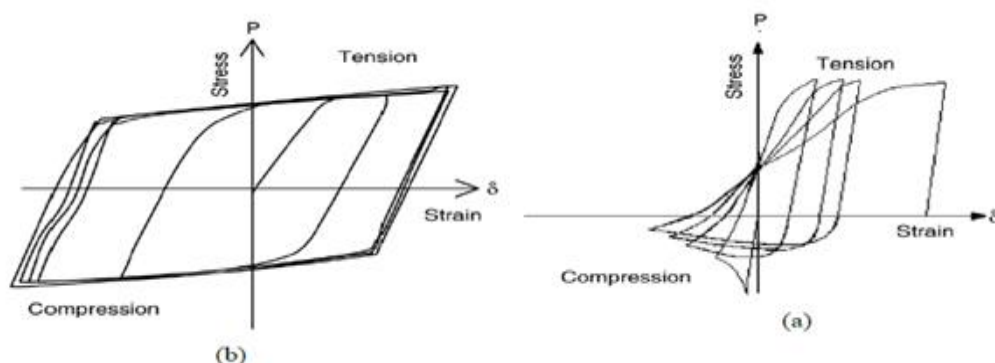
<http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2017.43234>

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۱۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۲۵

۱- مقدمه

مهاربندهای معمولی دارای سختی بالا و شکل پذیری اندک بوده و از جمله معایب آنها می توان به کماتش عضو فشاری، افزایش مساحت مقطع به علت طراحی بر اساس لاغری و چرخه هیستریزیس نامتقارن در کشش و فشار اشاره نمود. به منظور بر طرف کردن این معایب، در سالهای اخیر، سیستم مهاربند کماتش ناپذیر پیشنهاد شده و تحقیقات زیادی بر روی آن صورت گرفته است.

این مهاربندها از دو قسمت اصلی هسته فولادی برای تحمل نیروی کششی و فشاری و غلاف محصور کننده مهاربند که غیر باربر می باشد ساخته شده اند. مهاربند در اثر بار رفت و برگشت زلزله، تحت کشش و فشار قرار گرفته و نیروی کششی به راحتی توسط مقطع تحمل می شود ولی برای جلوگیری از کماتش مهاربند از یک حفاظ پوششی به دور مهاربند استفاده می شود. این حفاظ (مکانیزم محصور کننده هسته) معمولاً با استفاده از بتن محصور شده داخل غلاف فولادی ساخته شده و کماتش مهاربند با کمک حفاظ پوششی به تاخیر افتاده و لذا احتیاج به مقطع چاق تر برای جلوگیری از کماتش نبوده و در واقع به جای مود اول کماتش مودهای بالاتر کماتش حاکم می شود. بر اساس یک سری آزمایش که بر روی این مهاربندها در پژوهشگاه بین المللی زلزله انجام شد ملاحظه شد که مود چهارم کماتش غالب شده و تحمل مقاومت فشاری در مقایسه با مهاربندهای معمولی ۲۰ تا ۲۵ برابر می باشد [۱ و ۲]. دیگر مزیت این مهاربندها رفتار هیستریزیس کاملاً متقارن آن ها میباشد و در مقایسه با منحنی هیستریزیس یک مهاربند معمولی که در شکل ۱ نشان داده شده تفاوت زیادی بین تقارن در آن ها دیده می شود. رفتار هیستریزیس متقارن مهاربندهای کماتش ناپذیر حاکی از توانایی جذب انرژی بالای آنها می باشد. همچنین تعداد چرخه های بارگذاری در این نوع مهاربندها چندین برابر مهاربندهای معمولی است. علاوه بر این، نتایج نشان می دهد که در اینگونه مهاربندها، مقاومت فشاری حتی بیشتر از مقاومت کششی آنها است.



شکل ۱: رفتار چرخه ای مهاربندهای معمولی (a) و کماتش ناپذیر (b) [۲].

استفاده از این مهاربند ها در دهه ۱۹۷۰ میلادی در ژاپن شروع شد. در دهه ۱۹۹۰ محققان ایالات متحده آمریکا روی مهاربند نچسبیده (کوماتش ناپذیر) تحقیقات گسترده ای را شروع کردند که منجر به استفاده از این نوع مهاربند ها در ساختمان ها جهت بهسازی لرزه ای شد. این تحقیقات در کشورهای دیگر دنیا از جمله هند، تایوان و ایران نیز در حال پیگیری است. تحلیل پایداری مهاربندهای کماتش ناپذیر توسط کامرون بلک و همکاران در سال ۲۰۰۲ به طور کامل مورد بررسی قرار گرفت [۴]. بلک و همکاران نشان دادند که در شروع کماتش پلاستیک به سبب فشار تک محوری، تنش برشی و کرنش برشی به مدول برشی مماسی بستگی دارند [۵]. در سال ۲۰۰۲ برای ساخت یک مرکز تحقیقاتی در دانشگاه برکلی، آزمایش هایی بر روی مهاربند های کماتش ناپذیر توسط لویز و همکاران انجام شد [۶]. در سال ۲۰۰۶ یک برنامه تحقیقاتی توسط فاهنستوک و همکاران به منظور ارزیابی مقررات آیین نامه AISC2005 در رابطه با مهاربندهای کماتش ناپذیر برنامه ریزی شد [۷]. هویدا و رفیزی [۸] آخرین مدل مهاربندهای کماتش ناپذیر را مورد مطالعه قرار دادند که مهاربند کماتش تاب تمام فولادی نامیده شده است. در مهاربند تمام فولادی، هسته فولادی با استفاده از مکانیسم های مقید در برابر کماتش که فقط از فولاد هستند احاطه شده اند. استفاده از این مکانیسم زمان مورد نیاز برای در قالب قرار دادن و سخت شدن بتن را حذف و منجر به کاهش زمان ساخت می شود. اما، استفاده از این مکانیزم محصور کننده، وزن، استحکام و سختی مهاربند را کاهش خواهد داد. در این تحقیق نتیجه گرفته شد

که طراحی مهاربند کمانش ناپذیر تمام فولادی با $P_e/P_y \geq 1.4$ ، (که در آن P_e بار کمانش اولیه عضو محصور کننده و P_y مقاومت تسلیم هسته است) باید برای ممانعت به عمل آوردن از کمانش کلی به اندازه ی کافی باشد. همچنین اثبات کردند که فاصله باز بین هسته فولادی و مکانیزم محصور کننده فولادی تاثیر قابل توجهی روی چرخه هیستریزس مهاربند های کمانش ناپذیر تمام فولادی نخواهد داشت. اخیراً" تکیوچی و همکاران [۹] آزمایشاتی روی مهاربندهای کمانش ناپذیر تشکیل شده از صفحات هسته فولادی مهار شده با لوله فولادی پر شده با ملات انجام داده اند. هدف آزمایش مطالعه ی اثر ضخامت ملات و شکل سطح مقطع عرضی مهاربند بود. نتیجه گرفته شد که کمانش محلی هنگامی رخ می دهد که مقاطع مستطیل شکل با نسبت عرض به ضخامت ۶۷-۶۵ مورد استفاده قرار گرفته باشند. آنها همچنین مشخص کردند که استفاده از یک لوله مهار دایره ای از کمانش محلی تا زمانی ممانعت به عمل می آورد که دامنه کرنش پلاستیک به ۳٪ برسد.

در سال ۲۰۱۳ یک تحقیق اجزای محدود توسط عبدالوهاب [۱۰] به منظور بررسی اثرات پارامترهای هندسی هسته و غلاف محصور کننده مهاربندهای کمانش ناپذیر با مکانیزم محصور کننده ی غلاف پر شده با بتن بر روی ظرفیت باربری و میزان استهلاک انرژی این مهاربندها صورت گرفت. در مطالعات گذشته مشخصاً" بر روی اثرات فاصله هسته از بتن محصور کننده مطالعاتی انجام نشده که در تحقیق حاضر به این مساله پرداخته شده است.

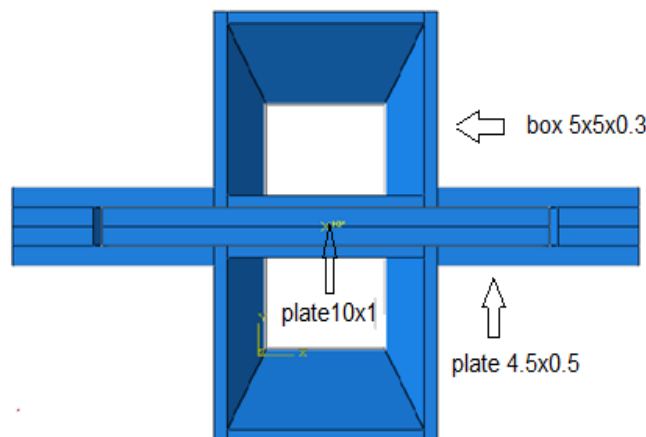
۲- صحت سنجی مدل سازی

به منظور صحت سنجی شیوه مدل سازی و تحلیل صورت گرفته جهت بررسی اثرات فاصله هسته از بتن محصور کننده در مهاربندهای کمانش ناپذیر مدل تمام فولادی مهاربندهای کمانش ناپذیر که توسط ترمبلی و کروزا [۱۱] مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج تحلیل اجزای محدود آن توسط هویدا و رفیزی [۸] ارائه شده انتخاب گردیده است. برای این منظور مدل مطابق جدول ۱ انتخاب شده که مقطع عرضی مهاربند انتخابی مطابق شکل ۲ است.

جدول ۱: مشخصات هندسی مهاربندهای کمانش ناپذیر تمام فولادی [۸]

نام مدل	مقطع BRM	ابعاد هسته (cm)	A_c (cm ²)	Gap (cm)	I_f (cm ⁴)	P_e (kg)	P_{yc} (kg)
S _{ago}	BOX(5X5X0.3)+ 2face plate (4.5x0.5)	۱۰x۱	۱۰	۰.۰	۱۹۰	۹۳۷۶۱	۳۷۰۰

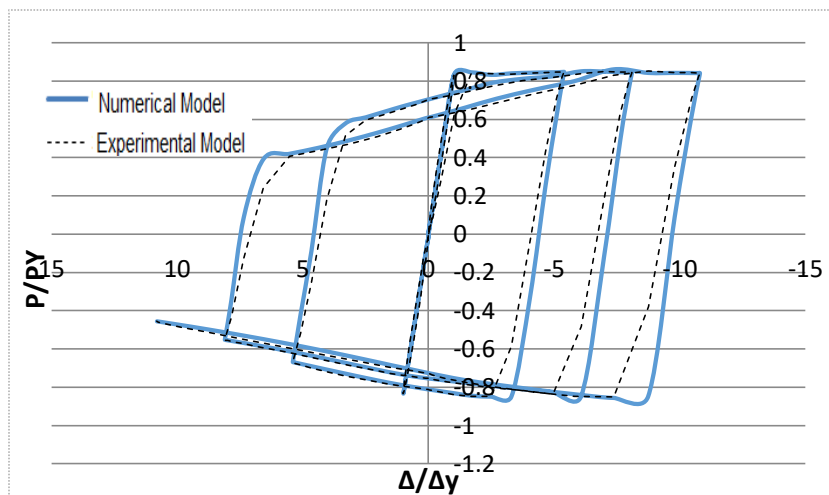
ابعاد بر حسب سانتیمتر



شکل ۲: مقطع عرضی مهاربند کمانش ناپذیر تمام فولادی جهت صحت سنجی.

در جدول ۱، A_c سطح مقطع هسته، Gap فاصله بین هسته تا غلاف، I_r ممان اینرسی مکانیزم محصور کننده، P_e بار کمانش مکانیزم محصور کننده و P_{ye} مقدار بار تسلیم هسته فولادی می باشد.

به منظور مدل سازی و تحلیل مدل آزمایشگاهی در نرم افزار، از المان SOLID استفاده گردیده است که کلیه قسمت های محصور کننده هسته با یکدیگر مطابق شکل ۲ ترکیب شده است. جهت اعمال نقص عضو هندسی ابتدا تحلیل کمانش صورت گرفته و مقدار ۲ میلیمتر به عنوان نقص عضو اولیه با توجه به شکل های (مد) کمانش برای کلیه اعضا در نظر گرفته شده است. تمامی مشخصات هندسی، مقاطع، تحلیل و بارگذاری مطابق نمونه آزمایشگاهی میباشد [۹ و ۸]. نوع دامنه بارگذاری از نوع smooth به دلیل کاهش نویزها در مدل انتخاب گشته است. بر این اساس چرخه هیستریزس مدل عددی مطابق شکل ۳ بوده که تطابق مناسبی با نتایج آزمایشگاهی دارد.



شکل ۳: چرخه هیستریزس مدل عددی و آزمایشگاهی.

۳- مدل سازی نمونه های مهاربند کمانش ناپذیر

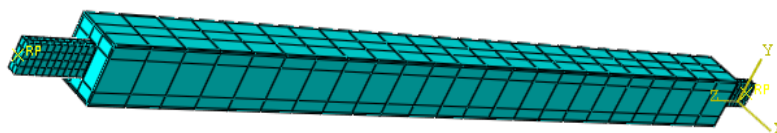
به منظور بررسی اثرات فاصله هسته از بتن محصور کننده ۱۰ نمونه مهاربند کمانش ناپذیر مورد ارزیابی عددی قرار گرفت. جزئیات و مشخصات هندسی مدل ها مطابق جدول ۲ می باشد. تمامی نمونه ها دارای ابعاد هسته و مکانیزم محصور کننده یکسانی هستند. بنابراین مقاومت تسلیم هسته و سختی مکانیزم محصور کننده ثابت بوده و لذا می توان اثرات تغییر فاصله هسته از بتن محصور کننده را بررسی نمود. مقدار طول کل مهاربند برابر ۶۰۰ سانتیمتر بوده و هسته در طول ۵۲۰ سانتیمتر توسط مکانیزم محصور کننده غلاف فولادی با بتن محصور شده است. اجزای مهاربند با استفاده از المان های آجری هشت گرهی C3D8 مطابق شکل ۴ مدل شده است. برای انجام تحلیل ها تحت بارگذاری چرخه ای از نرم افزار Abaqus [۳] استفاده شده است. با توجه به اینکه هسته فولادی تحت تغییر مکان های پلاستیک بزرگ و مدهای کمانش بالا قرار می گیرد لذا دارای ابعاد مش ریزتری نسبت به سایر اجزای مهاربند که انتظار می رود در ناحیه الاستیک قرار گیرند می باشد. رفتار در نظر گرفته شده بین هسته و بتن محصور کننده، رفتار اصطکاکی - مماسی کولمب و دارای سختی زیاد در جهت جابه جایی است. مطابق مطالعات انجام گرفته توسط چو و همکاران در سال ۲۰۱۰ [۱۲] ضریب اصطکاک به منظور در نظر گرفتن لغزش بین هسته و بتن محصور کننده برابر ۰٫۳ پیشنهاد شده است. در این مدل ها امکان جدا شدن هسته از بتن محصور کننده در مدهای بالای کمانش هسته فراهم گردیده است. برای هسته، تنش تسلیم برابر ۲۶۹ مگا پاسکال، مدول یانگ برابر ۱۹۷٫۹۵ گیگا پاسکال و ضریب پواسون ۰٫۳ در نظر گرفته شده است. همچنین حرکتی همسانگرد و خطی سخت شونده در مدل سازی اجزای محدود برای شبیه سازی رفتار غیرخطی مصالح هسته فولادی با مقادیر مدول سخت شونده آغازی سینماتیک و ضریب تناسب به ترتیب برابر ۶٫۵ گیگا پاسکال و ۹۰ منظور شده است. مشخصات مصالح بتنی از نتایج مطالعات عبدالوهاب [۱۲] که در راستای اهداف موسسه استار سایسمیک (شرکت معتبر سازنده مهاربندهای کمانش ناپذیر) صورت پذیرفته انتخاب گردید. همچنین مقدار ۰٫۳ سانتیمتر به عنوان نقص عضو برای آغاز کمانش مهاربند منظور شده است.

پنج فاصله بین هسته و بتن محصور کننده مطابق جدول ۲ مورد بررسی قرار گرفت. تغییرشکل های محوری در یک انتهای مهاربند مسدود گشته و جابه جایی محوری در انتهای دیگر به پیروی از بار شبه استاتیکی مطابق پروتکل پیشنهادی مقررات لرزه ای AISC برای مهاربندهای کمانش ناپذیر اعمال شده است. مطابق این پروتکل دو چرخه از $\pm 2\Delta_{bm}$, $\pm 1.5\Delta_{bm}$, $\pm 0.5\Delta_{bm}$, $\pm \Delta_y$ که تغییر مکان متناظر با تسلیم هسته بوده و Δ_{bm} تغییر شکل محوری مهاربند متناظر با دریافت طرح طبقه می باشند. براساس مطالعات انجام شده توسط ترمبلی در سال ۲۰۰۶ [۱۳]، حداکثر دامنه کرنش در طول هسته مهاربند که باعث گسیختگی می شود برابر ۰,۰۱ تا ۰,۰۲ در ساختمان ها با کاربری معمولی است.

جدول ۲: مشخصات هندسی اجزاء مهاربندهای مورد بررسی

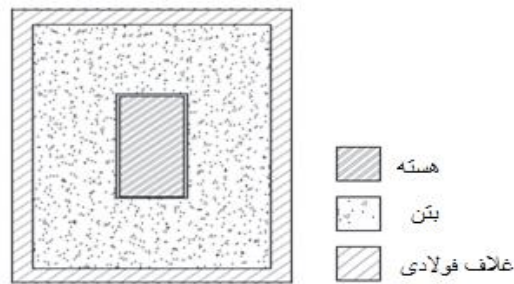
نام مدل	ابعاد هسته (ارتفاع * عرض) cm	ابعاد غلاف محصور کننده (HSS) (ارتفاع * عرض) cm	فاصله هسته از بتن داخل غلاف (mm)
M1	۵ * ۱۵	۲۵ * ۳۰	۰
M2	۵ * ۱۵	۲۵ * ۳۰	۲
M3	۵ * ۱۵	۲۵ * ۳۰	۴
M4	۵ * ۱۵	۲۵ * ۳۰	۶
M5	۵ * ۱۵	۲۵ * ۳۰	۸
M6	۹ * ۹	۲۸ * ۲۸	۰
M7	۹ * ۹	۲۸ * ۲۸	۲
M8	۹ * ۹	۲۸ * ۲۸	۴
M9	۹ * ۹	۲۸ * ۲۸	۶
M10	۹ * ۹	۲۸ * ۲۸	۸

در تمامی نمونه ها ضخامت غلاف فولادی محصور کننده بتن (HSS) برابر یک سانتیمتر در نظر گرفته شد. در این مقاله با توجه به کرنش ۰,۰۲ و مشخصات مصالح، مقادیر Δ_y و Δ_{bm} به ترتیب برابر ۰,۹ و ۱۲ سانتیمتر منظور شده است. بنابراین حداکثر تقاضای جابه جایی محوری مهاربند در مدت زمان بارگذاری چرخه ای برابر $2x\Delta_{bm}=24\text{cm}$ است. مقطع عرضی مهاربند کمانش ناپذیر مورد بررسی مطابق شکل ۵ میباشد.

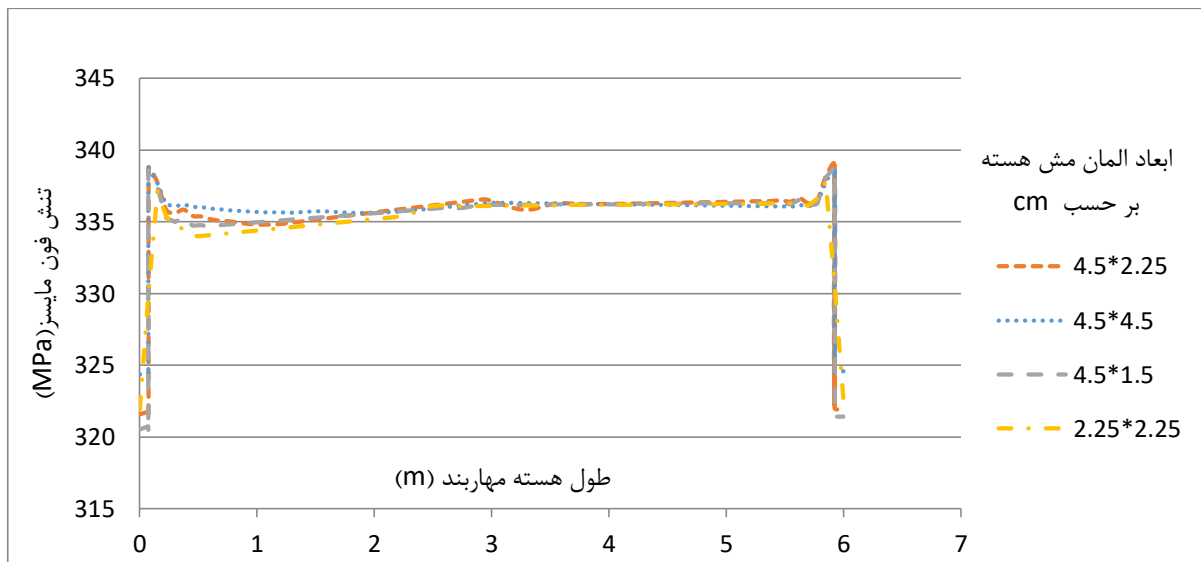


شکل ۴: مدل شبکه اجزای محدود مهاربند کمانش ناپذیر.

به منظور بررسی حساسیت ابعاد مش بندی، چهار سایز مختلف برای هسته در نظر گرفته شده و مقدار تنش فون مایسز در راستای طول مهاربند مطابق شکل ۶ بررسی گردید.

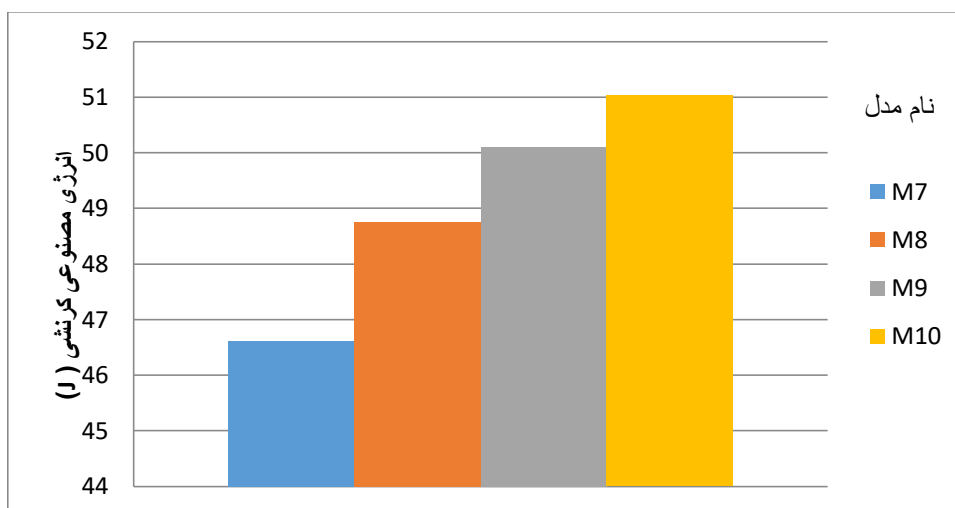


شکل ۵: مقطع عرضی شماتیک مهاربند کمانش ناپذیر با مکانیزم محصور کنندگی CFST.



شکل ۶: اثرات ابعاد المان هسته بر تنش فون مایسز.

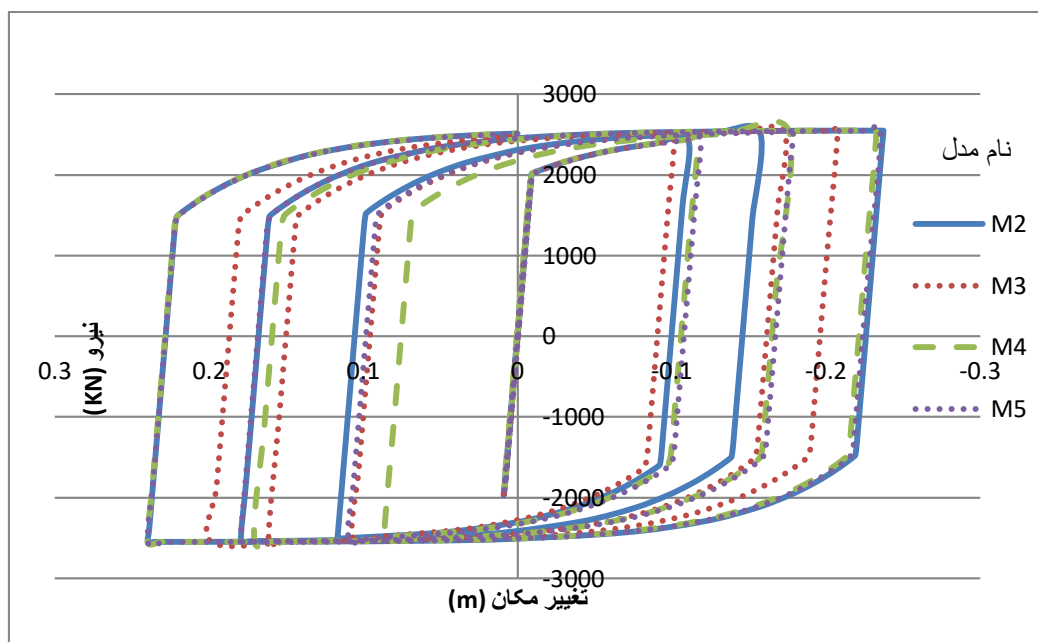
مطابق شکل ۶، نتایج نشان می دهد که تحلیل‌های عددی، به ابعاد المان های هسته وابستگی اندکی داشته و این مساله یکی از مزایای تحلیل اجزای محدود به روش ضمنی است. جهت اعمال شرایط مرزی لولا به دو انتهای مهاربند از نقاط مرجع^۱ اختصاص شرایط مرزی به این نقاط استفاده گردیده است. برای این منظور المان پوسته ای صلبی به یک انتهای مهاربند با استفاده از قیود لازمه متصل گردیده تا امکان استفاده از دو نقطه مرجع فراهم گردد. مطابق شکل ۷ مشاهده می گردد میزان تفاوت انرژی کرنشی در مدل ها بسیار ناچیز بوده که دلالت بر بی اثر بودن استفاده از المان پوسته ای ذکر شده بر نتایج تحلیل دارد [۴].



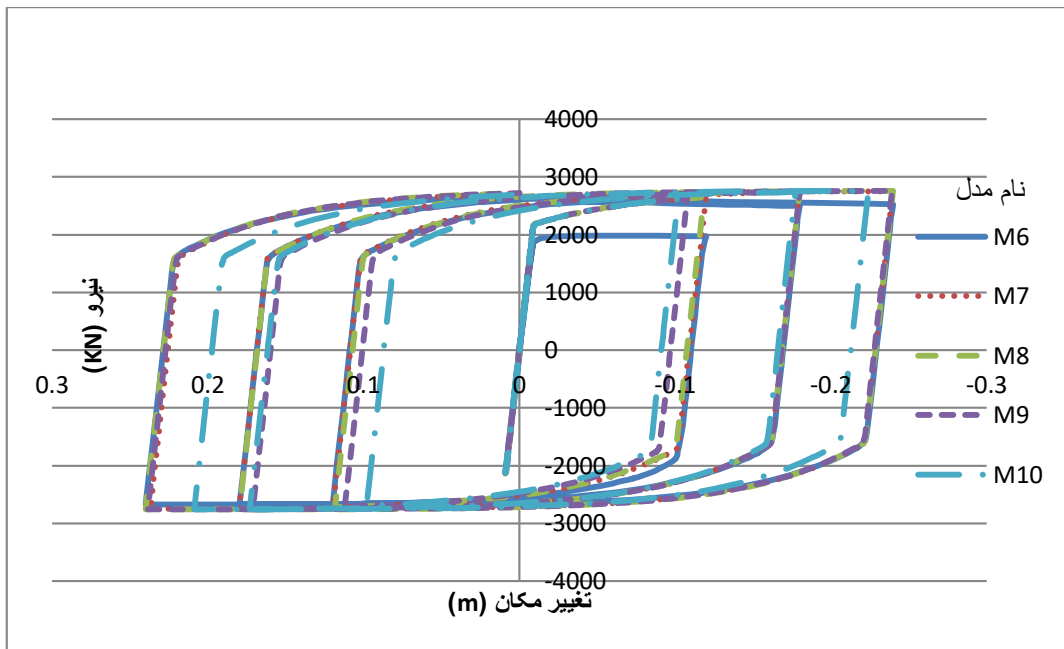
شکل ۷: انرژی کرنشی مهاربندهای.

۴- نتایج تحلیل اجزای محدود

به منظور بررسی اثرات فاصله هسته از بتن محصور کننده (که یکی از پارامترهایی است که در هنگام ساخت مهاربند به آسودگی قابل کنترل می باشد)، بارگذاری چرخه ای اعمال شده و رفتار مهاربند مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل های ۸ و ۹ رفتار هیستریزس نمونه ها را مطابق مشخصات هندسی جدول ۲ نشان می دهد. همان طور که مشاهده می گردد هیچ زوال مقاومت و سختی قابل توجهی در نمودارهای هیستریزس دیده نشده و چرخه تمامی مدل ها پایدار بوده که یکی از شاخص های اصلی مهاربندهای کمانش ناپذیر است.

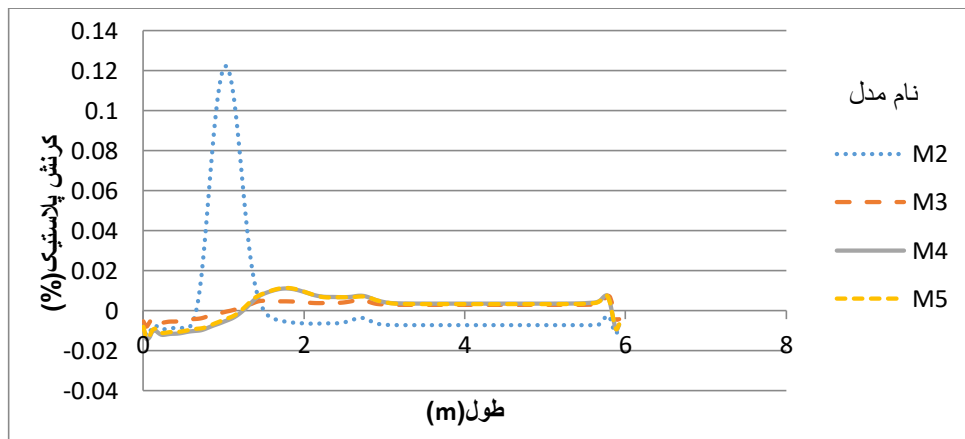


شکل ۸: چرخه هیستریزس مهاربند های کمانش ناپذیر با هسته مستطیلی.

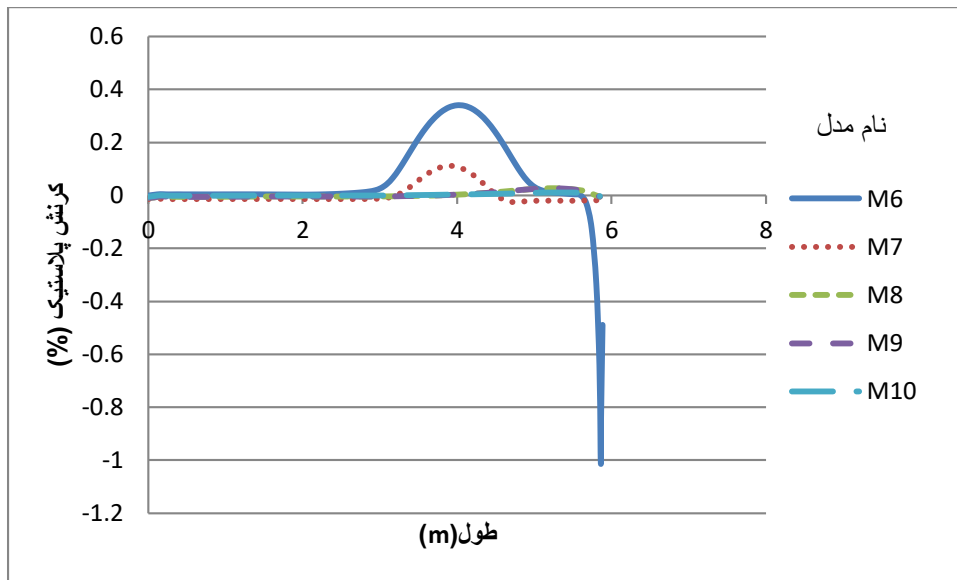


شکل ۹: چرخه هیستریزس مهاربندهای کمانش ناپذیر با هسته مربعی.

همانطور که مشاهده می شود، در مهاربند کمانش ناپذیر دارای تماس مستقیم بین هسته و بتن محصور کننده، میزان شکل پذیری و جذب انرژی (سطح زیر نمودار هیستریزس) از سایر مهاربندها کمتر می باشد. همچنین در مهاربند هایی که فاصله هسته از بتن محصور کننده در محدوده ۲ تا ۴ میلیمتر است، سطح زیر نمودار هیستریزس نزدیک به هم و بیشتر (حدود ۱۵ درصد) از سایر مهاربندها می باشد. مولفه کرنش پلاستیک به عنوان شاخصی جهت تعیین تسلیم مصالح و خواص پلاستیک و شکل پذیری مصالح مورد استفاده است. شکل های ۱۰ و ۱۱ مقادیر کرنش پلاستیک نمونه های مختلف مهاربند را نشان می دهد.



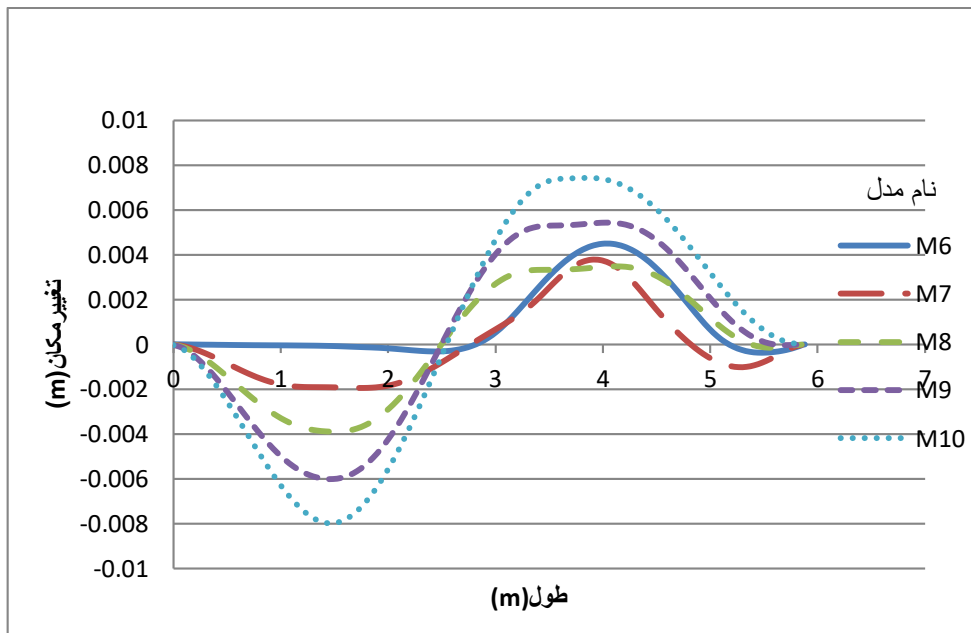
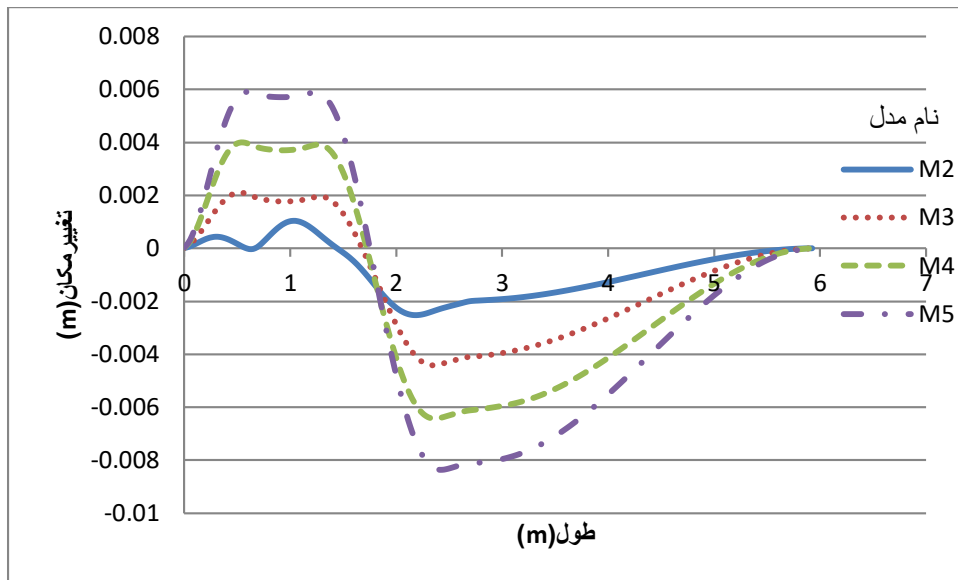
شکل ۱۰: کرنش پلاستیک مهاربند های کمانش ناپذیر با هسته مستطیلی.



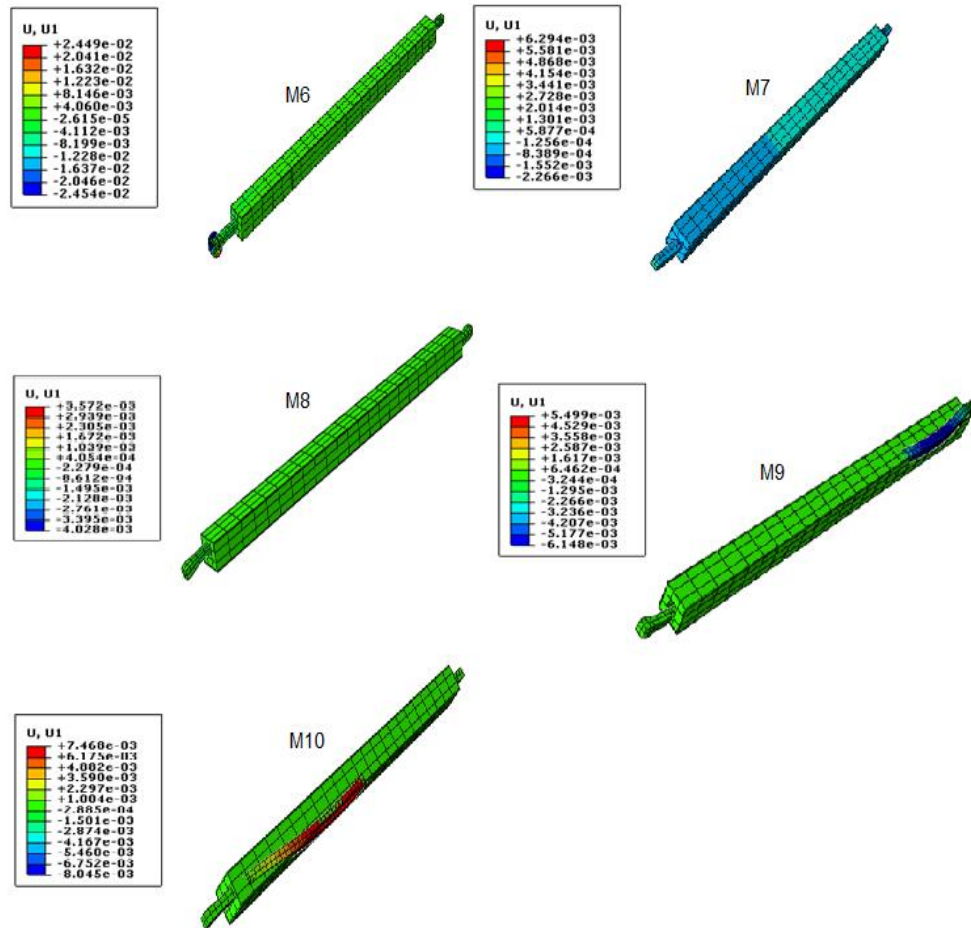
شکل ۱۱: کرنش پلاستیک مهاربند های کمانش ناپذیر با هسته مربعی.

از نمودارهای کرنش پلاستیک مهاربندها مشاهده می گردد که، در مهاربند های کمانش ناپذیر که تماس مستقیم بین هسته و بتن محصور کننده برقرار است میزان کرنش پلاستیک بسیار فراتر از میزان قابل قبول بوده و با افزایش فاصله هسته از بتن داخل غلاف محصور کننده، میزان کرنش پلاستیک کاهش پیدا می کند. یکی از روش های افزایش شکل پذیری، حذف کمانش الاستیک عضو مهاربند است. برای این منظور مطابق رابطه بار بحرانی لازم است شرایطی ایجاد گردد که عضو مهاربند در مدهای بالاتر کمانش کند. مطابق شکل ۱۲ مشاهده می گردد در فاصله معین هسته از بتن محصور کننده یعنی در فواصل ۲ و ۴ میلیمتر، مهاربند در مد بالاتر کمانش نموده است.

به منظور اتصال مهاربند به اسکلت قاب، باید قسمتی از مهاربند محصور نشده باشد. به منظور ممانعت از کمانش قسمت محصور نشده، باید سطح مقطع قسمت محصور نشده به نسبت قسمت محصور شده افزایش یابد. تغییر مقطع نباید به شکل ناگهانی باشد، زیرا این کار موجب تمرکز تنش در ناحیه تغییر مقطع خواهد شد. به این منظور از یک ناحیه انتقالی استفاده می گردد. در شکل ۱۳ تغییر مکان های هسته در ناحیه محصور نشده بدون در نظر گرفتن ناحیه انتقالی در مدلسازی جهت نمایش بهتر اثرات فاصله هسته از بتن محصور کننده مطابق مشخصات مهاربندها مطابق جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که مشاهده میشود، در مهاربندی که تماس مستقیم بین هسته و بتن برقرار است، میزان تغییر شکل محسوس تر بوده و با افزایش این فاصله، میزان تغییر شکل های ناحیه محصور نشده، ابتدا کاهش و سپس افزایش می یابد.



شکل ۱۲: تغییر شکل جانبی هسته (مد کمانش هسته).



شکل ۱۳: تغییر شکل هسته مهاربند کمانش ناپذیر در ناحیه محصور نشده.

۵- نتیجه گیری

مطابق نتایج ارائه شده و تحقیقات صورت گرفته از میزان در نظر گرفته شده جهت فاصله هسته از بتن محصور شده در مهاربندهای کمانش تاب و با توجه به اثرات پواسون خطی و غیر خطی، فاصله ۲ تا ۴ میلیمتر به عنوان فاصله مذکور مطلوب می باشد. همچنین مشاهده گردید در این بازه میزان مساحت سطح زیر نمودار چرخه هیستریزس مهاربند و در نتیجه قابلیت اتلاف انرژی بیشتر می باشد. همچنین تغییر شکل نواحی محصور نشده هسته در فواصل مذکور کمتر بوده و در نتیجه لنگر دورانی کمتری به اتصال وارد می نماید.

مراجع

- [1] Dolce M. Cardone D. and Marnetto R. (2000) Implementation and testing of passive control devices based on shape memory alloys. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29, 945-68.
- [2] Kumar G.R. Kumar S.R. and Kalyanaraman V. (2007) Behavior of frames with Non-Buckling bracings under earthquake loading. *Journal of constructional steel research*, 63, 254-262.
- [3] Analysis Users Manual, "Volume1:Introduction, Spatial Modeling Execution & Out put", Simulia.
- [4] Black, C. J., Markis, N., and Aiken, I., (2002), "Component testing, stability analysis and characterization of Buckling-Restrained Unbonded Braces ", Technical Rep. No. PEER Report 2002/8, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California at Berkeley, Berkeley, Calif.
- [5] Markis, N., (2002), "Plastic torsional buckling of a cruciform column ", *J. Engrg. Mech. ASCE*. Inreview.

- [6] Lopez, W. A., Gwie, D. S., Saunders, C. M., Lauck, T.W., (2002), "Lessons learned from largescale tests of unbonded braced frame subassemblages ", Proceedings 71st Annual Convention, Structural Engineers Association of California, Sacramento, California.
- [7] Fahnestock, L. A., Sause, R., and Ricles, J. M., (2006), "Seismic response and performance of buckling-restrained braced frames ", Journal of Structural Engineering, ASCE, September 2007, pp. 1195-1204.
- [8] N. Hoveidae and B. Rafezy (2012), "Overall buckling behavior of all-steel buckling restrained braces," Journal of Constructional Steel Research, no. 79, pp. 151-158.
- [9] T. Takeuchi, J. F. Hajjar, R. Matsui, K. Nishimoto and I. D. Aiken (2012), "Effect of local buckling core plate restraint in buckling restrained braces," Engineering Structures, no. 44, pp. 304-311.
- [10] Ahmad Mostafa.Abdulwahab (2013), "Nonliner Finite Element Modeling of The Load-Carrying and Energy Dissipation Capacities for Buckling-Restrained Brace", Sharjah, United Arab Emirates.
- [11] A. Korzekwa & R. Tremblay (2009), "Numerical simulation of the cyclic inelastic behaviour of buckling restrained braces", Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-56326-0.
- [12] Chou, C., Chen, S (2010). Subassemblage tests and finite element analyses of sandwiched buckling restrained braces, Engineering Structures, 32:8, 2108-2121.
- [13] Tremblay, R., Bolduc, P., Neville, R., and DeVall(2006), R. Seismic testing and performance of buckling restrained bracing systems. Can. J. Civ. Eng. 33(1): 183-198.