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

مجيد قلهكي الله، امين جمالي فر٢، اميد رضائي فر٣

۱ – دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، پردیس فنی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران ۲ – کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، پردیس فنی، دانشگاه سمنان، اسمنان، ایران ۳ – استادیار، دانشکده مهندسی عمران، پردیس فنی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

## چکیدہ

با توجه به معایب رفتار لرزه ای مهاربندهای معمولی به لحاظ شکل پذیری اندک و منحنی هیسترزیس 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.

كلمات كليدى: مهاربندكمانش ناپذير، فاصله هسته از بتن، منحنى هيسترزيس، استهلاك انرژى.

\*نویسنده مسئول: مجید قلهکی پست الکترونیکی: mgholhaki@semnan.ac.ir

DOI: 10.22065/jsce.2017.43234

تاریخ دریافت مقاله: ۱/۱۵/۱/۱۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۲۵ - ۱۳۹۵/۱۱/۲۵ http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2017.43234

> سال چهارم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶ www.SID.ir

شناسه ديجيتال

#### ۱– مقدمه

مهاربندهای معمولی دارای سختی بالا و شکل پذیری اندک بوده و از جمله معایب آنها می توان به کمانش عضو فشاری، افزایش مساحت مقطع به علت طراحی بر اساس لاغری و چرخه هیسترزیس نامتقارن در کشش و فشار اشاره نمود. به منظور بر طرف کردن این معایب، در سالهای اخیر، سیستم مهاربند کمانش 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 فشار ی 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 کمانش مهاربند از یک حفاظ پوششی به دور مهاربند استفاده می شود. این حفاظ (مکانیزم محصور کننده هسته) معمولا" با استفاده از بتن محصور شده داخل غلاف فولادی ساخته شده وکمانش مهاربند با کمک حفاظ پوششی به تاخیر افتاده و لذا احتیاج به مقطع چاق تر برای جلوگیری از کمانش نبوده و در واقع به جای مود اول کمانش مهاربند با کمک حفاظ پوششی به تاخیر بر اساس یک سری آزمایش که بر روی این مهاربندها در پژوهشگاه بین المللی زلزله انجام شد ملاحظه شد که مود چهارم کمانش 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 هیسترزیس کاملا" متقارن آن ها میباشد و در مقایسه با مهاربندهای معمولی ۲۰ تا ۲۵ برابر می باشد[۱ و ۲]. دیگر مزیت این مهاربندها رفتار هیسترزیس در آن ها دیده می شود. رفتار هیسترزیس متقارن مهاربندهای کمانش ناپذیر حاکی از توانایی جذب انرژی بالای آنها می باشد. همچنین تعداد چرخه های بارگذاری در این نوع مهاربندهای خوان مهاربندهای معمولی که در شکل ۱ نشان داده شده تفاوت زیادی بین تقارن مر آن ها دیده می شود. رفتار هیسترزیس متقارن مهاربندهای کمانش ناپذیر حاکی از توانایی جذب انرژی بالای آنها می باشد. همچنین میاربندها، مقاومت فشاری در این نوع مهاربندهای چندین برابر مهاربندهای معمولی است. علاوه بر این، نتایج نشان می دهد که در اینگونه



شکل۱ : رفتار چرخه ای مهاربندهای معمولی(a) وکمانش 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 (کمانش 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 کمانش 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 کمانش 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 کمانش ناپذیر توسط لوپز و همکاران انجام شد سال ۲۰۰۶ یک برنامه تحقیقاتی توسط فاهنستوک وهمکاران به منظور ارزیابی مقررات آیین نامه AISC2005 در رابطه با مهاربندهای کمانش ناپذیر برنامه ریزی شد [۷]. هویدا و رفیزی [۸] آخرین مدل مهاربندهای کمانش ناپذیر را مورد مطالعه قرار دادندکه مهاربندهای کمانش ناپذیر برنامه ریزی شد ایا. هویدا و رفیزی [۸] آخرین مدل مهاربندهای کمانش ناپذیر را مورد مطالعه قرار دادندکه مهاربند کمانش تاب تمام فولادی نامیده شده است. درمهاربند تمام فولادی، هسته فولادی با استفاده از مکانیسم های مقید در برابر کمانش که فقط از فولاد هستند می شود. اما، استفاده از این مکانیسم زمان مورد نیاز برای در قالب قرار دادن و سخت شدن بتن را حذف و منجر به کاهش زمان ساخت که طراحی مهاربند کمانش ناپذیر تمام فولادی با 1.4 ≤ Pe/Py ، (که در آن Pe بار کمانش اویلر عضو محصور کننده و Po 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 هیسترزیس مهاربند های کمانش ناپذیر تمام فولادی نخواهد داشت. اخیرا" تاکیوچی 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 ۶۹–۶۵ 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 کنندگی غلاف پر شده با بتن بر روی ظرفیت باربری و میزان استهلاک انرژی این مهاربندها صورت گرفت. در مطا لعات گذشته مشخصا" 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 مدلسازی

به منظور صحت سنجی شیوه مدلسازی 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 کروزوا [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.



#### جدول۱ : مشخصات هندسی مهاربندهای کمانش ناپذیر تمام فولادی [۸]

شكل ۲ : مقطع عرضى مهاربند كمانش ناپذير تمام فولادى جهت صحت سنجى.

در جدول ۱۰ Ac سطح مقطع هسته، Gap فاصله بین هسته تا غلاف، Ir ممان اینرسی مکانیزم محصور کننده، Pe بار کمانش مکانیزم محصور کننده و Pye 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 اعضاء در نظر گرفته شده است. تمامی مشخصات هندسی، مقاطع، تحلیل و بارگذاری مطابق نمونه آزمایشگاهی میباشد [ ۸و۹]. نوع دامنه بارگذاری از نوع smooth به دلیل کاهش نویزها در مدل انتخاب گشته است. بر این اساس چرخه هیسترزیس مدل عددی مطابق شکل ۳ بوده که تطابق مناسبی با نتایج آزمایشگاهی دارد.



شکل۳ : چرخه هیسترزیس مدل عددی و آزمایشگاهی.

# ۳– مدلسازی نمونه های مهاربند کمانش ناپذیر

به منظور بررسی اثرات فاصله هسته از بتن محصور کننده ۱۰ نمونه مهاربند کمانش ناپذیرمورد ارزبایی عددی قرار گرفت. جزئیات و مشخصات هندسی مدل ها مطابق جدول ۲ می باشد. تمامی نمونه ها دارای ابعاد هسته و مکانیزم محصور کنندگی یکسانی هستند. بنابراین مقاومت تسلیم هسته و سختی مکانیزم محصور کنندگی 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 کنندگی 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 و مدهای کمانش بالا قرار می گیرد لذا دارای ابعاد مش ریزتری نسبت به سایر اجزای مهاربند که انتظار می رود در ناحیه الاستیک بزرگ می باشد. رفتار در نظر گرفته شده بین هسته و بتن محصور کننده، رفتار اصطکاکی 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 مهاربند که انتظار می رود در ناحیه الاستیک قرار گیرند بین محصور کننده برابر ۳٫۰ پیشنهاد شده است. در این ا ۲۰۰ [۱۲] ضریب اصطکاک به منظور در نظر گرفتن لغزش بین هسته و 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 فراهم گردیده است. برای هسته، تنش تسلیم برابر ۴۶۲۵مگا پاسکال، مدول یانگ برابر ۱۹۷۹ کی گیا پاسکال و ضریب پواسون ۲٫۰ در نظر فراهم گردیده است. می معین حرکتی همسانگرد و خطی سخت شونده در مدل سازی اجزای محدود برای شبیه سازی در نظر گرفته شده است. همچنین حرکتی همسانگرد و خطی سخت شونده در مدل سازی اجزای محدود برای شبیه سازی رفتار غیرخطی مصال مرفته مدولادی با مقادیر مدول سخت شوندگی آغازی سینماتیک و ضریب تناسب به ترتیب برابر ۴٫۵ گیگا پاسکال و ۲۰ منظور شده است. مشخصات مصالح بتنی از نتایج مطالعات عبدالوهاب [۱۲] که در راستای اهداف موسسه استار سایسمیک (شرکت معتبر سازنده مهاربندهای 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 1.5Δ<sub>bm</sub>, ±1.5Δ<sub>bm</sub>, ±0.5Δ<sub>bm</sub>, ±Δ<sub>Y</sub> که <sub>4</sub>Δ تغییر مکان متناظر با تسلیم هسته بوده و ملک تغییر شکل محوری مهاربند متناظر با دریفت 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.

فاصله هسته از بتن داخل غلاف (mm)	ابعاد غلاف محصور کننده(HSS) (ارتفاع#عرض) (cm)	ابعاد هسته (ارتفاع* عرض) cm	نام مدل
•	۲۵*۲۰	۵*۱۵	M1
٢	۲۵*۲۰	۵*۱۵	M2
۴	۲۵*۲۰	۵*۱۵	МЗ
۶	۲۵*۳۰	۵*۱۵	M4
٨	۲۵ <b>%</b> ۳۰	۵*۱۵	M5
	۲۸ <b>«</b> ۲۸	9*9	M6
٢	۲۸ <b>«</b> ۲۸	9*9	M7
4	۲۸ <b>%</b> ۲۸	٩*٩	M8
۶	۲۸ <b></b> *۲۸	٩*٩	M9
λ	۲۸ <b></b> *۲۸	٩*٩	M10

جدول۲ : مشخصات هندسی اجزاء مهاربندهای مورد بررسی

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 ۵<sub>۷</sub> و<sub>مل</sub>۵ 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 2x۵<sub>bm</sub>=24cm است. مقطع عرضی مهاربند کمانش ناپذیر مورد بررسی مطابق شکل ۵ میباشد.



شکل۴ : 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.



شکل۵ : مقطع عرضی شماتیک مهاربند کمانش ناپذیر با مکانیزم محصور کنندگیCFST.



شکل۶ : 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<sup>۱</sup> 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].



شکل۷ : 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 ۸و۹ رفتار هیسترزیس 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 هیسترزیس دیده نشده و چرخه تمامی مدل ها پایدار بوده که یکی از شاخص های اصلی مهاربندهای کمانش ناپذیر است.



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



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 هیسترزیس) از سایر مهاربندها کمتر میباشد. همچنین در مهاربند هایی که فاصله هسته از بتن محصور

و بعب الروی رستی ریز علومار میساریمان از سیر مهربانات عمر میبار میباسا مماری از مهربانا الی عالی عالی مهاربندها میباشد. کننده در محدوده ۲ تا ۴ میلیمتر است، سطح زیر نمودار هیسترزیس نزدیک به هم و بیشتر(حدود ۱۵ درصد) از سایر مهاربندها میباشد. 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.



شکل۱۰ : کرنش پلاستیک مهاربند های کمانش ناپذیر با هسته مستطیلی.



شکل۱۱ : 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 مهاری است. برای این منظور مطابق رابطه بار بحرانی لازم است شرایطی ایجاد گردد که عضو مهاری در مدهای بالاتر کمانش کند. مطابق شکل م می گردد در فاصله معین هسته از بتن محصور کننده یعنی در فواصل ۲ و۴ 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 تغییرمکان های هسته در ناحیه محصور نشده بدون در نظر گرفتن ناحیه انتقالی در مدلسازی جهت نمایش بهتر اثرات فاصله هسته از بتن محصور 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.





شکل۱۳ : 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 هیسترزیس 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 Dissipationc Apacitice 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.