

تحلیل مد کمانشی و تنش حد کمانشی اعضای تیرستون فولادی جعبه‌ای تحت برهمکنش نیروی محوری فشاری-لنگر خمشی

محمد کبیری

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد میانه، میانه، ایران

محمد نوروزی

مربی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد میانه، میانه، ایران

muhammadkabiri@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۲۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۰۹/۰۱

چکیده

تیر-ستون‌ها تحت اثر توام خمش و فشار هستند، با توجه به این که کمانش در این اعضا در یکی از اشکال جانبی، پیچشی و پیچشی-جانبی رخ می‌دهد، نسبت لنگر خمشی و نیروی محوری فشاری تاثیر چشم‌گیری بر رفتار کمانشی می‌گذارد. در این پژوهش عملکرد تیر-ستون‌های جعبه‌ای جدار نازک بسته فولادی، با مقاطع جعبه‌ای تحت شرایط بارگذاری مختلف، بار متمرکز در وسط دهانه و بار گسترده خطی با روش اجزای محدود و با شرایط تکیه‌گاهی دو سر مفصل در محدوده رفتار ارتجاعی مورد بررسی قرار گرفته است. مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، به علت بزرگ بودن لنگر حد کمانشی از لنگر حد تسلیم برای مقاطع جعبه‌ای تحت خمش، هیچ نوع کمانش کلی را قابل وقوع نمی‌داند، البته به احتمال وقوع کمانش پیچشی-جانبی در محدوده تغییر شکل‌های فرا ارتجاعی برای تیرهای لرزه‌ای اشاره می‌کند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد در حضور بارهای خمشی، مد کمانشی مقاطع مورد مطالعه از کمانش جانبی به پیچشی-جانبی تغییر می‌کند و هرچه نسبت بارهای خمشی به بارهای محوری بیشتر شود تغییر شکل‌های پیچشی بیشتر خواهد شد. اما در حضور بارهای خمشی در صفحه کمانش، مد کمانشی مقاطع در مقدار مشخصی از بار خمشی، از کمانش کلی به کمانش موضعی تغییر خواهد کرد. در مقایسه بین سه بارگذاری، کمترین نسبت M/P که منجر به وقوع کمانش کلی می‌شود مربوط به بارگسترده یکنواخت است. با انتخاب شرایط مناسب تکیه‌گاهی به لحاظ تقید دوران حول هر یک از محورهای عضو و شکل مناسب مقطع جعبه‌ای می‌توان مقاومت عضو تحت اندرکنش بار محوری فشاری-لنگر خمشی بهبود بخشید.

کلیدواژه‌گان: کمانش، تیر-ستون، مقاطع جعبه‌ای، اندرکنش نیروی محوری-لنگر خمشی

مقدمه

اعضای جدار نازک بطور گسترده‌ای در سازه‌های ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند که نمونه بارز این اعضا، اعضای جعبه‌ای جدار نازک بسته می‌باشد. سازه‌های جدار نازک به سازه‌هایی نسبت داده می‌شوند که اجزای تشکیل‌دهنده آن دارای ضخامت بسیار کمتری نسبت به ابعاد دیگرشان باشند [۱]

کمانش در علم مقاومت مصالح، به رفتاری گفته می‌شود که معمولاً از عضو تحت فشار سر می‌زند. اجزا تحت فشار یک سازه، پیش از رسیدن به حداکثر مقاومت فشاری، تحت اثر تحت اثر پدیده کمانش دچار شکست خواهند گردید. ستون لاغر (ستون بلندتر و سطح مقطع کوچکتری) زودتر تحت اثر پدیده کمانش تسلیم می‌گردد. کمانش به دو صورت ممکن است رخ دهد؛ الف: کمانش کلی عضو، ب: کمانش موضعی. در کمانش موضعی یکی از اجزا تشکیل‌دهنده یک عضو (بال یا جان تیر و...) در صفحه خود، دچار تغییر شکل کمانشی می‌شوند. [۲]

مهمترین عوامل موثر در کمانش کلی یک تیر-ستون، عبارتند از: هندسه و ابعاد سطح مقطع عضو، طول بدون مهاربندی جانبی عضو، شرایط تکیه‌گاهی و بارگذاری، مشخصات مصالح مصرفی. کمانش کلی معمولاً در سازه‌های جدار نازکی که سطح مقطع آن‌ها نسبت به طولشان بسیار کوچکتر باشد رخ می‌دهد. کمانش کلی به سه نوع تقسیم می‌شوند: کمانش خمشی (یا جانبی)، کمانش پیچشی، کمانش پیچشی-خمشی (یا پیچشی-جانبی) تیر-ستون‌ها به عنوان اعضای در معرض بارهایی که ترکیبی از نیروهای محوری و نیروهای خمشی هستند تعریف می‌شوند. این نیروها با توجه به نسبت ترکیبشان رفتار و تغییر شکل اعضا را تحت تاثیر قرار می‌دهند. در کمانش کلی هندسه و ابعاد سطح مقطع عضو، طول مهارنشده به لحاظ جانبی عضو، شرایط تکیه‌گاهی، بارگذاری، مشخصات مصالح مصرفی و نسبت ترکیبی لنگر خمشی و نیروی محوری مؤثرند. با ثابت در نظر گرفتن پارامترهای هندسی و مشخصات مصالح، می‌توان دریافت که نسبت ترکیبی لنگر خمشی و نیروی محوری تاثیر چشمگیری بر رفتار عضو دارد. [۳]

مقاطع جعبه‌ای در کشورهای پیشرفته به شیوه نورد سرد تولید می‌شوند که H.S.S^{۱۵} نام دارند ولی در ایران با استفاده از چهار ورق و استفاده از جوش سرتاسری، مربعی یا مستطیلی شکل ساخته می‌شوند. امروزه استفاده از این نوع مقاطع به دلیل مقاومت مناسب و وزن کم مورد توجه قرار گرفته است تا جایی که در برخی کشورها آن را به صورت نورد سرد تولید می‌کنند. [۱]

باید تیرستون‌های جعبه‌ای در مقابل پدیده‌ی کمانش مقاومت لازم را داشته باشند. نوع کمانش با توجه به پارامترهای هندسی عضو، شرایط تکیه‌گاهی و بارگذاری متفاوت است و تنش وارده در هنگام وقوع کمانش نیز بالطبع مقادیر متفاوتی خواهد داشت. [۴]

پیشینه تحقیق

چن^{۱۶} و دان^{۱۷} در سال ۱۹۹۰ به بررسی رفتار اندرکنشی تیر-ستون های جدار نازک بسته پرداخته‌اند. در این مقاله از مقاطع لوله‌ای، با مقطع دایره استفاده شده‌است. این تیر-ستون‌ها تحت اثر بار محوری فشاری و لنگر دو انتها و همچنین بار محوری فشاری و بار گسترده خطی می‌باشند. نتیجه پژوهش آن‌ها اثبات محافظه کارانه بودن روابط آیین نامه آمریکا بود. [۵]

کولاکوسکی^{۱۸} و تتر^{۱۹} در سال ۲۰۰۰ کمانش تیر-ستون‌های جدار نازک با سختی متوسط و ضخامت متغییر را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش تیر-ستون‌ها با شرایط تکیه‌گاهی دو سر ساده بوده و تحت بار محوری فشاری و یک لنگر خمشی ثابت قرار گرفتند. در نتیجه این پژوهش روابط مربوط به رفتار پس کمانشی سازه بهبود یافته و تغییر مد کمانشی عضو با افزایش بار به حد نهایی با در نظر گرفتن اعوجاج و لنگر برشی بررسی شده است. [۶]

موهری^{۲۰} و همکاران در سال ۲۰۱۳ در پژوهشی اثرات نیروی محوری فشاری روی مقاومت کمانشی جانبی تیرها را بررسی کردند. در این مطالعه شکل خاصی از مقطع جدار نازک بسته تحت نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی بررسی شده است. معادلات حاصل از این مطالعه از مدل غیر خطی بدست آمده است؛ همین‌طور تغییر شکل‌های پیش کمانشی در آن لحاظ شده است. نتیجه این پژوهش، ترسیم منحنی اندرکنشی با احتساب مقاومت کمانشی جانبی و با اعمال نیروی محوری فشاری و با معیار قرار دادن کمانش جانبی-پیچشی بوده است. [۷]

سائولا^{۲۱} و همکاران در سال ۲۰۱۶ رفتار ارتجاعی تیر-ستون‌های جدار نازک بسته مستطیلی را بررسی کردند. در این مقاله از معادلات دیفرانسیل تغییر شکل در تعیین مقاومت کمانشی استفاده شده است. حل این معادلات با استفاده از روش‌های ریتز و گالرکین انجام شده است و رابطه‌ای برای تعیین مقاومت تیر-ستون‌های جعبه‌ای تحت بار خمشی از نوع بارگسترده یکنواخت در حالت کمانش کلی ارائه شده است. [۸]

¹⁶ Chen

¹⁷ Duan

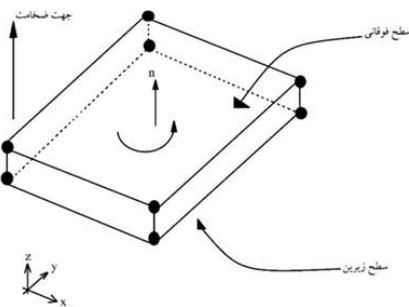
¹⁸ Kolakowski

¹⁹ Teter

²⁰ Mohri

²¹ Saoula

¹⁵ Hollow Structural Section



شکل ۱- المان پوسته‌ای هشت‌گره‌ای S8R5

طبق جدول ۱۰-۲-۱ مبحث دهم، برای مقاطع توخالی مستطیلی شکل تحت اثر نیروی فشاری، تنها کمناش خمشی حاکم خواهد بود. مقاومت فشاری (Pu)، با مقطع بدون اجزای لاغر بر اساس کمناش خمشی با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$Pu = \quad (۲)$$

$$F_{cr} Ag$$

که در آن:

$$Ag = \text{سطح مقطع کلی عضو}$$

F_{cr} = تنش فشاری ناشی از کمناش خمشی که از روابط زیر بدست می‌آید.

$$\text{اگر } \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \text{ یا } \frac{KL}{R} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ باشد:}$$

$$F_{cr} = \quad (۳)$$

$$[(0.658) \frac{F_y}{F_e}] F_y$$

$$\text{اگر } \frac{F_y}{F_e} > 2.25 \text{ یا } \frac{KL}{R} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ باشد:}$$

$$F_{cr} = \quad (۴)$$

$$0.877 F_e$$

اثر توام لنگر خمشی و نیروی محوری برای تعیین ظرفیت خمشی تیرها به صورت زیر تعیین می‌گردد.

$$\text{در حالتی که } \frac{P_u}{P_c} \geq 0.2 \text{ باشد:}$$

(۵)

$$\text{در حالتی که } \frac{P_u}{P_c} < 0.2$$

(۶)

که در آن:

$$P_u = \text{مقاومت فشاری مورد نیاز}$$

$$P_c = \phi_c P_n = \text{مقاومت فشاری طراحی}$$

$$\phi_c = 0.9 = \text{ضریب کاهش مقاومت در فشار}$$

$$M_{ux} = \text{مقاومت خمشی مورد نیاز نسبت به محور قوی X}$$

$$M_{uy} = \text{مقاومت خمشی مورد نیاز نسبت به محور قوی Y}$$

$$M_{cx} = \phi_b M_{ux} = \text{مقاومت خمشی طراحی نسبت به محور قوی X}$$

مدل تحلیلی پیشنهادی سائولا و همکاران قادر است پدیده‌های غیر کلاسیکی نظیر اعوجاج را در بررسی رفتار کمناش تیر-ستون‌های جعبه‌ای در نظر بگیرد. این مقاله بیان می‌کند که تغییر شکل‌های تیر-ستون را می‌توان به صورت توابعی نسبت به مرکز هندسی مقطع تعریف کرد.

نتیجه مطالعه مذکور لزوم در نظر گرفتن تغییر شکل‌های پیچشی در مورد اعضای تحت اثر لنگر خمشی عنوان شد.

مدل‌سازی و بررسی عددی

در این پژوهش عملکرد تیر-ستون‌های جعبه‌ای جدار نازک بسته فولادی، با مقاطع مستطیل تحت شرایط بارگذاری مختلف، شامل لنگر خالص، بار محوری خالص، بار متمرکز در وسط دهانه و بار گسترده خطی با روش اجزای محدود و با شرایط تکیه‌گاهی دو سر مفصل مورد بررسی قرار گرفته است. روش عددی مورد استفاده در این مطالعه، روش تحلیلی براساس روش‌های ریتز^{۲۲} و کالرکین^{۲۳} می‌باشد. مدل انتخاب شده به وسیله روش اجزاء محدود، تحلیل شده است. روش اجزای محدود، یکی از روش‌های عددی می‌باشد که برای حل مسائل پیچیده مهندسی استفاده می‌شود. با توجه به پیچیدگی حل اکثر مسائل مهندسی و همچنین هزینه بالای ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی با مقیاس واقعی، استفاده از روشی سریع و دقیق در محاسبه و پیش‌بینی رفتار سازه‌ها می‌تواند کمک به‌سزایی در پیشرفت علوم مهندسی کند.

در این پژوهش از روش Buckle که زیر مجموعه تحلیل‌گر Abaqus/ Standard می‌باشد، استفاده شده است. در تحلیل Buckle، نرم‌افزار از روش مقادیر ویژه استفاده می‌کند. در این روش نیرویی که باعث صفر شدن سختی سازه می‌شود، محاسبه می‌گردد. برای این کار، نرم‌افزار اقدام به حل رابطه ۱ می‌نماید:

$$[K] - \quad (۱)$$

$$\lambda i [G] = 0$$

که در این رابطه:

$[K]$ = ماتریس سختی که از انرژی کرنشی بدست می‌آید.

$[G]$ = ماتریس هندسی که از انرژی پتانسیل بارهای خارجی بدست می‌آید.

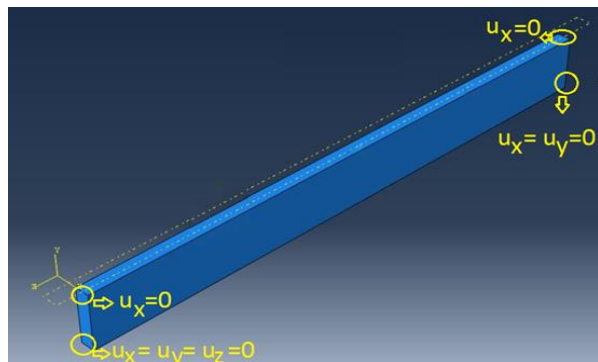
$$\lambda i = \text{مقدار ویژه مد Am}$$

λi = ضریبی است که در صورت اعمال به بار مرده، سیستم را دچار کمناش می‌کند.

نمونه مورد استفاده از المان پوسته‌ای شل مدل‌سازی شده است. برای مش‌بندی، از المان پوسته‌ای هشت‌گره‌ای با پنج درجه آزادی در هر گره (S8R5) استفاده شده است.

²² Ritz

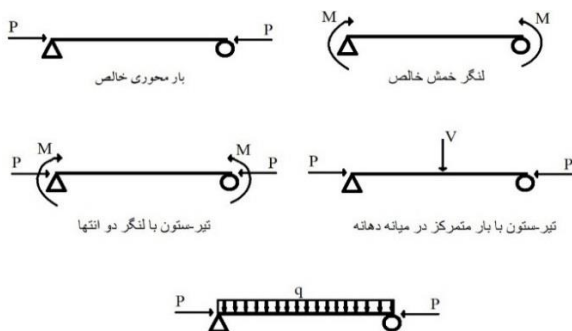
²³ Galerkin



شکل ۳- شرایط تکیه‌گاهی تیرهای جعبه‌ای

شرایط بارگذاری

در این پژوهش، پنج نوع بارگذاری در نظر گرفته شده است که عبارتند از بار محوری خالص، لنگر خمشی خالص، اثر توام لنگر خمشی خالص و بار محوری خالص، بار متمرکز در میانه دهانه و بار گسترده خطی می‌باشد. این شرایط بارگذاری در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۴- شرایط بارگذاری

نتایج اجزای محدود

با انجام تحلیل Buckle بر روی نمونه‌های معرفی شده در بالا، تاثیر ابعاد و شکل مقطع و شرایط بارگذاری بر رفتار کمانشی تیر-ستون‌های جعبه‌ای بررسی شده است. در این بررسی، اولین مد کمانشی با مقدار ویژه مثبت در نظر گرفته شده است.

در این بخش مقاطع باکس ۵۰×۲۰×۲ و باکس ۶۰×۲۰×۲ ارائه شده در جدول ۱ مورد تحلیل اجزای محدود قرار گرفته‌اند. این مقاطع دارای لاغری، عرض و ضخامت یکسان هستند و تنها ارتفاع متفاوتی دارند. در این پژوهش لنگر حد کمانش و نیروی محوری کمانش در حالات لنگر خالص و بار محوری خالص به ترتیب با M_{ocr} و P_{ocr} نمایش داده شده است. این مقادیر برای مقاطع باکس ۵۰×۲۰×۲ و باکس ۶۰×۲۰×۲ در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مقادیر M_{ocr} و P_{ocr} برای مقاطع مستطیلی

نمونه	$M_{ocr}(\text{ton.m})$	$P_{ocr}(\text{ton})$
باکس ۵۰×۲۰×۲	۱۶۲۵٫۳	۹۶۵٫۸۱
باکس ۶۰×۲۰×۲	۱۴۹۲٫۷۴	۹۴۹٫۶۶

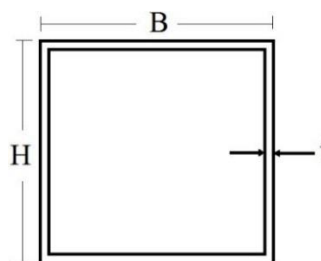
$$\phi_b M_{ny} = M_{cy} = \text{مقاومت خمشی طراحی نسبت به محور قوی } Y$$

$$\phi_b = 0.9 = \text{ضریب کاهش مقاومت برای خمش}$$

طبق جدول ۱۰-۲-۵-۱ مبحث دهم، برای مقاطع توخالی مستطیلی شکل تحت اثر لنگر خمشی، هیچ‌گونه کمانش کلی رخ نمی‌دهد. به دلیل یکسان بودن مقاومت درون صفحه‌ای و برون صفحه‌ای این مقاطع، امکان وقوع کمانش کلی وجود ندارد. مبحث دهم برای تعیین مقاومت خمشی این مقاطع تنها حدود تسلیم و کمانش موضعی را در نظر می‌گیرد.

مشخصات هندسی مقطع

مشخصات ابعاد مقطع مورد استفاده به نحوی انتخاب شده است که با توجه به حدود کمانشی معرفی شده در بخش ۲-۲-۴، در این مقطع هیچ‌گونه کمانش موضعی رخ ندهد. طول نمونه‌ها به نحوی انتخاب شده است که ضریب لاغری تمامی نمونه‌های جعبه‌ای تقریباً برابر ۱۰۴٫۹ باشد. برای مقاطع مستطیلی توخالی، ضخامت تمامی اعضا ثابت و برابر t می‌باشد. ابعاد مقاطع در جدول ۱ با توجه به شکل ۲ ارائه شده است.



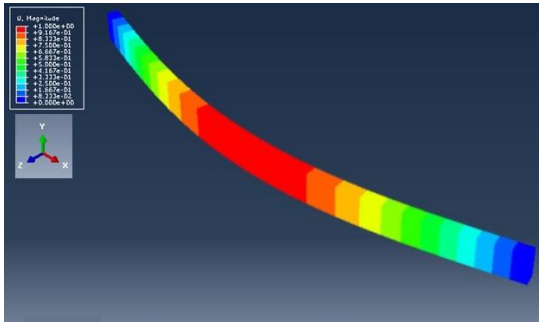
شکل ۲- مشخصات هندسی

جدول ۱: مشخصات ابعادی مقاطع استفاده شده

نمونه	B (cm)	H (cm)	t (cm)	L (cm)	$\frac{L}{r_{min}}$
باکس ۵۰×۲۰×۲	۲۰	۵۰	۲	۸۲۵	۱۰۴٫۸۶
باکس ۶۰×۲۰×۲	۲۰	۶۰	۲	۸۴۰	۱۰۴٫۸۴
باکس ۳۰×۳۰×۲	۳۰	۳۰	۲	۱۲۰۲	۱۰۴٫۸۸
باکس ۲۰×۲۰×۲	۲۰	۲۰	۲	۷۷۵	۱۰۴٫۸۱

شرایط تکیه‌گاهی

کلیه تیر-ستون‌های مورد استفاده دو سر ساده می‌باشند، که شرایط مرزی معرفی شده به نرم‌افزار در شکل ۳ ارائه شده است. برای مقاطع لوله‌ای (با توجه به شکل آن‌ها) تمام محیط در برابر جابجایی‌های در جهت‌های x و y بسته شده‌اند.



شکل ۸- شکل مد کماتشی باکس ۵۰×۲۰×۲ تحت خمش خالص

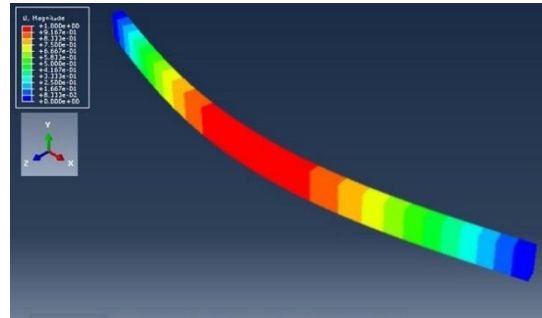
همچنین نتایج حاصل از تحلیل اجزای محدود برای سایر نمونه‌ها در جداول ۳ تا ۹، برای اعضا آمده است. شیوه کار به این شکل است که ابتدا عضو تحت اثر بار محوری خالص قرار می‌گیرد و ظرفیت کماتشی عضو محاسبه می‌گردد. سپس عضو تحت اثر بارگذاری خمشی (بار گسترده خطی یا بار متمرکز در میانه دهانه و یا لنگر دو انتها) قرار می‌گیرد. در این حالت بار محوری برابر صفر خواهد بود ($P=0$). مقاومت کماتش عضو تحت بارگذاری در نظر گرفته شده، محاسبه می‌گردد. سپس نسبت مختلف لنگر خمشی و نیروی محوری محاسبه می‌شود. جدول ۳- نتایج تحلیل اجزای محدود نمونه باکس ۵۰×۲۰×۲ تحت بار محوری و بار گسترده یکنواخت

$q_{cr}(kg/cm)$	$M_{cr}(ton.m)$	$P_{cr}(ton)$	M/P
۰,۰۰	۰,۰۰	۹۶۵,۸۱	۰,۰۰
۳۳۷,۴۶	۳۰۹,۸۱	۹۴۴,۸۱	۰,۳۳
۶۳۳,۰۹	۵۸۱,۲۱	۸۸۶,۳۲	۰,۶۵
۱۱۸۷,۲	۱۰۸۹,۹۲	۶۶۴,۸۳	۱,۶۴
۱۵۴۵,۳۵	۱۴۱۸,۷۲	۴۳۲,۶۹	۳,۲۸
۱۶۹۰,۳۵	۱۵۵۱,۸۴	۳۱۵,۵۳	۴,۹۲
۱۷۶۷,۲	۱۶۲۲,۳۹	۲۴۷,۴۱	۵,۵۶
۱۸۸۷,۳	۱۷۳۲,۶۵	۱۳۲,۱۱	۱۳,۱۱
۲۰۱۲	۱۸۴۷,۱۳	۰,۰۰	-

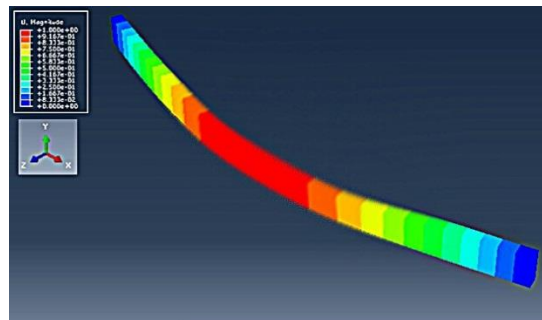
جدول ۴- نتایج تحلیل اجزای محدود نمونه باکس ۵۰×۲۰×۲ تحت بار محوری و بار متمرکز در میانه دهانه

$V_{cr}(kg/cm)$	$M_{cr}(ton.m)$	$P_{cr}(ton)$	M/P
۰,۰۰	۰,۰۰	۹۶۵,۸۲	۰,۰۰
۱۳۵,۴۸	۲۹۰,۲۶	۹۴۸,۳۵	۰,۳۱
۳۱۰,۶۹	۶۶۵,۶۵	۸۶۹,۹۳	۰,۷۷
۴۹۹,۶۶	۱۰۷۰,۵۲	۶۹۹,۵۲	۱,۵۳
۶۵۸,۹۲	۱۴۱۱,۷۴	۴۶۱,۲۴	۳,۰۶
۷۷۱,۷۵	۱۶۵۳,۴۷	۲۱۶,۰۹	۷,۶۵
۷۹۳,۷۳	۱۷۰۰,۵۷	۱۵۸,۷۵	۱۰,۷۱
۸۰۵,۸۶	۱۷۲۶,۵۶	۱۲۵,۳۶	۱۳,۷۷
۸۴۸,۰۵	۱۸۱۶,۹۵	۰,۰۰	-

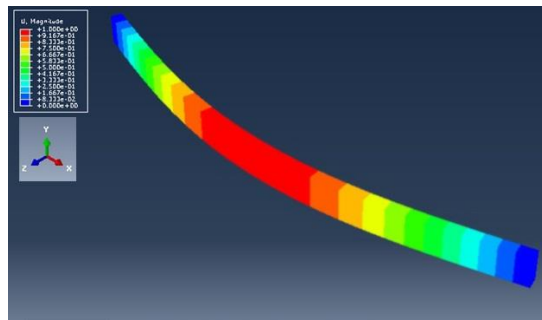
شکل مد کماتشی این حالات بارگذاری در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. کانتورهای رنگی این شکل، مربوط به جابجایی جانبی تیر-ستون (یعنی جابجایی در جهت x) می‌باشند. این اشکال نشان می‌دهند که وقتی عضو تحت اثر لنگر خمشی خالص باشد، وجه فشاری دچار خیز جانبی بزرگتری می‌شود و شکل مد کماتشی، کماتش پیچشی-جانبی است. در حالی که در اعضا تحت فشار خالص، کماتش جانبی رخ می‌دهد.



شکل ۵- شکل مد کماتشی باکس ۵۰×۲۰×۲ تحت فشار خالص



شکل ۶- شکل مد کماتشی باکس ۵۰×۲۰×۲ تحت خمش خالص



شکل ۷- شکل مد کماتشی باکس ۶۰×۲۰×۲ تحت فشار خالص

جدول ۸- نتایج تحلیل اجزای محدود نمونه باکس ۶۰×۲۰×۲ تحت بار

محوری و لنگر دو انتها		
M _{cr} (ton.m)	P _{cr} (ton)	M/P
۰,۰۰	۹۴۹,۶۶	۰,۰۰
۳۰۵,۲۸	۹۱۵,۸۴	۰,۳۳
۵۵۲,۱۱	۸۲۸,۱۶	۰,۶۷
۸۵۸,۸۶	۶۴۴,۱۵	۱,۳۳
۱۱۲۱,۵۲	۴۲۰,۵۷	۲,۶۷
۱۱۸۶,۴۴	۳۵۵,۹۳	۳,۳۳
۱۳۳۰,۰۸	۱۹۹,۵۱	۶,۶۷
۱۴۹۲,۷۴	۰,۰۰	-

قابل ذکر است که طبق تحلیل‌های صورت گرفته وقتی مقاطع جدار نازک بسته جعبه‌ای مستطیلی شکل تحت اثر هم‌زمان بار محوری فشاری و لنگر خمشی باشند، وقتی بار محوری نسبت به لنگر خمشی چشم‌گیرتر باشد، مد غالب، مد کماتش جانبی است. با افزایش لنگر خمشی، مد غالب به مد کماتش پیچشی-جانبی تغییر خواهد کرد. در این بخش مقاومت کماتشی و رفتار تیرهای جدار نازک بسته جعبه‌ای با مقطع مربع شکل مورد بررسی قرار گرفته است. برای این کار، مقاومت کماتشی و شکل مد مقاطع باکس ۳۰×۳۰ و باکس ۲۰×۲۰، ارائه شده در جدول ۹، مطالعه شده است.

وقتی مقاطع مربعی تحت اثر خمش قرار گیرد، هیچ‌گونه کماتش کلی رخ نمی‌دهد. در این حالت مد غالب، مد کماتش موضعی است. مقاومت کماتشی این مقاطع در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۹ مقاومت کماتشی مقاطع جعبه‌ای مربعی تحت نیروی فشاری خالص

نمونه	P _{ocr} (ton)
باکس ۲۰×۲۰×۲	۲۲۰,۶۳
باکس ۳۰×۳۰×۲	۴۷۷,۰۵

شکل مد کماتشی این حالات بارگذاری در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. کانتورهای رنگی این شکل، مربوط به جابجایی جانبی تیر-ستون (یعنی جابجایی در جهت Y) می‌باشند. این اشکال نشان می‌دهند که وقتی عضو تحت اثر لنگر خمشی خالص و تحت فشار خالص، قرار می‌گیرد کماتش جانبی رخ می‌دهد و این کماتش در صفحه Z-Y می‌باشد.

جدول ۵- نتایج تحلیل اجزای محدود نمونه باکس ۵۰×۲۰×۲ تحت بار

محوری و لنگر دو انتها		
M _{cr} (ton.m)	P _{cr} (ton)	M/P
۰,۰۰	۹۶۵,۸۱	۰,۰۰
۳۳۲,۹۴	۹۳۲,۲۳	۰,۳۵
۶۰۲,۴۳	۸۴۳,۴۰	۰,۷۱
۹۳۷,۴۶	۶۵۶,۲۲	۱,۴۳
۱۲۲۳,۸۴	۴۲۸,۳۴	۲,۸۵
۱۳۴۴,۱۲	۳۱۳,۶۲	۴,۲۸
۱۴۰۹,۳۶	۲۴۶,۶۳	۵,۷۱
۱۴۵۰,۱	۲۰۳,۰۱	۷,۱۴
۱۴۷۷,۹۲	۱۷۲,۴۲	۸,۵۷
۱۶۲۵,۲۳	۰,۰۰	-

جدول ۶- نتایج تحلیل اجزای محدود نمونه باکس ۶۰×۲۰×۲ تحت بار

محوری و بارگسترده یکنواخت			
q _{cr} (kg/cm)	M _{cr} (ton.m)	P _{cr} (ton)	M/P
۰,۰۰	۰,۰۰	۹۴۹,۶۶	۰,۰۰
۱۳۱,۳۹	۱۲۴,۳۱	۹۴۶,۰۱	۰,۱۳
۴۹۲,۷۳	۴۶۶,۱۸	۸۸۶,۹۱	۰,۵۳
۲۶۱,۴۳	۹۰,۹۶۳	۶۹۲,۲۳	۱,۳۱
۱۲۸۸,۹۰	۱۲۱۹,۴۶	۴۶۴,۰۰	۲,۶۳
۱۶۸۶,۳۰	۱۵۹۵,۴۵	۶۰,۷۱	۲۶,۲۸
۱۷۳۴,۹۵	۱۶۴۱,۴۸	۰,۰۰	-

جدول ۷- نتایج تحلیل اجزای محدود نمونه باکس ۶۰×۲۰×۲ تحت بار

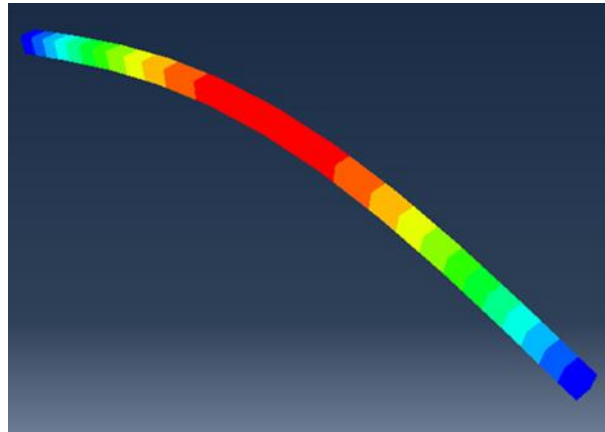
محوری و بار متمرکز در میانه دهانه			
v _{cr} (kg/cm)	M _{cr} (ton.m)	P _{cr} (ton)	M/P
۰,۰۰	۰,۰۰	۹۴۹,۶۶	۰,۰۰
۱۰۳,۹۹	۲۲۶,۱۷	۹۳۵,۸۹	۰,۲۴
۲۴۳,۳۱	۵۲۹,۱۹	۸۷۵,۹۰	۰,۶۰
۴۰۶,۳۰	۸۸۳,۷۰	۷۳۱,۳۴	۱,۲۱
۵۵۶,۷۲	۱۲۱۰,۸۷	۵۰۱,۰۵	۲,۴۲
۶۴۹,۳۶	۱۴۱۲,۳۶	۲۹۲,۲۱	۴,۸۳
۶۶۸,۵۰	۱۴۵۳,۹۹	۲۴۰,۶۶	۶,۰۴
۶۹۰,۴۳	۱۵۰۱,۶۹	۱۷۷,۵۴	۸,۴۶
۷۰۲,۵۹	۱۵۲۸,۱۲	۱۴۰,۵۲	۱۰,۸۸
۷۴۴,۶۹	۱۶۱۹,۷۰	۰,۰۰	-

جدول ۱۰- وضعیت بارهای وارده به باکس $۳ \times ۳ \times ۲$ در لحظه تغییر مد

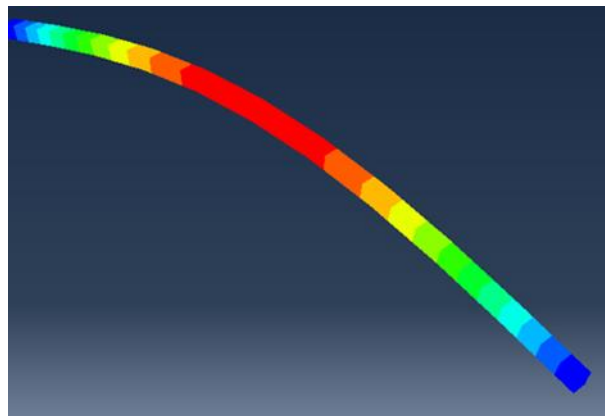
نوع بار خمشی	کمانش کلی به کمانش موضعی		M/P
	$P_{cr}(\text{ton})$	$M_{cr}(\text{ton.m})$	
بار متمرکز	۴۵۳,۵۵	۲۳۱۵,۸۳	۵,۱۱
بار گسترده	۲۲۷,۵۸	۱۱۶,۷۸	۰,۵۷
یکنواخت			
لنگر دو انتها	۳۶۹,۹۱	۱۷۳۳,۹۷	۴,۸۶

همانطور که قبلا گفته شد، مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، برای تیرهای جدار نازک بسته تحت اثر خمش، تنها دو نوع حد نهایی تسلیم و کمانش موضعی را معرفی می‌کند. بند ۱۰-۲-۵-۷ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان که اختصاص به طراحی خمشی اعضای با مقطع قوطی شکل صراحتا بیان می‌کند که مقاومت خمشی اسمی، M_n ، این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالت‌های حدی تسلیم، کمانش موضعی بال و کمانش موضعی جان در نظر گرفته شود. با نظر به این که مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ترجمه و تلخیص نسخه سال ۲۰۱۰ میلادی آیین نامه فولاد آمریکا می‌باشد، این بند نیز ترجمه بند F7 آیین نامه آمریکا است، این بند آیین نامه آمریکا ضمن تصدیق مطالب فوق، تحت عنوان "توجه"، بیان می‌کند «اعضای HSS مستطیلی شکل بسیار بلند در معرض خم شدن حول محور بزرگتر با عنوان کمانش پیچشی-جانبی هستند؛ اما برای این حالت حدی هیچ معادله مقاومتی مقرر نشده است زیرا تغییر شکل تیر برای تمامی حالات معقول کنترل خواهد شد». این امر به نحوی دیگر در بند ۱۰-۳-۶ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان برای تیرهای لرزه‌ای در سازه‌هایی با سیستم باربر جانبی قاب خمشی متوسط و یا قاب خمشی ویژه، تحت عنوان "مه‌ار جانبی" در نظر گرفته شده است. در قسمتی از این بند آمده است: «کلیه تیرهای جانبی لرزه‌ای باید در فاصله L_h دارای مهاربندی جانبی کافی باشند، به طوری که از هرگونه کمانش جانبی، پیچشی و جانبی-پیچشی در خلال تغییر شکل‌های فرا ارتجاعی جلوگیری شود.»

مبحث دهم مقررات ملی ساختمان برای مقاطعی که همزمان تحت بار فشاری محوری و لنگر خمشی هستند رابطه‌های ۴-۸ و ۴-۹ را ارائه می‌کند که در این رابطه مقاومت خمشی مطابق بند ۱۰-۲-۵-۷ خواهد بود که همانطور که در بالا ذکر شد، این مقاومت بر اساس حد تسلیم و کمانش موضعی اعضا محاسبه شده و کمانش کلی را در نظر نمی‌گیرد. مقاومت فشاری در رابطه‌های مذکور با توجه به جدول ۱۰-۲-۴-۱ که فقط کمانش موضعی را برای اعضای فشاری با مقاطع توخالی مستطیلی شکل محتمل می‌داند، بر اساس بند ۱۰-۲-۴-۱ همین مبحث محاسبه می‌شود.



شکل ۵- شکل مد کمانشی باکس $۳ \times ۳ \times ۲$ تحت فشار خالص



شکل ۶- شکل مد کمانشی باکس $۲ \times ۲ \times ۲$ تحت فشار خالص

مطابق خروجی‌های نرم‌افزار آباکوس، با اعمال بارهای خمشی اعم از بار متمرکز در وسط طول عضو، بار گسترده خطی در طول عضو و لنگر دو انتها، هم‌زمان با اعمال بار محوری فشاری، وجود بارهای خمشی باعث ایجاد تغییر شکل در جهت خلاف تغییر شکل‌های نشان داده شده در حالت بارگذاری نیروی محوری فشاری خالص خواهند شد. به عبارت دیگر بارهای خمشی به شکل مهاربندهای جانبی در برابر کمانش ستون‌های مربعی شکل عمل می‌کنند. به نحوی که در یک بار مشخص، مد کمانشی از کمانش کلی (جانبی) به کمانش موضعی تغییر خواهد کرد و مد غالب به صورت کمانش موضعی خواهد بود. علت این پدیده اعمال بارهای خمشی در صفحه کمانش است که البته در مورد مقاطع مربعی که محور قوی و ضعیف در آنها مطرح نیست صفحه کمانش تحت اثر شرایط تکیه‌گاهی قرار می‌گیرد. لنگر خمش و نیروی محوری فشاری وارده به عضو در لحظه تغییر مد کمانشی در حالات مختلف بارگذاری در جدول ۳ بیان شده است.

در جدول ۱۱ تنش حد کمانشی است که برابر با P_{cr}/A که A مساحت مقطع است. طبق دیدگاه مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، در تعیین تنش کمانشی اعضای فشاری، تنها لاغری عضو و ضریب طول موثر، یعنی KL/r موثر هستند. با این توضیح مشاهده می‌شود که برای مقاطع باکس $۶۰ \times ۲۰ \times ۲$ باکس $۵۰ \times ۲۰ \times ۲$ و باکس $۳۰ \times ۳۰ \times ۲$ باکس $۲۰ \times ۲۰ \times ۲$ که لاغری تقریباً یکسانی دارند و شرایط تکیه گاهی در تمامی مقاطع یکسان است، مقدار F_{cr} حاصل از روابط مبحث دهم تقریباً یکسان است. اما مقادیر F_{cr} حاصل از روش اجزای محدود برای این مقاطع یکسان نیست و اختلاف قابل توجهی دارد.

با توجه به اینکه شرایط تکیه گاهی در جهات مختلف متفاوت است و صفحه کمانش اعضای مستطیلی با صفحه کمانش اعضای مربعی ۹۰ درجه فرق دارد پس می‌توان گفت شکل شکل عضو در اعضایی که در تکیه گاه‌ها شرایط تقید در جهات مختلف متفاوت است، در تعیین ضریب طول موثر می‌باشد. مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، در تعیین ضریب طول موثر ستون‌ها که محاسبه تنش حد کمانشی را در بر دارد، در مورد تقید تکیه گاه‌ها در جهات مختلف بحث نکرده است و موضوع را تشریح نموده است.

از جدول ۱۱ مشخص می‌شود که ضریب طول موثر برای مقاطع مستطیلی شکل در حدود $0/7$ و برای مقاطع مربعی شکل در حدود $0/9$ می‌باشد. طبق تحلیل صورت گرفته مقاطع مستطیلی شکل در صفحه عمود بر صفحه ی بارگذاری محوری کمانش می‌کنند و در مقاطع مربعی شکل در همان صفحه بارگذاری محوری کمانش رخ می‌دهد و با توجه به این موضوع که شرایط تکیه گاهی در جهت کمانش مقاطع مستطیلی شکل مقیدتر از شرایط تکیه گاهی در جهت کمانش مقاطع مربعی شکل است، این اختلاف در ضریب طول موثر توجیح تئوری دارد.

در مورد مقادیر تنش فشاری ناشی از کمانش خمشی، اختلاف کمتری نیز بین دو مقطع مستطیلی شکل با یکدیگر و دو مقطع مربعی شکل یا یکدیگر مشاهده می‌شود که با توجه به این مطلب که همه شرایط برای مقاطع یا یکسان است یا تفاوتشان در محاسبه این مقادیر منظور شده است بنابراین احتمالاً این اختلاف مربوط به پارامترهای هندسی و شکل مقطع خواهد بود که نیازمند بررسی بیشتر است.

نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از تحلیل اجزای محدود (مقادیر ویژه)، مقاومت کمانش ارتجاعی تیر-ستون-های فولادی با مقاطع جدارنازک بسته مورد بررسی قرار گرفته است. برای این کار تیرهای دو سر ساده تحت بارگذاری‌های مختلف شامل بار محوری فشاری خالص، بار محوری فشاری و لنگر دو انتها، بار محوری فشاری و بار متمرکز در وسط دهانه و بار محوری فشاری و بار گسترده یکنواخت، در نظر گرفته شد. همچنین شکل مقاطع در دو فرم کلی مستطیلی و مربعی در نظر گرفته شد. با انجام تحلیل اجزای محدود بر روی این

نتایج حاصل از تحلیل نرم افزار بیان می‌کند که در صورت نادیده گرفتن محدودیت تنش تسلیم در اعضای جعبه‌ای مستطیلی شکل تحت خمش خالص و یا تحت همزمان بارهای فشاری و خمشی، این مقاطع میل به کمانش جانبی-خمشی دارند، این نتیجه ضمن همخوانی با بند ۱۰-۳-۶ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، با نتایج پژوهش سائولا وهمکاران (۲۰۱۶) که لزوم در نظر گرفتن تغییر شکل‌های پیچشی در این گونه اعضا را حتی در محدوده ارتجاعی بیان می‌کند، تطبیق دارد. در ضمن نتایج تحلیل نرم افزار آباکوس در مورد اعضای با مقطع جعبه‌ای تحت فشار خالص کاملاً با مبحث دهم مقررات ملی ساختمان مطابقت چرا که مد کمانشی را کمانش جانبی معرفی می‌کند.

در ادامه تنش حد کمانشی کلی اعضای تحت اثر بار محوری فشاری خالص مورد بررسی قرار خواهد گرفت. برای این کار مقاطع معرفی شده در جدول ۳-۴، با توجه به روابط ارائه شده در بخش ۴-۲-۳، بررسی شده‌اند. با توجه به اینکه در این پژوهش تنها رفتار کمانش ارتجاعی بررسی شده است، در نتیجه رابطه (۴-۷) برای تعیین مقاومت کمانش خمشی ستون‌ها استفاده شده است. در این رابطه F_e تنش حد کمانش اویلر است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (۴-۱۱)$$

که در آن:

E = مدول الاستیسیته فولاد

K = ضریب طول موثر

L = طول فاقد مهار جانبی عضو

r = شعاع ژیراسیون حداقل مقطع عضو

KL/r = ضریب لاغری حداکثر عضو

جدول ۱۱- ظرفیت کمانشی مقاطع جعبه‌ای تحت بار محوری فشاری خالص

نمونه	مبحث دهم		اجزاء محدود	
	P_{cr} (ton)	F_{cr} (kg/cm ²)	P_{cr} (ton)	F_{cr} (kg/cm ²)
باکس $۶۰ \times ۲۰ \times ۲$	۵۰۲،۷۳۳	۱۶۵۳،۷۳۰	۹۴۹،۶۶۰	۳۱۲۳،۹۴۱
باکس $۵۰ \times ۲۰ \times ۲$	۴۳۶،۲۵۱	۱۶۵۲،۴۶۸	۸۸۶،۶۲۸	۳۳۵۸،۴۴۰
باکس $۳۰ \times ۳۰ \times ۲$	۳۷۰،۱۵۲	۱۶۵۲،۴۶۸	۴۷۷،۰۵۰	۲۱۲۹،۶۹۷
باکس $۲۰ \times ۲۰ \times ۲$	۲۳۸،۲۷۳	۱۶۵۴،۶۷۶	۲۹۲،۶۲۹	۲۰۳۲،۱۵۲

و ضعیف یکسان است، با توجه به شرایط تکیه‌گاهی، این مقاطع در جهتی که فاقد تقید است، دچار کمانش می‌شوند.

• وقتی مقاطع مربعی تحت اثر خمش قرار گیرد، هیچ‌گونه کمانش کلی رخ نمی‌دهد. برای نمونه‌های بررسی شده، در این حالت مد غالب، مد کمانش موضعی است.

• با توجه به شکل مدهای کمانشی مقاطع جدارنازک بسته مربعی شکل، با قرار دادن بارهای خمشی در صفحه کمانش یافته، این بارها باعث ایجاد تغییر شکل در جهت خلاف تغییر شکل‌های کمانشی خواهند شد. به عبارت دیگر بارهای خمشی به شکل مهاربندهای جانبی در برابر کمانش ستون‌های مربعی شکل عمل می‌کنند. به نحوی که در یک بار مشخص، مد کمانشی، از کمانش کلی (جانبی) به کمانش موضعی تغییر خواهد کرد و مد غالب به صورت کمانش موضعی خواهد بود.

• در مقاطع جدارنازک بسته مربعی شکل، بیشترین نسبت M/P که منجر به وقوع کمانش کلی می‌شود، مربوط به بار متمرکز در میانه دهانه است و کمترین آن مربوط به بار گسترده یکنواخت است. هم چنین مقدار نسبت M/P برای بارگذاری لنگر دو انتها، به حالت بار متمرکز در میانه دهانه نزدیک است.

• طبق دیدگاه مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، در تعیین تنش کمانشی اعضای فشاری، تنها لاغری عضو، یعنی L/r و ضریب طول موثر، K ، مؤثر است. طبق تحلیل‌های صورت گرفته، مشاهده می‌شود که برای مقاطعی که لاغری تقریباً یکسانی دارند، مقادیر F_{cr} حاصل از روش اجزای محدود برای این مقاطع یکسان نیست و اختلاف قابل توجهی دارد. اما مقادیر F_{cr} حاصل از روابط مبحث دهم، تقریباً یکسان است. علت این اختلاف، شرایط تقید در جهات مختلف است که در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان به تشریح این مسئله پرداخته نشده است و البته احتمالاً هندسه مقاطع یعنی نسبت ارتفاع به پهنا و نسبت این اعضا به ضخامت اعضا که در محاسبه تنش حد کمانش اثر آن دیده نشده است.

مراجع

[۱] طاحونی، ش.، رحیم‌لباف‌زاده، م. ص. و شالوند، ب. فناوری ساختمان‌های فلزی، تهران، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، چاپ ششم ۱۳۹۴، ۲۳۲ صفحه.

[۲] علی‌نیا، م. م.، تئوری صفحات و پوسته‌ها. تهران، انتشارات آشیان، چاپ چهارم ۱۳۹۵، ۳۵۲ صفحه.

[3] Mohri, F., Bouzerira, C. and Potier-Ferry, M., Lateral buckling of thin-walled beam-column elements under combined axial and bending loads. *Thin-Walled Structures*, vol 46, 2008, pp 290-302

[4] Saoula, A., Meftah, S.A., Mohri, F. and Daya, E. M., Lateral buckling of box beam elements under combined axial and bending

نمونه‌ها مقاومت و شکل مد کمانشی به دست آمد و طبق این نتایج، منحنی اندرکنشی بارمحوری-لنگر خمشی رسم شد.

شیوه کار به این شکل است که ابتدا عضو تحت اثر بار محوری فشاری خالص قرار می‌گیرد و ظرفیت کمانشی عضو محاسبه می‌گردد. با توجه به اینکه در این حالت، مقدار لنگر خمشی برابر با صفر است، در نتیجه نقطه ابتدایی منحنی بر روی محور عمودی (محور P) تعیین می‌گردد. سپس عضو تحت اثر بارگذاری خمشی (بار گسترده خطی یا بار متمرکز در میانه دهانه و یا لنگر دو انتها) قرار می‌گیرد. در این حالت بار محوری فشاری برابر صفر خواهد بود. ($P=0$) مقاومت کمانش عضو تحت بارگذاری در نظر گرفته شده، محاسبه شده و نقطه انتهایی منحنی بر روی محور افقی (محور M) تعیین می‌گردد. در ادامه نقاط دیگر منحنی با نسبت مختلف لنگر خمشی و نیروی محوری فشاری محاسبه و رسم می‌شوند. به عبارت دیگر با افزایش نسبت M/P از صفر تا نزدیکی نقطه انتهایی روی محور افقی، نمودار اندرکنشی رسم می‌شود.

با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته، نتایج زیر قابل ارائه می‌باشد:

• در مقاطع جدارنازک بسته جعبه‌ای مستطیلی شکل، وقتی عضو تحت اثر بار محوری فشاری خالص باشد، مد غالب، کمانش جانبی است. این نوع از ستون‌ها حول محور ضعیف خود دچار کمانش می‌شوند.

• مقاطع جدارنازک بسته جعبه‌ای مستطیلی شکل وقتی تحت اثر لنگر خمشی خالص باشند، صرف نظر از حد تسلیم عضو، دچار کمانش پیچشی-جانبی می‌شوند. در این حالت عضو دچار یک خیز برون صفحه‌ای و یک پیچش حول محور طولی خود خواهد شد.

• مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، به علت بزرگ بودن لنگر حد کمانشی از لنگر حد تسلیم برای مقاطع جعبه‌ای، هیچ نوع کمانش کلی را قابل وقوع نمی‌داند. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهند که این مقاطع در حضور بارهای خمشی مستعد پیچشی هستند، مبحث دهم نیز به احتمال وقوع کمانش پیچشی-جانبی در محدوده تغییر شکل‌های فرا ارتجاعی برای تیرهای لرزه‌ای اشاره می‌کند. نتایج این مطالعه نیز نشان می‌دهد در حضور بارهای خمشی، مد کمانشی مقاطع مورد مطالعه از کمانش جانبی به پیچشی-جانبی تغییر می‌کند و هرچه نسبت بارهای خمشی به بارهای محوری بیشتر شود تغییر شکل‌های پیچشی بیشتر خواهد شد.

• وقتی مقاطع جدارنازک بسته جعبه‌ای مستطیلی شکل تحت اثر هم زمان بار محوری فشاری و لنگر خمشی باشند، وقتی بار محوری نسبت به لنگر خمشی چشم‌گیرتر باشد، مد غالب، مد کمانش جانبی است. با افزایش لنگر خمشی، مد غالب به مد کمانش پیچشی-جانبی تغییر خواهد کرد.

• در مقاطع جدارنازک بسته جعبه‌ای مربعی شکل، وقتی عضو تحت اثر بار محوری فشاری خالص باشد، مد غالب، کمانش جانبی است. از آنجایی که سختی خمشی این نوع از ستون‌ها حول هر دو محور قوی

- loads. *Journal of Constructional Steel Research*, vol 116, 2016, pp 141-155.
- [5] Duan, L. and Chen, W. F., Design interaction equations for cylindrical tubular beam columns. *Journal of Structural Engineering*, vol 116, 1990 pp 1794-1812.
- [6] Kołakowski, Z., Teter, A., Interactive buckling of thin-walled beam-columns with intermediate stiffeners or/and variable thickness. *International Journal of Solids and Structures*, vol 37, 2000, pp 3323-3344.
- [7] Mohri, F., Damil, N., Potier-Ferry, M., Buckling and lateral buckling interaction in thin-walled beam-column elements with mono-symmetric cross sections. *Applied Mathematical Modelling*, vol 37, 2013, pp 3526-3540.
- [8] Saoula, A., Meftah, S.A., Mohri, F. and Daya, E. M., Lateral buckling of box beam elements under combined axial and bending loads. *Journal of Constructional Steel Research*, vol 116, pp 141-155.

Analysis of Buckling Mode and Buckling Limit Stress of Steel Box Beam-Column Members Under Axial Load and Bending Moment Interaction

Mohammad Kabiri

Master of Science in Engineering, Islamic Azad University, Miyaneh Branch, Miyaneh, Iran
Mohammsd Norouzi

Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Miyaneh Branch, Miyaneh, Iran

Abstract:

The beam columns are under the influence of bending and compression, given that the buckling occurs in these members in one of the lateral, torsional and lateral-torsional forms, the bending moment and compressive axial force ratio have a significant effect on the behavior of the buckling. This paper investigates the performance of thin-walled closed box steel boxes under different loading conditions, concentrated load in the middle of the span, and a uniform distributed load with finite element method and with two-headed joint supported conditions in the range of elastic behavior. The tenth topic of the National Building Regulations, due to the large buckling limit moment from the yield limit buckling, does not occur in any global buckling, however, it mentions the probability of occurrence of lateral buckling in the range of post-elastic deformations for seismic beams. The results of this study show that in the presence of flexural loads, the buckling mode of the sections studied varies from the lateral buckling to the lateral-torsion, and the greater the ratio of the flexural loads to the axial loads, the torsional deformations will be greater. But, in the presence of bending loads on the buckling plane, the buckling mode of the sections in a certain amount of bending load will change from the global buckling to the local buckling. Compared to the three loading, the lowest M/P ratio, which leads to a global buckling, is related to the uniform distributed loading. By choosing the correct support condition in terms of the rotation around each of the fender members, and the appropriate shape of the box section, the strength of the member under the compression axial force-bending moment can be improved.

Keyword: Buckling, Box cross-sections, axial load-bending moment interaction, Beam-Column, Buckling limit stress