

بررسی رفتار کمانشی اعضای فشاری به روش اجزای

محدود

محمد رضا شیدائی

استادیار گروه مهندسی عمران دانشکده فنی ومهندسی دانشگاه ارومیه
m.sheidaii@mail.urmia.ac.ir

کریم عابدی

استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه صنعتی سهند تبریز

چکیده

کمانش عضو فشاری باعث کاهش ظرفیت باربری عضو می شود، به منظور انجام تحلیل غیرخطی سازه، علاوه بر تعیین رفتار عضو فشاری تا مرحله بحرانی، لازم است رفتار پس کمانشی عضو نیز تعیین گردد. در این مقاله پس از مروری اجمالی بر انواع روش های موجود، باتوجه به مزایای گسترده روش اجزای محدود، از این روش برای تعیین رفتار کمانشی اعضای فشاری استفاده به عمل آمده است. با فرض انحنای اولیه جزئی برای عضو فشاری دوسرمفصلی، عضو مزبور به تعدادی المان تیر با مشخصه مصالح الاستوپلاستیک تقسیم بندی شده و مدل مذکور به روش اجزای محدود تحلیل شده است. هر دو عامل غیرخطی مصالح و غیرخطی هندسی در تحلیل در نظر گرفته شده اند. با توجه به کاربرد گسترده اعضای لوله ای در ساخت سازه های خرابایی (به ویژه سازه های فضاکار)، رفتار بار محوری-تغییر مکان محوری عضوی لوله ای با مشخصات مقطع معین، به ازای مقادیر مختلف نسبت لاغری و ناکاملی اولیه (initial imperfection)، تعیین شده و مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژه ها: اجزای محدود، پایداری، تحلیل غیرخطی، عضو فشاری، کمانش

۱- مقدمه

رفتار سازه پس از خرابی عضو یا اعضایی از آن، امکان پذیر خواهد بود و در نتیجه می توان حداکثر باری را که سازه پیش از خرابی کلی می تواند تحمل نماید تعیین کرد.

معمولاً وقتی یک عضو کششی به بار تسلیم می رسد، بعلت پدیده سخت شدگی کرنشی ظرفیت باربری آن قدری افزایش می یابد. اما وقتی یک عضو فشاری کمانه می کند ظرفیت باربری عضو با افزایش کوتاه شدگی آن، کاهش می یابد، یعنی این عضو تمام یا بخشی مقاومتش را از دست داده و بار خود را به سایر اعضا پخش می کند [1]. سختی پس کمانشی منفی عضو فشاری (negative post-buckling stiffness) عاملی است که اثر بسزایی در رفتار کلی سازه دارد، بدین مفهوم که اگر عضو

در یک سیستم خرابایی اعضای سازه اساساً تحت نیروهای محوری قرار گرفته و امکان خرابی عضو در اثر تسلیم در کشش و یا کمانش در فشار، وجود خواهد داشت. در صورت خرابی عضوی از سازه، رفتار عضو مزبور از مشخصه های پس بحرانی (post-critical characteristics) آن تبعیت خواهد کرد. بنابراین در صورتی که رفتار اعضای کششی و فشاری پس از رسیدن به بار بحرانی مشخص شود، می توان سازه ای را که عضو یا اعضایی از آن خراب شده است، مورد تحلیل قرار داده و انجام تحلیل را تا مرحله خرابی کلی سازه ادامه داد. به عبارت دیگر با دانستن مشخصه های پس بحرانی رفتار اعضای کششی و فشاری، تعیین

موفقیت‌آمیزی استفاده کردند، گزارش آنان حاکی از تطبیق معقول نتایج تحلیل با نتایج آزمایش اعضای فشاری دوسرمفصل است.

در روش اجزای محدود، عضو فشاری با مجموعه‌ای از اجزای مستقل جایگزین می‌شود، سختی هر جز به کمک تابع تغییرشکل تقریبی که در طول جز تعریف می‌شود، بدست می‌آید شرایط تعادل، سازگاری و مشخصه‌های الاستوپلاستیک مصالح اعمال شده و با حل معادلات مربوطه، تغییرمکان‌های گرهی و نیروهای داخلی بدست می‌آیند. در مراجع 4 و 6 و 7 از روش اجزای محدود به نحو موفقیت‌آمیزی استفاده شده و مطابقت بسیار خوبی بین نتایج تحلیلی و تجربی بدست آمده است.

در روش عضو تکی، عضو تقسیم بندی نمی‌شود بلکه به صورت یک محیط پیوسته یک‌بعدی در نظر گرفته می‌شود. شرایط الاستوپلاستیک، تعادل و تغییرمکانها بیان می‌شوند، با انجام فرضیاتی در مورد تغییرشکل عضو، جوابی برای مساله بدست می‌آید. در حالت کل برای هر حالت خاص بارگذاری، تحلیل جداگانه‌ای انجام می‌شود [4 و 2]. مورتا-اسمیت در مرجع 2 مروری بر مدل‌هایی که با استفاده از روشهای عضو تکی بدست آمده‌اند انجام داده است.

با مقایسه روشهای عددی و روشهای عضو تکی، می‌توان به نکات مهم زیر اشاره کرد [4 و 2]:

- توصیفی که روش تفاضلات محدود و روش اجزای محدود از رفتار عضو فشاری ارائه می‌کنند به خوبی با نتایج تجربی مطابقت دارد اما استفاده از این روشها نیازمند کار محاسباتی قابل توجهی است.

- فرضیات مدل‌سازی سخت‌ترین محدودیت روشهای عضو تکی هستند این فرضیات که غالباً برای ساده سازی ریاضی مساله در نظر گرفته می‌شوند در عمل بندرت قابل تحقق هستند.

- مزیت مهم روشهای عددی این است که مسائلی را که حل آنها به روش عضو تکی بسیار پیچیده است به کمک روشهای عددی می‌توان به راحتی حل کرد.

- مزیت دیگر روشهای عددی این است که قابل برنامه‌ریزی در کامپیوتر هستند، فایده عملی این موضوع امکان پذیر بودن تخمین تعداد زیادی از متغیرها و نیز امکان انجام مطالعات پارامتریک است.

- از روشهای عددی می‌توان برای تهیه مدل‌های ساده‌تر استفاده کرد به عبارت دیگر به کمک روش تفاضلات محدود و روش اجزای محدود، می‌توان تقریب‌های عملی ساده شده‌ای را

فشاری بشدت ناپایدار باشد و بطور ناگهانی بار خود را به اعضای مجاور پخش کند اثر آن بدتر از حالتی خواهد بود که پخش بار عضو فشاری بتدریج انجام شود. بنابراین نمایش رفتار عضو فشاری نقش کلیدی در تحلیل خرابی سازه دارد. در اکثر روشهای تحلیل خرابی، ابتدا باید رفتار بار- تغییرمکان عضو فشاری تعیین شود. پس از تعیین رابطه بین بار محوری و تغییرمکان محوری برای عضو فشاری، می‌توان از آن برای مدل‌سازی رفتار عضو فشاری در تحلیل غیرخطی سازه استفاده کرد. از اینرو لازمست مشخصات خرابی عضو فشاری به دقت مورد مطالعه قرار گرفته و علاوه بر تعیین رفتار عضو فشاری تا رسیدن به نقطه بحرانی، رفتار پس کمانشی آن نیز تعیین گردد. به عبارت دیگر لازم است اطلاعات کاملی در مورد شکل منحنی رفتار بار-تغییرمکان محوری عضو فشاری، در مرحله پس از کمانش بدست آید. به همین منظور، در تحقیق حاضر رفتار اعضای فشاری به کمک روشهای عددی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مدل‌سازی عضو فشاری

در سالهای اخیر روشهای مختلفی برای مدل‌سازی رفتار عضو فشاری بسط داده شده که این روشها را می‌توان به دو دسته اساسی تقسیم بندی کرد [2]:

الف- روشهای عددی از قبیل روش تفاضلات محدود و روش اجزای محدود

ب- روشهای عضو تکی (single member methods)

در صورت استفاده از روش تفاضلات محدود برای تعیین رفتار عضو فشاری، تعداد محدودی نقطه در روی عضو مشخص می‌گردد، یک شکل تغییرمکان آزمایشی برای عضو فشاری فرض می‌شود. وضعیت تنش در هر نقطه، می‌تواند بصورت الاستیک، الاستوپلاستیک یا پلاستیک کامل باشد. نیروی محوری و لنگرهای خمشی را می‌توان با استفاده از برآوردهای تنش محاسبه کرد لذا می‌توان معادلات دیفرانسیلی تعادل را برای هر نقطه نوشت، حل همزمان این معادلات منجر به تعیین مجموعه‌ای از تغییرمکان نقاط می‌شود. با این شکل جدید تغییرمکان، روند قبلی تکرار می‌شود و این چرخه عملیات تا حصول همگرایی ادامه می‌یابد. اگر مجموعه‌ای از اینگونه تحلیل‌ها با نمو دادن بار یا تغییرمکان انجام گیرد، می‌توان به این ترتیب رفتار بار- تغییرمکان (کوتاه شدگی) عضو را تعیین کرد [2]، ثما و چن (Toma and Chen) [3] از این روش به نحو

شده در برنامه کامپیوتری LUSAS است مدلسازی می‌شود. در این المان از اثرات تغییر شکل‌های برشی صرفنظر شده است. انتخاب این المان با توجه به قابلیت‌های انجام تحلیل غیرخطی هندسی و مصالح بر روی المان مزبور در برنامه LUSAS، صورت گرفته است [8].

* اگر عضو فشاری کاملاً مستقیم و مصالح کاملاً متجانس و تاثیر بار کاملاً محوری باشد بطوریکه می‌دانیم شرایط فشار ساده برآورده می‌شود اما عضو فشاری ایده‌آل با مشخصات مذکور، عملاً وجود ندارد و بهر حال ناکاملی‌هایی (imperfections) از قبیل موارد زیر ممکن است در عضو فشاری خمش ایجاد کرده و ظرفیت باربری آنرا کاهش دهند: انحنای اولیه عضو، خروج از مرکزیت در اعمال بار محوری، تغییرات موضعی در خواص مصالح و ناهمگن بودن آن در حجم عضو، و تنش‌های پسماند در مقطع عضو. در تحقیق حاضر فقط انحنای اولیه عضو فشاری بعنوان ناکاملی اولیه در نظر گرفته شده و فرض شده است که ناکاملی اولیه عضو فشاری در وسط عضو دارای مقدار حداکثر ε بوده و متقارن باشد.

* فرض شده اعضای فشاری ناپایداری موضعی نداشته باشند.

* برای تعیین واکنش بار محوری - تغییر مکان محوری عضو فشاری از یک تحلیل استاتیکی غیرخطی (الاستوپلاستیک، تغییر مکانهای بزرگ) استفاده شده است، یعنی هر دو عامل غیرخطی مصالح و غیرخطی هندسی در تحلیل مدنظر قرار گرفته است.

* برای ترسیم مسیر غیرخطی تعادل از روش Crisfield که از جمله روشهای طول کمان (Arc-Length) است استفاده می‌شود در این روش تغییرات نمو بار به کمک یک معادله قیدی طوری کنترل می‌شود که انجام روند تکرار، منطبق بر کره‌ای باشد که مرکز آن بر روی آخرین نقطه معلوم قرار گرفته است.

* ابتدا با صرفنظر از شرایط کمانش اولیه، مقادیر بار بحرانی عضو فشاری به ازای مقادیر مختلف ε (حداکثر ناکاملی اولیه در وسط عضو) محاسبه شده است، مقادیر بدست آمده در صورتی صحت و اعتبار خواهند داشت که از بار کمانش اولر کمتر باشند، در غیر اینصورت بار کمانش اولر ملاک عمل خواهد بود.

لازم به تذکر است که کلیه مراحل تحلیل به کمک برنامه پیشرفته اجزای محدود LUSAS که از قابلیت‌های خاصی در زمینه حل مسائل پیچیده سازه‌ای برخوردار است، انجام گرفته است [8].

برای واکنش کامل سازه بسط داد. از این تقریبه‌ها بعداً می‌توان در تحلیل کمانش سازه‌های خرابایی استفاده کرد.

با توجه به نکات فوق می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از روشهای عددی برای تعیین واکنش اعضای فشاری، بسیار مناسب‌تر از روشهای عضو تکی است. در مورد تحلیل رفتار اعضای فشاری که دارای شرایط پیچیده‌ای از قبیل غیرخطی مصالح، غیرخطی هندسی و کمانش موضعی هستند به اثبات رسیده است که روش اجزای محدود روش بسیار مناسب و قدرتمندی است [2].

۳- تعیین رفتار کمانشی اعضای فشاری به روش اجزای محدود

برای ساخت سازه‌های خرابایی از انواع شکل‌های نیمرخ استفاده می‌شود. برای انجام تحلیل سازه، مدلسازی رابطه بار-تغییر مکان محوری هر یک از این نیمرخ‌ها ضروری خواهد بود، پس باید مشخصه‌های پس‌بحرانی هر کدام از این نیمرخ‌ها تعیین گردد. نیمرخ لوله‌ای در سازه‌های خرابایی (به ویژه در سازه‌های فضاکار) بسیار متداول بوده و در مطالعه حاضر به تعیین مشخصه‌های پس‌بحرانی اعضای فشاری لوله‌ای پرداخته شده است. از نتایج حاصله می‌توان در مطالعه رفتار کمانشی سازه‌های متشکل از اعضای لوله‌ای استفاده کرد.

تحلیل رفتار اعضای فشاری به روش اجزای محدود وبا استفاده از مدلی نظیر شکل ۱ انجام گرفته است، فرضیات بکار رفته در تحلیل عبارتند از:

* رابطه تنش - کرنش مصالح به صورت الاستیک-پلاستیک کامل در نظر گرفته شده و با صرفنظر از اثر سخت‌شدگی کرنشی منحنی تنش - کرنش در کشش و فشار متقارن فرض گردیده است.

* مقطع عضو در طول آن، متقارن و ثابت در نظر گرفته شده است.

* فرض شده عضو فشاری در هر دو انتها، مفصلی عمل کرده و تحت نیروی محوری خالص (بدون خروج از مرکزیت) قرار گیرد.

* برای بدست آوردن نتایج دقیق و قابل اطمینان، هر عضو به ده جز تقسیم شده است.

* رفتار هر یک از اجزا فوق‌الذکر با المان تیر لاغر (thin beam element)، که یکی از المان‌های معرفی

● در صورتیکه نسبت لاغری عضو فشاری، مقدار کوچکی ($L/r=20$) داشته باشد همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می شود سختی پس کمانشی منفی عضو فشاری کم بوده و رفتار پس کمانشی عضو فشاری از نوع ترد نخواهد بود، مسیر پس کمانشی چنین اعضایی بصورت نرم و شکل پذیر خواهد بود. نحوه تغییر شکل این اعضا قبل از رسیدن تنش مقطع ستون به تنش تسلیم مصالح، بصورت الاستیک، و پس از آن بصورت پلاستیک خواهد بود.

● در صورتیکه نسبت لاغری عضو فشاری، مقدار متوسطی ($L/r=80$) داشته باشد همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می شود سختی پس کمانشی منفی عضو فشاری مقدار بزرگی خواهد داشت در این حالت رفتار پس کمانشی عضو فشاری از نوع ترد و همراه با پخش سریع نیرو خواهد بود عموماً در این نسبت لاغری ($L/r=80$) کمانش از نوع کمانش غیرالاستیک می باشد. این نوع اعضای فشاری ($L/r=80$) به ناکاملی های اولیه حساس بوده و با افزایش میزان ناکاملی، مقادیر بار بحرانی و سختی پس کمانشی منفی اعضا بشدت کاهش می یابند. وقتیکه میزان ناکاملی اولیه نسبتاً کم است ($0.0005L < \epsilon < 0.005L$) حساسیت سختی پس کمانشی منفی به ناکاملی اولیه قدری بیشتر است.

● در اعضای فشاری که نسبت لاغری بزرگی دارند ($L/r=120$) همانگونه که در شکل ۴ دیده می شود وقتی ناکاملی اولیه نسبتاً کم باشد ($0.0005L < \epsilon < 0.005L$) سختی پس کمانشی منفی عضو، نسبتاً بزرگ خواهد بود، اما وقتی ناکاملی اولیه بزرگ باشد ($0.005L < \epsilon < 0.05L$) مسیر پس کمانشی عضو به شکلی هموار و باربرداری بصورت شکل پذیر و نرم خواهد بود.

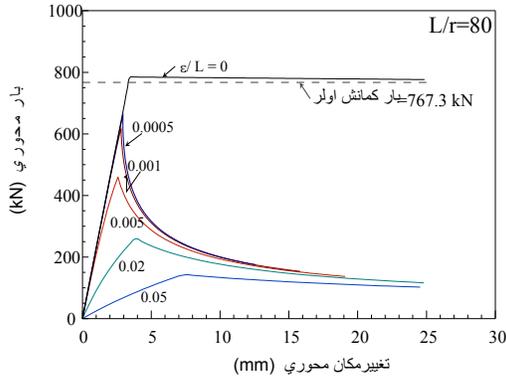
● در صورتی که نسبت لاغری عضو فشاری مقدار خیلی بزرگی داشته باشد ($L/r=200$) همانطور که در شکل ۵ ملاحظه می شود سختی پس کمانشی عضو فشاری بسیار کم بوده و رفتار پس کمانشی عضو از نوع ترد نخواهد بود. مسیر پس کمانشی این اعضا به شکلی هموار، و باربرداری به صورت شکل پذیر و نرم خواهد بود. وجود ناکاملی بسیار کوچکی ($\epsilon < 0.0005L$) می تواند باعث کمانش عضو فشاری در بار بحرانی کمتر از بار بحرانی اولر شود. همچنین ملاحظه می شود که افزایش ناکاملی اولیه تاثیر چندانی بر رفتار عضو فشاری ندارد. کمانش این اعضا ($L/r=200$) از نوع کمانش الاستیک است یعنی قبل از اینکه تنش در مقطع عضو به تنش تسلیم فشاری

۴- نتایج عددی

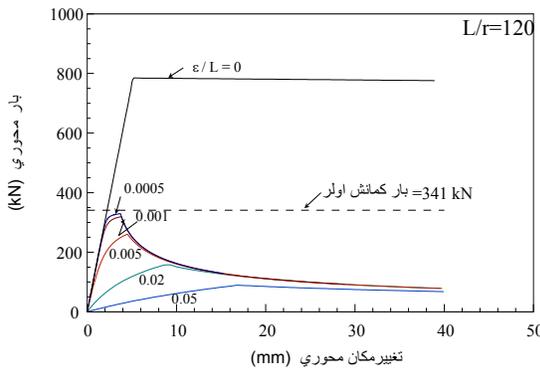
نیمرخ لوله های با شعاع خارجی 41.275 mm و ضخامت 9.52 mm مورد مطالعه قرار گرفته است. برای اینکه اثر نسبت لاغری بر رفتار بار محوری - تغییر مکان محوری عضو فشاری، مورد ارزیابی قرار گیرد طولهای مختلف 500، 2000، 3000 و 5000 میلیمتر برای عضو در نظر گرفته شده است نسبت های لاغری مربوط به این اعضا به ترتیب 20، 80، 120 و 200 است. تنش تسلیم مصالح 360 N/mm^2 فرض شده است مقدار مدول یانگ 210000 MPa اختیار شده است. همانطور که قبلاً گفته شد عاملی که به عنوان ناکاملی اولیه برای عضو فشاری در نظر گرفته شده، انحنای اولیه است، در تحقیق حاضر شش مقدار مختلف برای حداکثر ناکاملی در وسط عضو در نظر گرفته شده است که عبارتند از 0، 0.001L، 0.005L، 0.005L، 0.02L و 0.05L (طول عضو = L).

واکنش بار محوری - تغییر مکان محوری اعضای فشاری، به ازای نسبت های لاغری 20، 80، 120 و 200 به ترتیب در شکل های ۲ و ۳ و ۴ و ۵ نشان داده شده است. همچنین واکنش بار محوری - تغییر مکان محوری اعضای فشاری به ازای هر یک از مقادیر نمونه حداکثر ناکاملی 0.005L، 0.02L و 0.05L به ترتیب در شکل های ۶ تا ۸ نشان داده شده است این شکل ها تاثیر نسبت لاغری عضو را بر رفتار فشاری آن مشخص می نمایند. در شکل ۹ نمودار تقریبی تغییرات سختی پس کمانشی منفی عضو فشاری (شیب منحنی بار محوری - تغییر مکان محوری بلافاصله پس از کمانش عضو) با تغییر ناکاملی اولیه، به ازای نسبت لاغری ($L/r=80$) نشان داده شده است، همچنین تغییرات سختی پس کمانشی منفی عضو فشاری با تغییر نسبت لاغری، به ازای ناکاملی اولیه $\epsilon=0.001L$ در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. شکل ۱۱ واکنش بار محوری - تغییر مکان محوری عضو فشاری را به ازای مقادیر تنش تسلیم 240، 360 و 480 نیوتن بر میلی متر مربع نشان می دهد، نسبت لاغری عضو مزبور 80 بوده و حداکثر ناکاملی اولیه آن $\epsilon=0.0005L$ است.

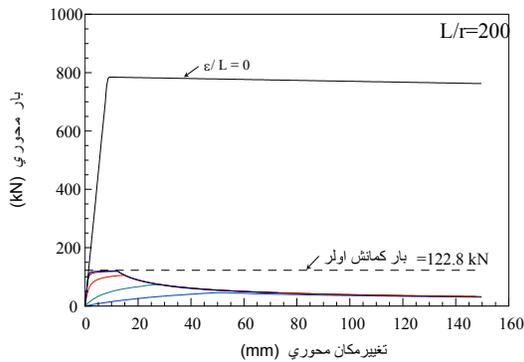
با توجه به شکل های ۲ تا ۱۱ می توان نکات زیر را نتیجه گیری نمود:



شکل ۳: رفتار بار محوری-تغییر مکان محوری عضو فشاری بازای $L/r=80$



شکل ۴: رفتار بار محوری-تغییر مکان محوری عضو فشاری بازای $L/r=120$



شکل ۵: رفتار بار محوری-تغییر مکان محوری عضو فشاری بازای $L/r=200$

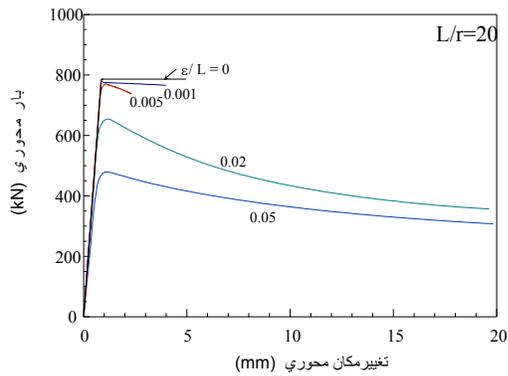
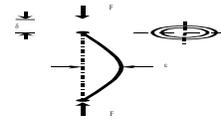
مصالح برسد عضو کمانه می‌کند. این نوع اعضای فشاری پیش از کمانه نمودن، رفتار غیرخطی شدیدی نشان می‌دهند.

• با توجه به شکل‌های ۲ تا ۴ نتیجه می‌شود ظرفیت پس کمانشی اعضای فشاری به ازای مقادیر کرنش‌های بسیار بزرگ، مستقل از مقدار ناکاملی اولیه است.

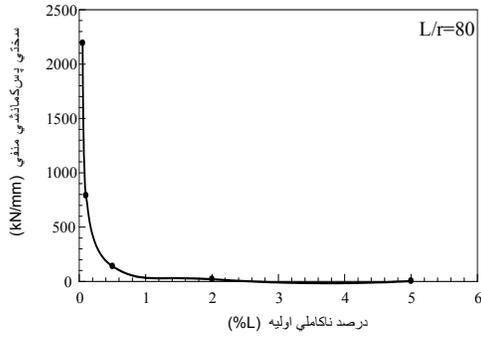
• به ازای هر مقدار دلخواه نسبت لاغری، افزایش ناکاملی اولیه باعث کاهش مقاومت نهایی عضو فشاری می‌شود.

• به ازای ناکاملی اولیه متداول $\epsilon=0.001L$ ، همانگونه که در شکل ۱۰ ملاحظه می‌شود، در محدوده مقادیر لاغری متوسط، سختی پس کمانشی منفی عضو فشاری بیشترین مقدار را داشته و با دور شدن از این محدوده، مقدار آن کاهش می‌یابد و عضو رفتار شکل‌پذیرتری را از خود به نمایش می‌گذارد.

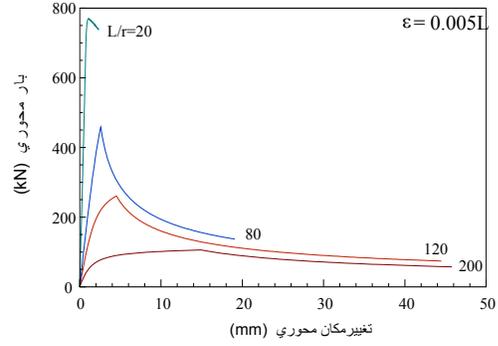
• در اعضای فشاری با لاغری متوسط با افزایش تنش تسلیم مصالح، سختی پس کمانشی منفی عضو افزایش می‌یابد، یعنی افزایش تنش تسلیم باعث باز توزیع شدیدتر بار عضو فشاری و ناپایداری بیشتر منطقه پس کمانشی عضو می‌شود.



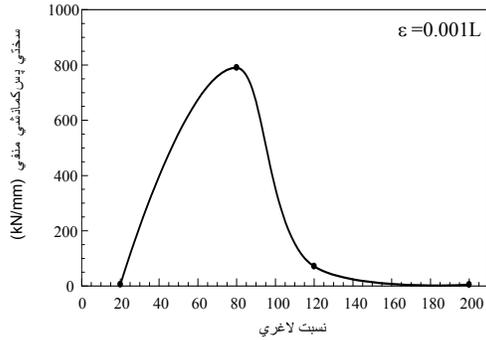
شکل ۲: رفتار بار محوری-تغییر مکان محوری عضو فشاری بازای $L/r=20$



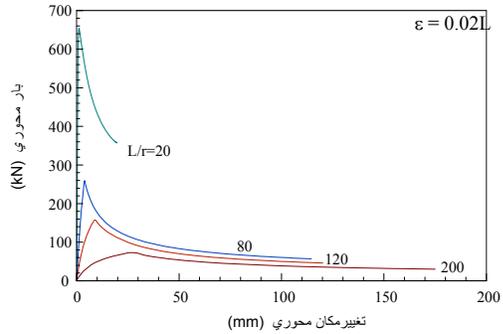
شکل ۹: نمودار تقریبی تغییرات سختی پس کمانشی منفی - ناکاملی اولیه بازای $L/r=80$



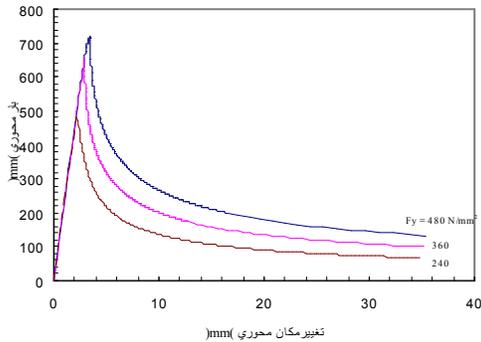
شکل ۶: رفتار بار محوری-تغییر مکان محوری عضو فشاری با حداکثر ناکاملی $0.005L$



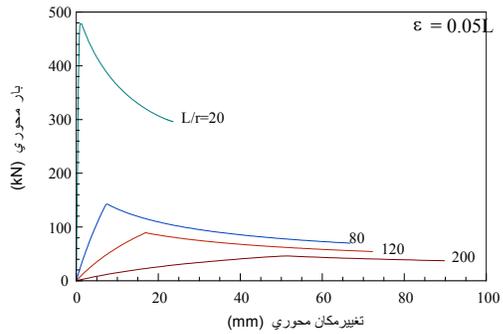
شکل ۱۰: نمودار تقریبی تغییرات سختی پس کمانشی منفی - نسبت لاغری بازای $\epsilon=0.001L$



شکل ۷: رفتار بار محوری-تغییر مکان محوری عضو فشاری با حداکثر ناکاملی $0.02L$



شکل ۱۱: رفتار بار محوری-تغییر مکان محوری عضو فشاری بازای مقادیر مختلف تنش تسلیم مصالح ($L/r=80, \epsilon=0.0005L$)



شکل ۸: رفتار بار محوری-تغییر مکان محوری عضو فشاری با حداکثر ناکاملی $0.05L$

Mech. Sci., Vol. 24, No.5, 279-298 (1982).

- [7] Sugimoto H., W-F. Chen, Inelastic post-buckling of tubular members. J. Struct. Eng., ASCE, Vol. 111, No. 9, 1965-1978 (1985).
- [8] LUSAS Finite Element System, FEA Ltd., London, Version 13 (1999).

۵- نتیجه گیری

با مطالعه نتایج حاصله ملاحظه می شود که بازای مقادیر نسبت لاغری کوچک ($L/r=20$) رفتار پس کمانشی عضو فشاری از نوع ترد نبوده، مسیر پس کمانشی به شکلی هموار و کمانش عضو از نوع کمانش پلاستیک می باشد. بازای مقادیر نسبت لاغری متوسط ($L/r=80$) رفتار پس کمانشی عضو فشاری بصورت ترد بوده و کمانش آن از نوع کمانش غیرالاستیک می باشد با افزایش نسبت لاغری، در مقادیر نسبت لاغری بسیار بزرگ ($L/r=200$) رفتار پس کمانشی عضو فشاری از نوع شکل پذیر بوده و کمانش عضو از نوع کمانش الاستیک خواهد بود. براساس نتایج بدست آمده، ظرفیت پس کمانشی اعضای فشاری در کرنش های خیلی بزرگ مستقل از ناکاملی اولیه بوده، و افزایش ناکاملی اولیه همواره باعث کاهش مقاومت نهایی عضو فشاری می شود. همچنین نتایج حاصله نشانگر آن است که سختی پس کمانشی منفی عضو فشاری با افزایش نسبت لاغری و یا ناکاملی اولیه، کاهش پیدا می کند. انحناء ندارد.

۶- مراجع

- [1] W.J. Supple, I. Collins, Limit state analysis of double-layer grids. Analysis, design and construction of double layer grids, Z.S. Makowski, ed., Applied Science publishers, London, England, 93-117 (1981).
- [2] E.A. Murtha-Smith, Compression member models for space trusses: review. J. Struct. Eng., ASCE, Vol. 120, No. 8, 2399 - 2407 (1994).
- [3] S. Toma, W-F. Chen, Inelastic cyclic analysis of pin ended tubes. J. Struct. Eng., ASCE, Vol. 108, No. 10, 2279-2294 (1982).
- [4] W-F. Chen, T. Atsuta, Theory of beam-columns. McGraw-Hill, New York, N.Y. (1976).
- [5] S.L. Chan, S. Kitipornchai, Inelastic post - buckling behavior of tubular struts. J. Struct. Eng., ASCE, Vol. 114, No. 5, 1091-1105 (1988).
- [6] G.H. Little, Complete collapse analysis of steel columns. Int. J.

An investigation into the buckling behavior of the compression members using finite element method

M.R. Sheidaii

Department of Civil Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.
m.sheidaii@mail.urmia.ac.ir

K. Abedi

Department of Civil Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran.

The collapse of a compression member gives rise to decrease of the load carrying capacity of the member. To perform a nonlinear analysis, in addition to the pre-critical behavior, the post-critical behavior of the compression member also must be determined. In this study, because of certain advantages of the finite element method, this method has been selected to evaluate the axial load-axial displacement relationships of the compression members. For determining the behavior of a pin-ended member using finite element method, the following observations have been considered: an elastic-perfectly plastic material behavior is assumed; the initial curvature associated with the bowing of the member has been considered as an initial imperfection; each member has divided into ten element and behavior of each element has been modeled by the Kirchhoff thin beam element; both of the material and geometrical nonlinearity has been considered in the analysis; to trace the equilibrium path through a critical point into the post critical range, the Arc-length method is used. The member type most commonly used in space structures is circular hollow (tubular) section and the present study is limited to the investigation of the post-critical properties of compressive tubular members with various slenderness ratios and also various imperfections.

Keywords: compress members, elastic, plastic, finite element