

# بررسی رفتار قالب‌های فولادی نورد شده<sup>۱</sup> پر شده با بتن زیر بار محوری فشاری

سید امیرالدین صدرنژاد<sup>۱</sup>؛ بهرام ابراهیمی<sup>۲\*</sup>

## چکیده

در این مقاله بررسی‌های عددی گسترده‌ای بر روی رفتار قالب‌های پر شده با بتن به وسیله روش اجزا محدود غیرخطی انجام شده و درستی نتایج روش عددی با نتایج آزمایشگاهی بررسی شده است. رفتار این نمونه‌ها، زیر بار محوری ارائه شده است. اثر ضخامت قالب فولادی و مقاومت چسبندگی بین بتن و فولاد و محصورشدگی بتن آزمایش شده و ظرفیت محوری نمونه‌ها و تنش محصورشدگی، محاسبه و با بتن معمولی مقایسه شده است. نتایج نشان دادند با افزایش ضخامت ورق، ظرفیت باربری، تنش محصورشدگی و شکل‌پذیری افزایش می‌یابد و با افزایش مقاومت بتن، محصورشدگی هسته بتنی و شکل‌پذیری کاهش می‌یابد. نمونه‌ها با مقاومت بتن ۳۰ و ۶۰ و ۸۰ مگاپاسکال و با نسبت  $D/t$  متفاوت هستند و طول آنها ۳۰۰ میلی متر است. مهم ترین اهداف آزمایش عبارتند از: ۱- بررسی اثر وجود برجستگی بر ظرفیت باربری محوری. ۲- بررسی عوامل مختلف مانند ضخامت قالب فولادی، ضریب اصطکاک و نسبت سطح برجستگی به سطح جانبی. ۳- بررسی اثر نوع بارگذاری (فقط بارگذاری بتن و یا بتن و فولاد بصورت هم‌زمان). ۴- بررسی شکل‌پذیری نمونه‌ها.

## کلمات کلیدی

ستون مرکب، تحلیل اجزای محدود غیرخطی، محصورشدگی، شاخص شکل‌پذیری، بتن و ورق فولادی

## *Investigation on the Behavior of Concrete-Filled Rolled Steel Tubular Columns Under Axial Loads*

Seyed Amirodin Sadrnejad; Bahram Ebrahimi

### ABSTRACT

In this paper, a numerical investigation on behavior of concrete in filled columns using nonlinear finite element method is done. Numerical results are verified using experimental results. Behavior of rolled steel tubes which are filled with concrete of different strength on the axial applied loads is present. Effect of steel tubes thickness and confining stress are considered and the results are compared with concrete columns. The results showed that with increasing thickness of steel tubes, axial load capacity and confinement stress and ductility is increased and with increasing the concrete strength, confining stress and ductility is reduced. Specimens with different concrete strength of 30,60,80 MPa and different  $D/t$  ratio are analyzed and all the specimens have the same length of 300 mm. The main objects are: 1) to investigate effect of prominence on axial load capacity. 2) to investigate the effect of different parameters like thickness of steel tubes, friction coefficient and the ratio of prominence area over total perimeter area. 3) to investigate effect of loading (i.e. loading concrete only or loading concrete and steel tubes simultaneous). 4) to investigate the ductility of columns.

### KEYWORDS

Composite column, Finite element analysis, Confinement, Ductility index, Concrete, Steel plate

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۲/۲۵

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۹/۱۰/۱۸

<sup>۱</sup> استاد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، sadrnejad@kntu.ac.ir

<sup>۲\*</sup> نویسنده مسئول و دانشجوی دکتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، b.ebrahimi@dena.kntu.ac.ir

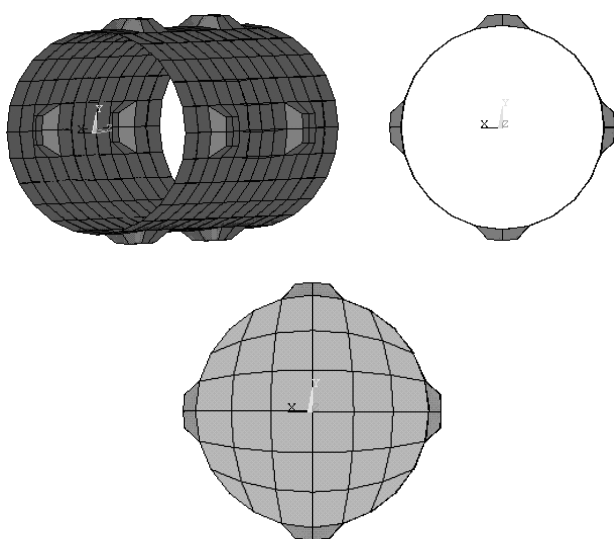


## ۲- مدل‌سازی عددی و بررسی درستی نتایج

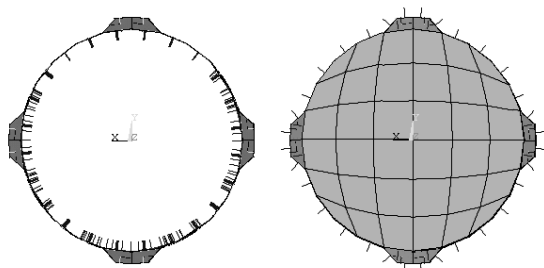
مشخصات طرح‌های ساخته شده در جدول (۱) آورده شده است. طول نمونه‌ها ۳۰۰ میلی‌متر و قطر آنها ۲۰۰ میلی‌متر و تنش جاری شدن فولاد ۲۴۰ مگاپاسکال است.

## ۱-۲- تعریف المان‌ها و منحنی تنش-کرنش

برای طرح نمودن هسته بتنی و مدل‌سازی پوسته فولادی از المان‌هایی که دارای هشت گره و شش وجه است و هر گره، سه درجه آزادی انتقالی دارد، استفاده شده است. در پایان برای مدل‌سازی سطح تماس بتن و پوسته فولادی از المان‌های تماسی استفاده شده است این المان‌ها سه بعدی و دارای هشت گره هستند. (شکل (۱) و شکل (۲)).



شکل (۱): نمونه‌ای از مدل‌های ساخته شده



شکل (۲): ایجاد المان‌های تماسی

رابطه تنش - کرنش فولاد و بتن در شکل‌های (۳) و (۴) دیده می‌شود. نمودار تنش - کرنش بتن تحت اثر فشار تک‌محوره نشان می‌دهد که بتن تا  $0.3 f'_c$  دارای رفتار الاستیک است. برای تنش‌های بیش تر از این مقدار، منحنی در محدوده  $0.75 f'_c$  الی  $0.9 f'_c$  افزایش تدریجی در انحنا دارد سپس افزایش سریع انحنا تا نقطه اوج  $f'_c$  دیده می‌شود و

برتری عضوهای فولادی، شکل‌پذیری و مقاومت کششی بالای آنها است و برتری عضوهای بتنی، سختی و مقاومت فشاری بالای آنها است. در نتیجه در عضوهای مرکب، عضوی با کیفیت مناسب از هر دو مورد را داریم. استفاده از ستون‌های مرکب، به دلیل ظرفیت بالای تحمل بار و مقطع عرضی کوچک آنها، در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته اند [۱].

در ستون‌های فولادی پر شده با بتن، مقاومت نهایی در عضو بدون افزایش در هزینه، افزایش خواهد یافت، زیرا بتن تحت اثر فشار سه محوری قرار گرفته و گسیختگی عضو در مقایسه با ستون‌های بتنی از حالت ترد به حالت پلاستیک تغییر می‌یابد. این ستون‌ها با شکل‌پذیری زیاد و ظرفیت جذب انرژی زیاد هستند. علاوه بر آن، این ستون‌ها وزن کمی داشته و قابل حمل و نقل هستند در نتیجه می‌توان بتن‌ریزی را، هم روی زمین یعنی قبل از نصب در جای اصلی و هم بعد از نصب در محل انجام داد. این مسئله باعث افزایش سرعت عمل و کاهش زمان ساخت می‌شود.

یک گروه از آزمایش‌ها به وسیله پریون و بوهم [۲] بر روی مقاطع دایره‌ای قالبی پر شده با بتن با بار محوری و بار خارج از مرکز و ممان انجام شد. ده آزمایش محوری بر روی ستون‌های کوتاه انجام شد. نمونه‌ها با بتن مقاومت بالا با مقاومت نهایی بین ۷۰ تا ۹۲ مگاپاسکال و مقاومت تسلیم قالب فولادی بین ۲۵۰ تا ۳۳۰ مگاپاسکال هستند.

تعدادی آزمایش عددی به وسیله یانگ و هان [۳] بر روی ۲۸ نمونه ستون کوتاه در معرض بار فشاری با خروج از مرکزیت متفاوت و با عوامل مختلف انجام شد و نحوه رفتار این ستون‌ها با استفاده از طرح اجزای محدود بررسی شد.

برای بحث و بررسی اثر روش تراکم بتن در مقاومت ستون، ستون‌های قالبی پر شده با بتن با مقطع دایره‌ای به وسیله هان [۴] و [۵] آزمایش شد.

کرم و گیسون [۶] و [۷] کمانش الاستیک را در پوسته‌های جدار نازک با یک هسته الاستیک تحلیل نمودند. بیشتر تحلیل‌ها برای بار کمانشی فشاری یکنواخت، ترکیب خمش و بار محوری و خمش خالص انجام شد.

یک گروه از آزمایش‌ها به وسیله اوشی و بریج [۸] در رفتار قالب فولادی دایره‌ای لاغر انجام شده است. که آزمایش‌ها شامل قالب فولادی تنها، قالب با بتن بدون پیوستگی با بارگذاری مقطع فولادی، قالب‌ها با بتن پرکننده با بارگذاری بتن و فولاد هم‌زمان و قالب‌ها با بتن پر شده و بارگذاری بتن.

۲-۲- صحت سنجی نتایج نرم افزار مورد استفاده برای اطمینان از درستی عملکرد مواد انتخاب شده و همچنین المان‌های انتخاب شده، نتایج روش عددی با نتایج آزمایشگاهی ارائه شده در [۹] مقایسه شده‌اند و نتایج در شکل (۵) ارائه شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، برابری خوبی بین نتایج آزمایشگاهی و روش عددی وجود دارد.

برای مدل‌سازی آن از طرح مک گریگور (MacGregor 1992) استفاده شده است. بعد از این نقطه، منحنی تنش - کرنش یک بخش نزولی تا نقطه گسیختگی دارد. معیار گسیختگی تعریف شده بتن، طرح پنج عاملی ویلیام و وارنک (Willam and Warnk 1974) است.

جدول (۱): مشخصات و ویژگی‌های طرح‌های ساخته شده

گروه	شماره نمونه	ضخامت t (mm)	نسبت قطر به ضخامت D/t	مقاومت فشاری بتن (MPa)	ضریب اصطکاک
Aa	Aa1	۰/۵	۴۰۰	۳۰	۰
	Aa2	۰/۵	۴۰۰	۲۰	۰/۱
	Aa3	۰/۵	۴۰۰	۳۰	۰/۲۵
	Aa4	۰/۵	۴۰۰	۲۰	۰/۳
	Aa5	۰/۵	۴۰۰	۳۰	۰/۴
Ab	Ab1	۰/۵	۴۰۰	۶۰	۰
	Ab2	۰/۵	۴۰۰	۶۰	۰/۱
	Ab3	۰/۵	۴۰۰	۶۰	۰/۲۵
	Ab4	۰/۵	۴۰۰	۶۰	۰/۳
	Ab5	۰/۵	۴۰۰	۶۰	۰/۴
Ac	Ac1	۰/۵	۴۰۰	۸۰	۰
	Ac2	۰/۵	۴۰۰	۸۰	۰/۱
	Ac3	۰/۵	۴۰۰	۸۰	۰/۲۵
	Ac4	۰/۵	۴۰۰	۸۰	۰/۳
	Ac5	۰/۵	۴۰۰	۸۰	۰/۴
B*	B*1	۰/۵	۴۰۰	۳۰	۰
	B*2	۰/۵	۴۰۰	۲۰	۰/۱
	B*3	۰/۵	۴۰۰	۳۰	۰/۲۵
	B*4	۰/۵	۴۰۰	۲۰	۰/۳
	B*5	۰/۵	۴۰۰	۳۰	۰/۴
Ca	Ca2	۱	۲۰۰	۳۰	۰/۲۵
	Ca3	۲	۱۰۰	۳۰	۰/۲۵
	Ca4	۳	۶۶/۶۷	۳۰	۰/۲۵
Cb	Cb2	۱	۲۰۰	۶۰	۰/۲۵
	Cb3	۲	۱۰۰	۶۰	۰/۲۵
	Cb4	۳	۶۶/۶۷	۶۰	۰/۲۵
Cc	Cc2	۱	۲۰۰	۸۰	۰/۲۵
	Cc3	۲	۱۰۰	۸۰	۰/۲۵
	Cc4	۳	۶۶/۶۷	۸۰	۰/۲۵
D*	D*2	۱	۲۰۰	۳۰	۰/۲۵
	D*3	۲	۱۰۰	۳۰	۰/۲۵
	D*4	۳	۶۶/۶۷	۳۰	۰/۲۵

\* گفتنی است که نمونه‌های گروه B و D به صورت استوانه‌ای و بدون بیرون‌زدگی در طول ستون هستند.

ظرفیت باربری مقطع افزایش می‌یابد.

رفتار مقطع تعریف شده با ضرایب اصطکاک مختلف، با رفتار مقاطع معمولی مقایسه شده و نتایج تحلیل در شکل (۶) گروه B آورده شده است. شکل کلی رفتار این نمونه‌ها نیز مانند گروه A است و تفاوت در شدت اثر ضریب اصطکاک است، به طوری که در مقاطع گروه B در مقایسه با مقاطع گروه A، هرچه ضریب اصطکاک زیاد می‌شود اثر این افزایش در ظرفیت باربری مقطع بیشتر می‌شود.

### ۳-۲- بررسی اثر ضخامت در محصورشدگی هسته بتنی

#### به‌وسیله پوسته فولادی

با افزایش ضخامت پوسته فولادی، ظرفیت باربری محوری افزایش می‌یابد. (شکل (۷) و شکل (۸) و شکل (۹)). اما این افزایش بیش از آن‌که ناشی از ظرفیت باربری ورق باشد ناشی از افزایش مقاومت بتن در نتیجه افزایش محصورشدگی است. در گروه D نیز مانند نمونه‌های گروه Ca با افزایش ضخامت، ظرفیت باربری و همچنین تنش محصورشدگی افزایش می‌یابد (شکل (۱۰)). اما نکته قابل توجه در شدت این افزایش است به طوری که در نمونه‌های ساده، شدت افزایش ظرفیت باربری و همچنین تنش محصورشدگی نسبت به مقطع، با برجستگی کمتر است.

### ۳-۳- بررسی شکل‌پذیری

ستون‌های فولادی پر شده با بتن، شکل‌پذیری و نیز ظرفیت جذب انرژی را به طور عمده افزایش می‌دهند. شکل‌پذیری به عوامل زیادی از جمله، نوع فولاد و بتن، بار محوری، نسبت عرض به ضخامت قالب فولادی، ضریب لاغری ستون و برشگیر بر پوسته فولادی قالب بستگی دارد.

به‌طور کلی می‌توان گفت پر نمودن نمونه با بتن باعث افزایش زیاد شکل‌پذیری و ظرفیت جذب انرژی می‌شود. دلیل آن، این است که کماتش موضعی ورق به طرف داخل به تاخیر افتاده و در پایان بسیار ملایم‌تر می‌شود.

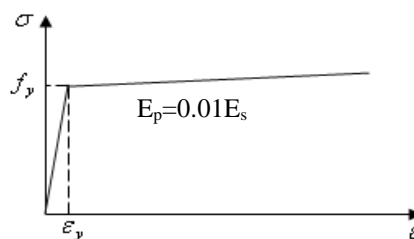
### ۳-۳-۱- شاخص شکل‌پذیری

شاخص شکل‌پذیری عبارت است از [۵]:

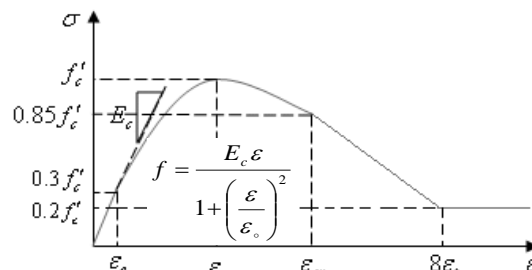
$$DI = \frac{\epsilon_{85\%}}{\epsilon_u} \quad (1)$$

که در آن

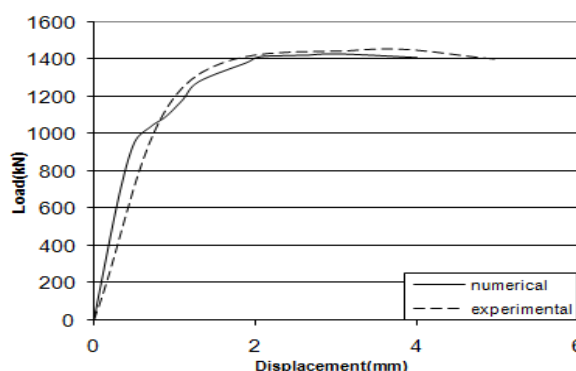
$\epsilon_{85\%}$ : کرنشی است که در آن، بار بعد از نقطه اوج به ۰/۸۵ بار بیشینه می‌رسد.  
 $\epsilon_u$ : کرنش متناظر با بار بیشینه است.



شکل (۳): نمودار تنش - کرنش فولاد



شکل (۴): منحنی تنش - کرنش بتن



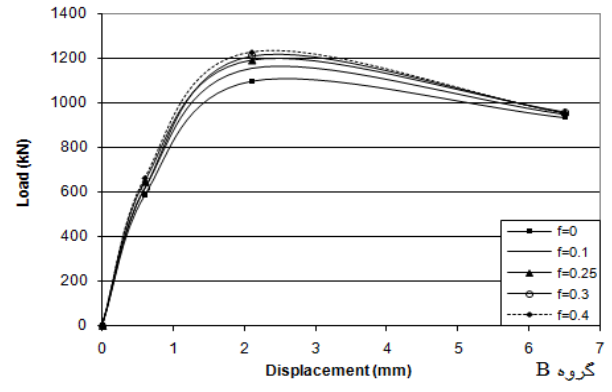
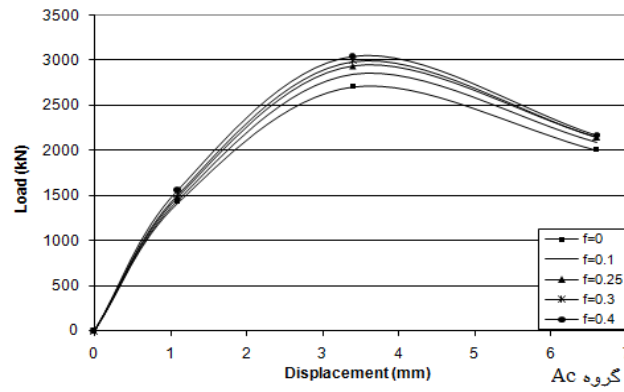
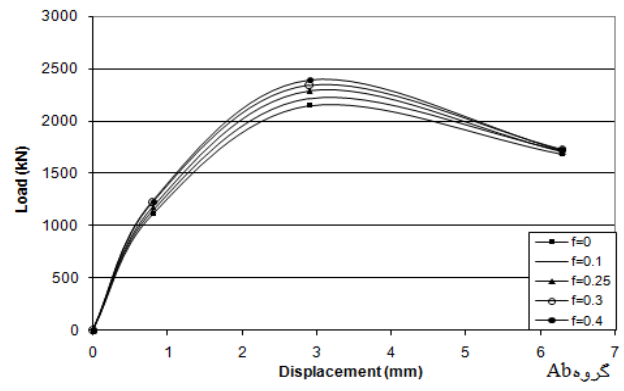
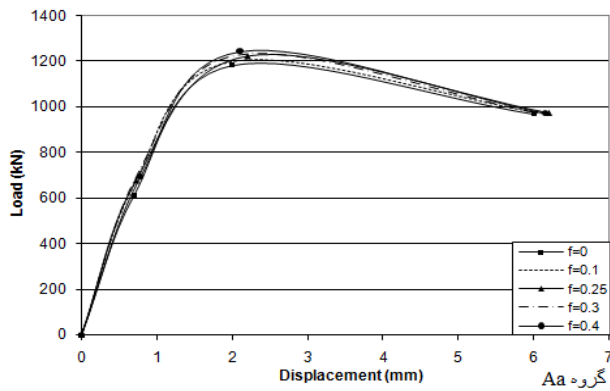
شکل (۵): برابری نتایج آزمایشگاهی و تحلیل عددی

## ۳- نتایج

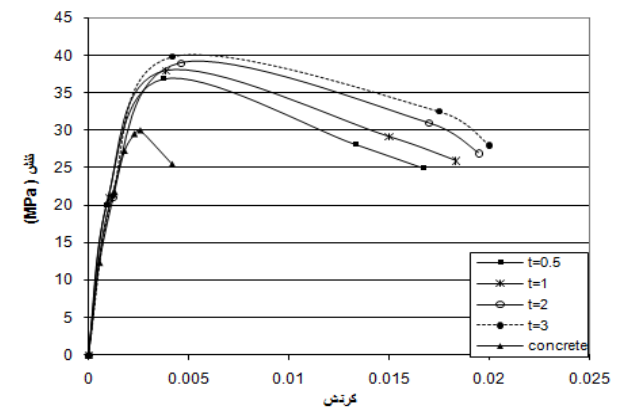
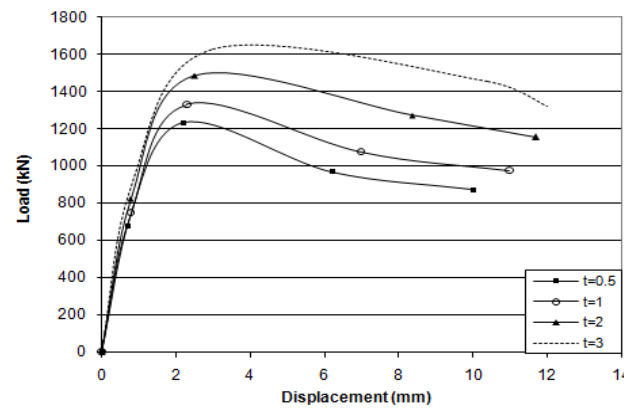
### ۳-۱- بررسی اثر ضریب اصطکاک بین پوسته فولادی و هسته بتنی در مقاطع تعریف شده و مقایسه آن با مقاطع ساده

همان‌طور که در شکل (۶) نشان داده شده است به طور کلی در هر نمودار هرچه ضریب اصطکاک بین پوسته فولادی و هسته بتنی بالاتر رود ظرفیت باربری مقطع بیشتر می‌شود. اما با کمی توجه، دیده می‌شود که اختلاف بین ظرفیت باربری مقطع در ضریب اصطکاک صفر و سایر ضرایب اصطکاک کمی زیاد است و در ضرایب اصطکاک ۰/۳ و ۰/۴ ظرفیت باربری مقطع بسیار به هم نزدیک می‌شود.

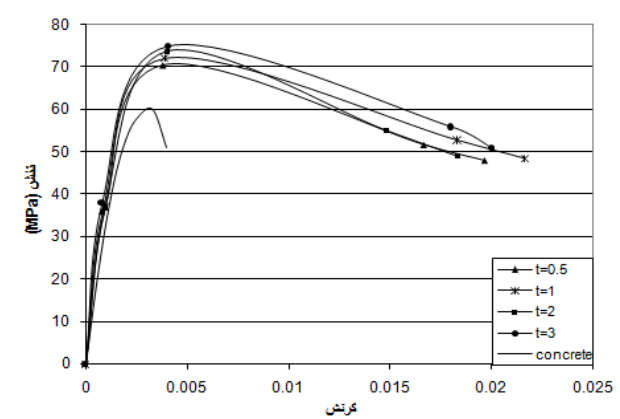
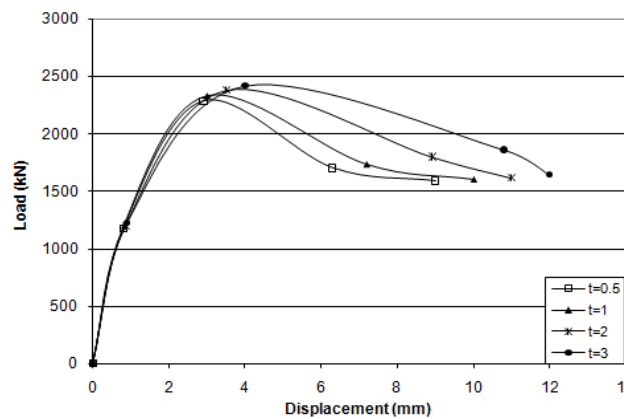
نمودار بار - تغییر مکان در تمام حالات بعد از رسیدن به نقطه اوج حالت نزولی دارد، اما نکته قابل توجه این است که سرعت نزول نمودارها با افزایش ضریب اصطکاک بیشتر شده و در نهایت همه آن‌ها به نقطه یکسانی می‌رسند. با افزایش مقاومت بتنی، اثر ضریب اصطکاک در افزایش



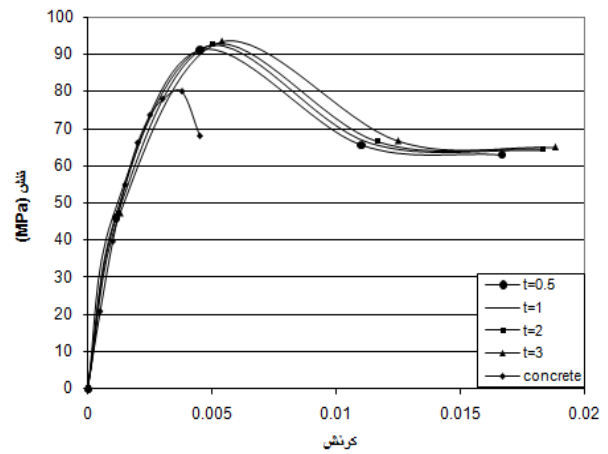
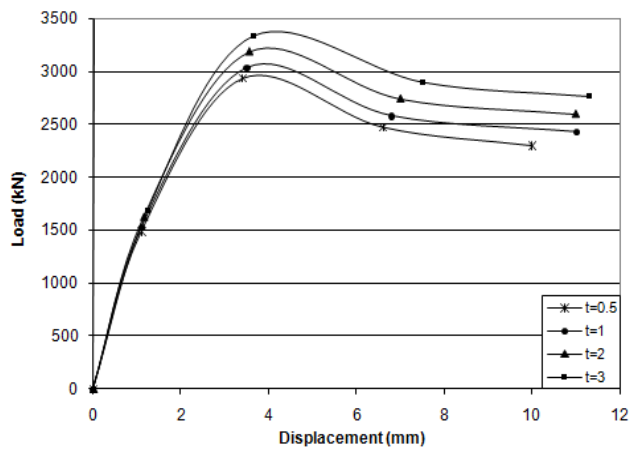
شکل (۶): بررسی اثر ضریب اصطکاک بین پوسته فولادی و هسته بتنی



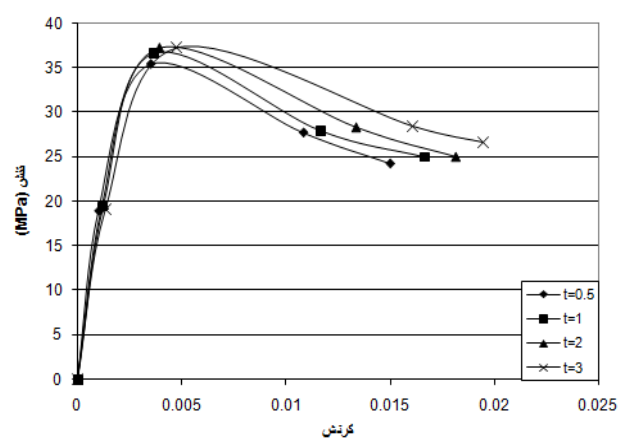
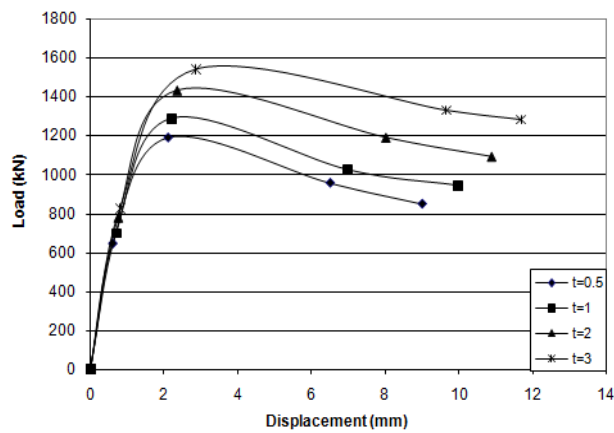
شکل (۷): نتایج تحلیل در گروه Ca



شکل (۸): نتایج تحلیل در گروه Cb



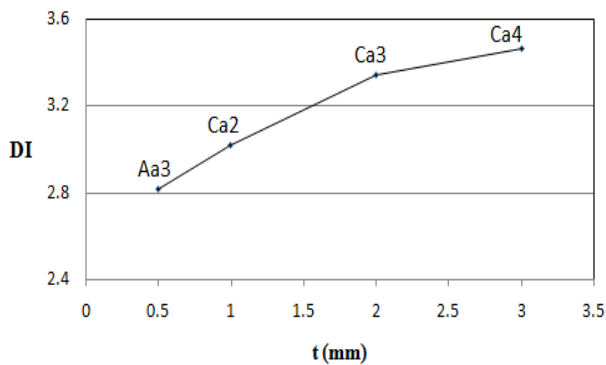
شکل (۹): نتایج تحلیل در گروه Cc



شکل (۱۰): نتایج تحلیل در گروه D

### ۳-۳-۳- بررسی تغییر شکل پذیری با ضخامت پوسته فولادی

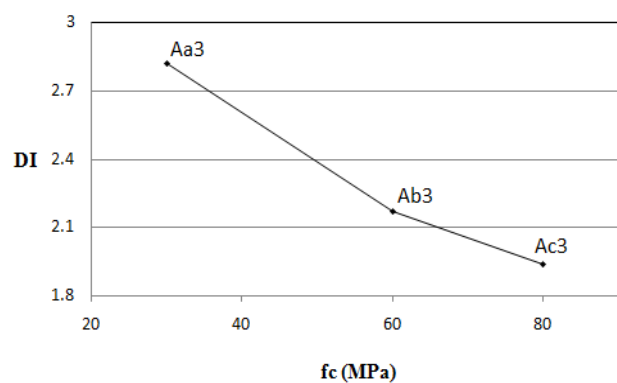
این بررسی در سه سری مقاومت بتنی ۲۰ و ۶۰ و ۸۰ مگاپاسکال انجام شده است. با توجه به شکل (۱۲) و شکل (۱۳) و شکل (۱۴) دیده می‌شود با افزایش مقدار ضخامت پوسته فولادی، مقدار شکل پذیری نیز افزایش می‌یابد اما با افزایش مقاومت بتنی، سرعت افزایش، کاهش پیدا می‌یابد.



شکل (۱۲): اثر ضخامت بر شکل پذیری در بتن ۳۰ مگاپاسکال

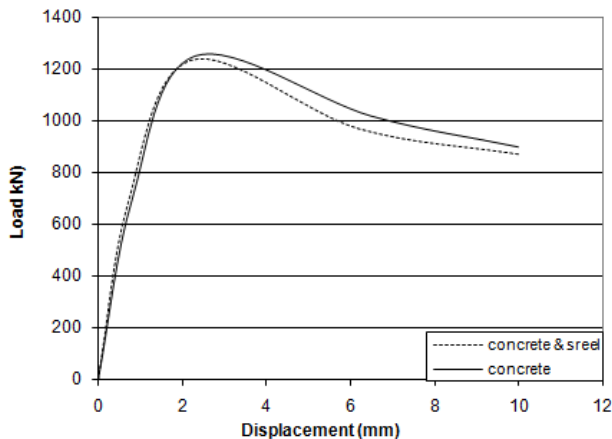
### ۳-۳-۳- بررسی تغییر شکل پذیری با مقاومت بتن

با توجه در شکل (۱۱) دیده می‌شود، هر چه بر مقدار مقاومت بتن افزوده می‌شود، شکل پذیری ستون نیز کاهش می‌یابد که این کاهش شکل پذیری از بتن ۳۰ مگاپاسکال به بتن ۶۰ مگاپاسکال با سرعت بیشتری اتفاق افتاده و بعد از آن کاهش شکل پذیری ملایم‌تر شده و سرعت آن کاهش می‌یابد.

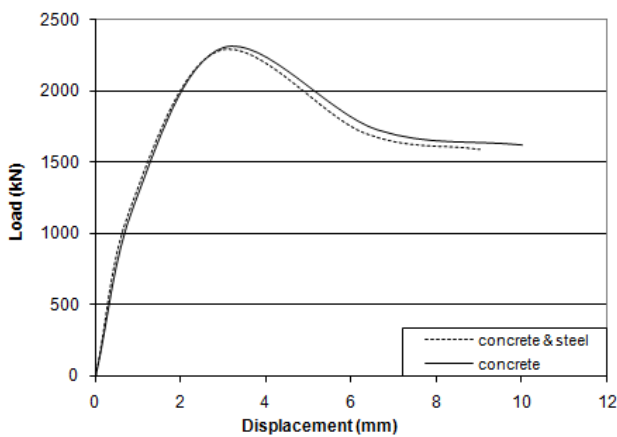


شکل (۱۱): اثر مقاومت بتن بر شکل پذیری

یا حتی در بعضی موارد امکان پذیر نیست.

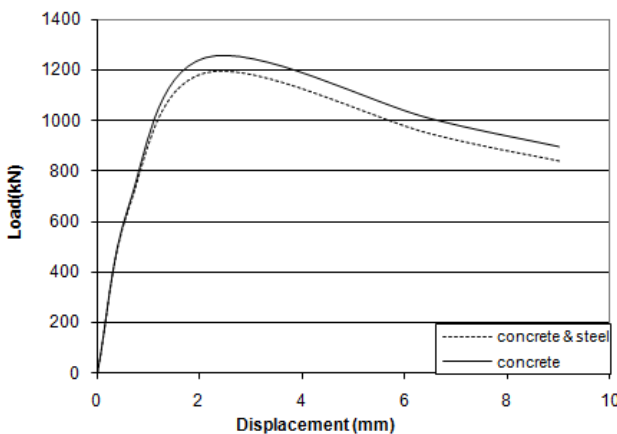


الف) بتن ۳۰ مگاپاسکال

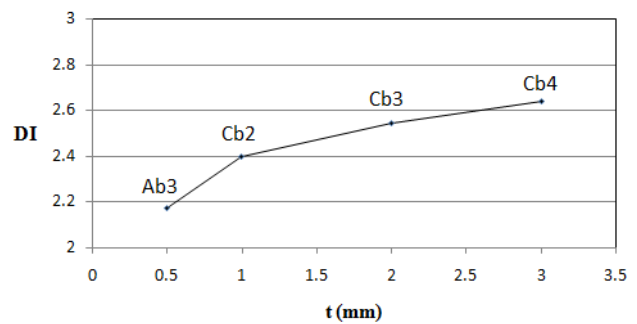


ب) بتن ۶۰ مگاپاسکال

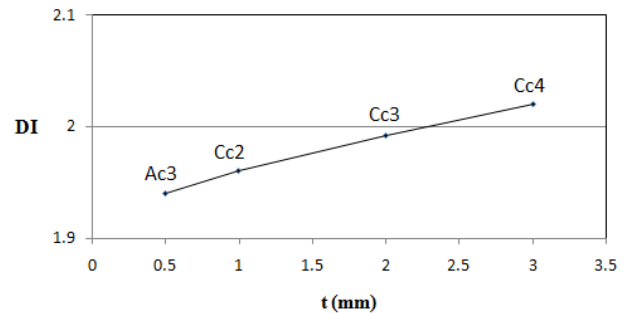
شکل (۱۵): اثر نوع بارگذاری در محصورشدگی هسته بتنی



شکل (۱۶): اثر نوع بارگذاری در محصورشدگی بتن ۳۰ مگاپاسکال در مقاطع ساده



شکل (۱۲): اثر ضخامت بر شکل پذیری در بتن ۶۰ مگاپاسکال



شکل (۱۴): اثر ضخامت بر شکل پذیری در بتن ۸۰ مگاپاسکال

### ۳-۴- بررسی ارتباط نوع بارگذاری با مقاومت بتنی

برای بررسی نوع بارگذاری، یکبار فقط بتن را بارگذاری نموده و در آزمایش بعد بتن و فولاد را به صورت همزمان بارگذاری نموده ایم، دیده می شود که ظرفیت باربری محوری در بارگذاری بتن فقط بیشتر از ظرفیت باربری محوری در بارگذاری بتن و فولاد است.

با دقت در شکل (۱۵) به این نتیجه می رسیم که با افزایش مقاومت بتنی، اختلاف در ظرفیت باربری بین دو نوع بارگذاری کمتر می شود، به این دلیل که در نتیجه افزایش مقاومت بتن، محصورشدگی هسته بتنی کاهش می یابد.

برای مقایسه اثر نوع بارگذاری بین نمونه های با مقاطع ساده و مقاطع تعریف شده، دو نمونه با مشخصات یکسان ساخته شد که تنها تفاوت آنها در وجود یا وجود نداشتن برجستگی در طول ستون است که نتایج تحلیل این دو نمونه در شکل (۱۵) و شکل (۱۶) آورده شده است.

دیده می شود که حساسیت تنش محصورشدگی مقاطع ساده به نوع بارگذاری، بیشتر از مقاطع تعریف شده است به طوری که اختلاف در ظرفیت باربری محوری مقاطع ساده بیشتر از مقاطع تعریف شده است. که این موضوع می تواند یکی از بزرگترین برتری های مقاطع تعریف شده، به خصوص در اجرای اتصالات باشد. زیرا در این ستون ها اجرای اتصالات به طوری که بار به صورت همزمان هم به بتن و هم به فولاد وارد شود، به دلیل ضخامت کم قالب فولادی مشکل ساز بوده و



## ۴- نتیجه گیری

محصورشدگی افزایش می یابد اما نکته قابل توجه، در شدت افزایش است به طوری که در نمونه های ساده، شدت افزایش ظرفیت باربری و همچنین تنش محصورشدگی نسبت به نمونه های با برجستگی، کمتر است.

(۴) با افزایش ضخامت پوسته فولادی، ظرفیت باربری محوری افزوده می شود. اما نکته قابل توجه آن است که این افزایش بیش از آن که ناشی از ظرفیت باربری ورق باشد ناشی از افزایش مقاومت بتن در نتیجه افزایش محصورشدگی است.

(۵) با افزایش مقاومت بتن، محصورشدگی هسته بتنی کاهش می یابد.

(۶) شکل پذیری به عوامل زیادی مانند نوع فولاد و بتن، بار محوری، نسبت عرض به ضخامت قالب فولادی، طول ستون که با بتن پر می شود، ضریب لاغری ستون و برشگیر بر پوسته فولادی قالب بستگی دارد.

(۷) حساسیت تنش محصورشدگی مقاطع ساده به نوع بارگذاری، بیشتر از مقاطع تعریف شده می باشد به طوری که اختلاف در ظرفیت باربری محوری مقاطع ساده، بیشتر از مقاطع تعریف شده می باشد که این عامل یکی از بزرگترین برتری های مقاطع تعریف شده به خصوص در اجرای اتصالات می باشد.

(۱) دیده شد که اختلاف بین ظرفیت باربری مقطع در ضریب اصطکاک صفر و سایر ضرایب اصطکاک کمی زیاد است، در حالی که ظرفیت باربری مقطع در ضرایب اصطکاک  $0/1$ ،  $0/25$ ،  $0/3$  و  $0/4$  به نسبت به هم نزدیک بوده و بعد از ضریب اصطکاک  $0/25$  یعنی در ضرایب اصطکاک  $0/3$  و  $0/4$  ظرفیت باربری مقطع بسیار به هم نزدیک می شوند. نمودار بار - تغییر مکان در تمام حالات بعد از رسیدن به نقطه اوج حالت نزولی دارد، اما نکته قابل توجه آن است که سرعت نزول نمودارها با افزایش ضریب اصطکاک بیشتر شده و در نهایت همه آن ها به نقطه یکسانی می رسند.

(۲) شکل کلی رفتار نمونه های با مقطع ساده مانند رفتار مقاطع تعریف شده است و تفاوت آن ها در شدت اثر ضریب اصطکاک است، به طوری که می توان گفت، در مقاطع ساده در مقایسه با مقاطع تعریف شده، هرچه بر ضریب اصطکاک افزوده می شود اثر این افزایش در ظرفیت باربری مقطع بیشتر خواهد شد.

(۳) در بررسی اثر افزایش ضخامت قالب فولادی دیده شد که با افزایش ضخامت ورق، ظرفیت باربری و همچنین تنش

## ۵- مراجع

- [۶] Karam., G.N.; Gipson., L.J.; "Elastic buckling of cylindrical shells with elastic cores--I (Analysis)", Journal of Solids Structures, 32, p.p. 1259-1283, 1995.
- [۷] Karam., G.N.; Gipson., L.J.; "Elastic buckling of cylindrical shells with elastic cores--II (Experiments)", Journal of Solids Structures, 32, p.p. 1285-1306, 1995.
- [۸] O'Shea., M.; Bridge., R.; "Circular thin-walled tubes with high strength concrete infill", international conference on Composite construction in steel and concrete II. Irsee (Germany), ASCE, p.p. 780-793, 1996.
- [۹] Georgios., Giakoumelis.; Dennis., Lam.; "Axial capacity of circular concrete-filled tube columns", Journal of Constructional Steel Research, 60, p.p. 1049-1068, 2004.
- [۱] Lin Hai., Han.; Guo Huang., Yao.; "Influence of concrete compaction on the strength of concrete-filled steel RHS columns", Journal of Constructional Steel Research, 59, p.p. 751-767, 2003.
- [۲] Prion., HGL.; Boehme., J.; "Beam-column behavior of steel tubes filled with high strength concrete", In: Proceedings of the fourth International Colloquium North American Session. New York: Structural Stability Research Council; p.p. 439-448, 1989.
- [۳] You.Fu. Yang.; Lin.Hai.Han.; "Behaviour of concrete filled steel tubular (CFST) stub columns under eccentric partial compression", Thin-Walled Structures, vol. 49, Issue 2, p.p. 379-395. February 2011
- [۴] Han., LH.; "The influence of concrete compaction on the strength of concrete filled steel tubes", Journal of structural Engineering, 3(2), 131-137, 2000.
- [۵] L., H.Han.; "Tests on stub columns of concrete-filled RHS sections", Journal of Constructional Steel Research, 58, p.p. 353-372, 2002.

