بررسي رفتار قالب‌هاي فولادي نورد شدهٔ پرشده با بتن زير بار محوري فشاري

سيد اميرالدين صدرنژاد[i]; بهرام ابراهيمي[ii] *

چكيده

در اين مقاله بررسي‌هاي عددي گسترده‌اي بر روي رفتار قالب‌هاي پر شده با بتن به وسيله روش اجزا محدود غيرخطي انجام شده و درستي نتايج روش عددي با نتايج آزمايشگاهي بررسي شده است. رفتار اين نمونه‌ها، زير بار محوري ارائه شده است. اثر ضخامت قالب فولادي و مقاومت چسبندگي بين بتن و فولاد و محصورشدگي بتن آزمايش شده و ظرفيت محوري نمونه‌ها و تنش محصورشدگي، محاسبه و با بتن معمولي مقايسه شده است. نتايج نشان دادند با افزايش ضخامت ورق، ظرفيت باربري، تنش محصورشدگي و شكل‌پذيري افزايش مي‌يابد و با افزايش مقاومت بتن، محصورشدگي هسته بتني و شكل‌پذيري كاهش مي‌يابد. نمونه‌ها با مقاومت بتن ۳۰ و۶۰ و۸۰ مگاپاسكال و با نسبت D/t متفاوت هستند و طول آنها ۳۰۰ ميلي متر است. مهم ترين اهداف آزمايش عبارتند از: ۱-بررسي اثر وجود برجستگي بر ظرفيت باربري محوري. ۲-بررسي عوامل مختلف مانند ضخامت قالب فولادي، ضريب اصطكاك و نسبت سطح برجستگي به سطح جانبي. ۳-بررسي اثر نوع بارگذاري (فقط بارگذاري بتن و يا بتن و فولاد بصورت هم‌زمان). ٤- بررسي شكل‌پذيري نمونه‌ها.

كلمات كليدي

ستون مركب، تحليل اجزاي محدود غيرخطي، محصورشدگي، شاخص شكل‌پذيري، بتن و ورق فولادي

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 witch 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

تاريخ دريافت مقاله:۱۳۸۸/۲/۲۵

تاريخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۹/۱۰/۱۸

[i] استاد، دانشگاه صنعتي خواجه نصيرالدين طوسي، sadrnejad@kntu.ac.ir .

[ii] *نويسنده مسئول و دانشجوي دكتري، دانشگاه صنعتي خواجه نصيرالدين طوسي، b.ebrahimi@dena.kntu.ac.ir .

۱- مقدمه

برتري عضوهاي فولادي، شكل‌پذيري و مقاومت كششي بالاي آنها است و برتري عضوهاي بتني، سختي و مقاومت فشاري بالاي آنها است. در نتيجه در عضوهاي مركب، عضوي با كيفيت مناسب از هر دو مورد را داريم. استفاده از ستون‌هاي مركب، به دليل ظرفيت بالاي تحمل بار و مقطع عرضي كوچك آن‌ها، در سال‌هاي اخير مورد توجه قرار گرفته اند[۱].

در ستون‌هاي فولادي پر شده با بتن، مقاومت نهايي در عضو بدون افزايش در هزينه، افزايش خواهد يافت، زيرا بتن تحت اثر فشار سه محوري قرار گرفته و گسيختگي عضو در مقايسه با ستون‌هاي بتني از حالت ترد به حالت پلاستيك تغيير مي‌يابد. اين ستون‌ها با شكل‌پذيري زياد و ظرفيت جذب انرژي زياد هستند. علاوه بر آن، اين ستون‌ها وزن كمي داشته و قابل حمل‌ونقل هستند در نتيجه مي‌توان بتن‌ريزي را، هم روي زمين يعني قبل از نصب در جاي اصلي و هم بعد از نصب در محل انجام داد. اين مسئله باعث افزايش سرعت عمل و كاهش زمان ساخت مي‌شود.

يك گروه از آزمايش‌ها به‌وسيله پريون و بوهم [۲] بر روي مقاطع دايره‌اي قالبي پر شده با بتن با بار محوري و بار خارج از مركز و ممان انجام شد. ده آزمايش محوري بر روي ستون‌هاي كوتاه انجام شد. نمونه‌ها با بتن مقاومت بالا با مقاومت نهايي بين۷۰ تا ۹۲ مگاپاسكال و مقاومت تسليم قالب فولادي بين ۲۵۰ تا ۳۳۰ مگاپاسكال هستند.

تعدادي آزمايش عددي به‌وسيله يانگ و هان [۳] بر روي ۲۸ نمونه ستون كوتاه در معرض بار فشاري با خروج از مركزيت متفاوت و با عوامل مختلف انجام شد و نحوه رفتار اين ستون‌ها با استفاده از طرح اجزاي محدود بررسي شد.

براي بحث و بررسي اثر روش تراكم بتن در مقاومت ستون، ستون‌هاي قالبي پر شده با بتن با مقطع دايره‌اي به وسيله هان [۴]و [۵] آزمايش شد.

كرم و گيبسون [۶] و [۷] كمانش الاستيک را در پوسته‌هاي جدار نازک با يک هسته الاستيک تحليل نمودند. بيشتر تحليل‌ها براي بار كمانشي فشاري يكنواخت، تركيب خمش و بار محوري و خمش خالص انجام شد.

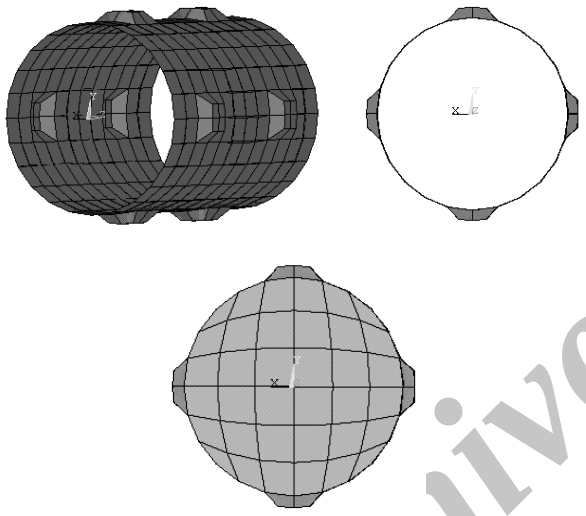
يك گروه از آزمايش‌ها به‌وسيله اوشي و بريج [۸] در رفتار قالب فولادي دايره‌اي لاغر انجام شده است. كه آزمايش‌ها شامل قالب فولادي تنها، قالب با بتن بدون پيوستگي با بارگذاري مقطع فولادي، قالب‌ها با بتن پركننده با بارگذاري بتن و فولاد هم‌زمان و قالب‌ها با بتن پر شده و بارگذاري بتن.

۲- مدل‌سازي عددي و بررسي درستي نتايج

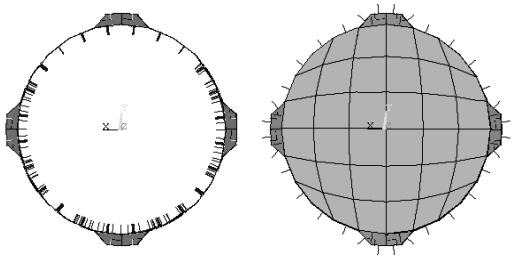
مشخصات طرح‌هاي ساخته شده در جدول (۱) آورده شده است. طول نمونه‌ها ۳۰۰ ميلي‌متر و قطر آنها ۲۰۰ ميلي‌متر و تنش جاري شدن فولاد ۲۴۰ مگاپاسكال است.

۲-۱- تعريف المان‌ها و منحني تنش-كرنش

براي طرح نمودن هسته بتني و مدل‌سازي پوسته فولادي از المان‌هايي كه داراي هشت گره و شش وجه است و هر گره، سه درجه آزادي انتقالي دارد، استفاده شده است. در پايان براي مدل‌سازي سطح تماس بتن و پوسته فولادي از المان‌هاي تماسي استفاده شده است اين المان‌ها سه بعدي و داراي هشت گره هستند. (شكل (۱) وشكل (۲)).



شكل (۱): نمونه‌اي از مدل‌هاي ساخته شده



شكل (۲): ايجاد المان‌هاي تماسي

رابطه تنش - كرنش فولاد و بتن در شكل‌هاي (۳) و (٤) ديده مي‌شود. نمودار تنش - كرنش بتن تحت اثر فشار تك‌محوره نشان مي‌دهد كه بتن تا f'_c ۰/۳ داراي رفتار الاستيك است. براي تنش‌هاي بيش تر از اين مقدار، منحني در محدودة f'_c ۰/۷۵ الي f'_c ۰/۹ افزايش تدريجي در انحنا دارد

سپس افزايش سريع انحنا تا نقطة اوج f'_c ديده مي‌شود و براي مدل‌سازي آن از طرح مک گريگور (MacGregor 1992) استفاده شده است. بعد از اين نقطه، منحني تنش - كرنش يك بخش نزولي تا نقطة گسيختگي دارد.

معيار گسيختگي تعريف شده بتن، طرح پنج عاملي ويليام و وارنک (Willam and Warnk 1974) است.

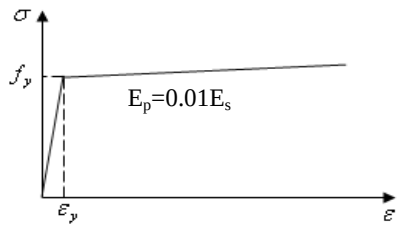
۲-۲- صحت سنجي نتايج نرم افزار مورد استفاده

براي اطمينان از درستي عملكرد مواد انتخاب شده و هم‌چنين المان‌هاي انتخاب شده، نتايج روش عددي با نتايج آزمايشگاهي ارائه شده در [۹] مقايسه شده‌اند و نتايج در شكل (۵) ارائه شده است. همان‌طور كه ديده‌مي‌شود، برابري خوبي بين نتايج آزمايشگاهي و روش عددي وجود دارد.

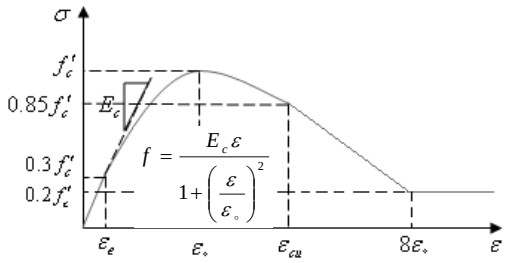
جدول (۱): مشخصات و ويژگي‌هاي طرح‌هاي ساخته شده

گروه	شماره نمونه	ضخامت t (mm)	نسبت قطر به ضخامت D/t	مقاومت فشاري بتن (MPa)	ضريب اصطكاک
Aa	Aa1	۰/۵	۴۰۰	۳۰	۰
	Aa2	۰/۵	۴۰۰	۳۰	۰/۱
	Aa3	۰/۵	۴۰۰	۳۰	۰/۲۵
	Aa4	۰/۵	۴۰۰	۳۰	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	۳۰	۰/۱
	B*3	۰/۵	۴۰۰	۳۰	۰/۲۵
	B*4	۰/۵	۴۰۰	۳۰	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

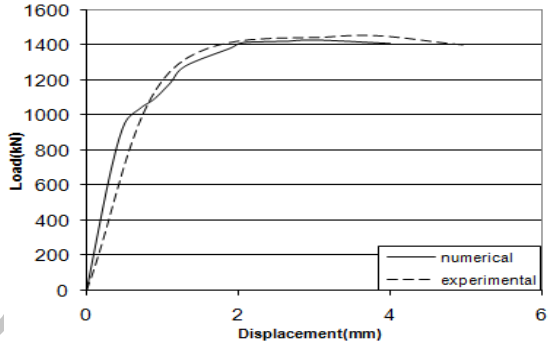
* گفتني است كه نمونه‌هاي گروه B و D به صورت استوانه‌اي و بدون بيرون‌زدگي در طول ستون هستند.



شكل (٣): نمودار تنش - كرنش فولاد



شكل (٤): منحني تنش - كرنش بتن



شكل (٥): برابري نتايج آزمايشگاهي و تحليل عددي

٣- نتايج

٣-١- بررسي اثر ضريب اصطكاک بين پوسته فولادي و هسته بتني در مقاطع تعريف شده و مقايسه آن با مقاطع ساده

همان‌طور كه در شكل (٦) نشان داده شده است به طور كلي در هر نمودار هرچه ضريب اصطكاک بين پوسته فولادي و هسته بتني بالاتر رود ظرفيت باربري مقطع بيشتر مي‌شود. اما با كمي توجه، ديده مي‌شود كه اختلاف بين ظرفيت باربري مقطع در ضريب اصطكاک صفر و ساير ضرايب اصطكاک كمي زياد است و در ضرايب اصطكاک ٠/٣ و ٠/٤ ظرفيت باربري مقطع بسيار به هم نزديک مي‌شود.

نمودار بار - تغيير مكان در تمام حالات بعد از رسيدن به نقطه اوج حالت نزولي دارد، اما نكته قابل توجه اين است كه سرعت نزول نمودارها با افزايش ضريب اصطكاک بيشتر شده و در نهايت همه آن‌ها به نقطه يكساني مي‌رسند.

با افزايش مقاومت بتني، اثر ضريب اصطكاک در افزايش ظرفيت باربري مقطع افزايش مي‌يابد.

رفتار مقطع تعريف شده با ضرايب اصطكاک مختلف، با رفتار مقاطع معمولي مقايسه شده و نتايج تحليل در شكل (٦) گروه B آورده شده است. شكل كلي رفتار اين نمونه‌ها نيز مانند گروه A است و تفاوت در شدت اثر ضريب اصطكاک است، به‌طوري‌كه در مقاطع گروه B در مقايسه با مقاطع گروه A، هرچه ضريب اصطكاک زياد مي‌شود اثر اين افزايش در ظرفيت باربري مقطع بيشتر مي‌شود.

٣-٢- بررسي اثر ضخامت در محصورشدگي هسته بتني به‌وسيله پوسته فولادي

با افزايش ضخامت پوسته فولادي، ظرفيت باربري محوري افزايش مي‌يابد. (شكل (٧) وشكل (٨) وشكل (٩)). اما اين افزايش بيش از آن‌كه ناشي از ظرفيت باربري ورق باشد ناشي از افزايش مقاومت بتن در نتيجه افزايش محصورشدگي است. در گروه D نيز مانند نمونه‌هاي گروه Ca با افزايش ضخامت، ظرفيت باربري و هم‌چنين تنش محصورشدگي افزايش مي‌يابد (شكل (١٠)). اما نكته قابل توجه در شدت اين افزايش است به‌طوري‌كه در نمونه‌هاي ساده، شدت افزايش ظرفيت باربري و هم‌چنين تنش محصورشدگي نسبت به مقاطع، با برجستگي كمتر است.

٣-٣- بررسي شكل‌پذيري

ستون‌هاي فولادي پر شده با بتن، شكل‌پذيري و نيز ظرفيت جذب انرژي را به طور عمده افزايش مي‌دهند. شكل‌پذيري به عوامل زيادي از جمله، نوع فولاد و بتن، بار محوري، نسبت عرض به ضخامت قالب فولادي، ضريب لاغري ستون و برشگير بر پوسته فولادي قالب بستگي دارد.

به‌طور كلي مي‌توان گفت پر نمودن نمونه با بتن باعث افزايش زياد شكل‌پذيري و ظرفيت جذب انرژي مي‌شود. دليل آن، اين است كه كمانش موضعي ورق به طرف داخل به تاخير افتاده و در پايان بسيار ملايم‌تر مي‌شود.

٣-٣-١- شاخص شكل‌پذيري

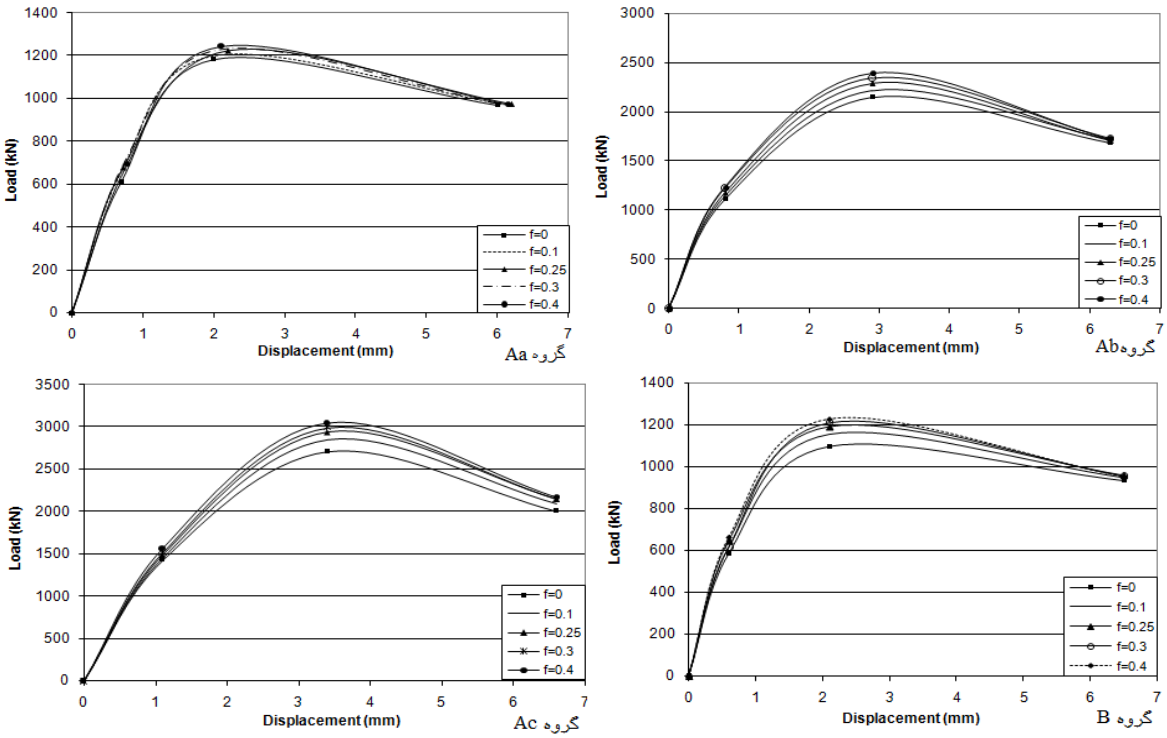
شاخص شكل‌پذيري عبارت است از [٥]:

$$DI = \frac{\varepsilon_{85\%}}{\varepsilon_u} \qquad (١)$$

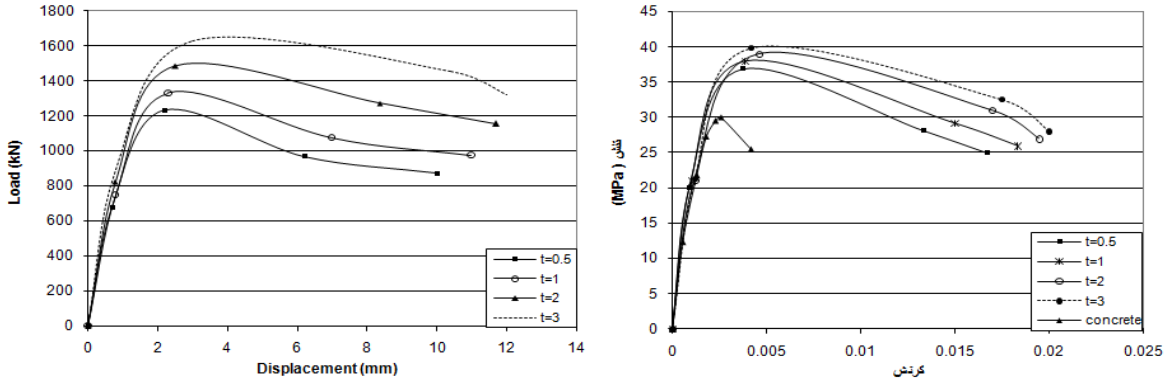
كه در آن

$\varepsilon_{85\%}$: كرنشي است كه در آن، بار بعد از نقطه اوج به ٠/٨٥ بار بيشينه مي‌رسد.

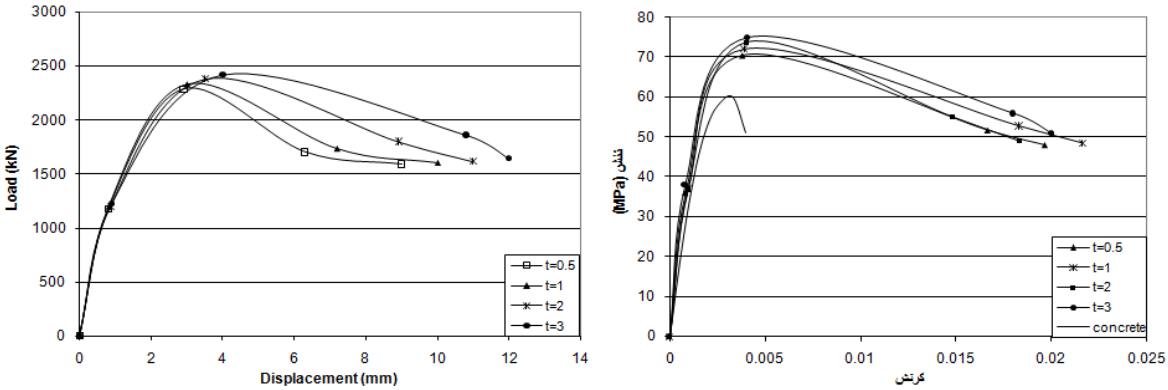
ε_u: كرنش متناظر با بار بيشينه است.



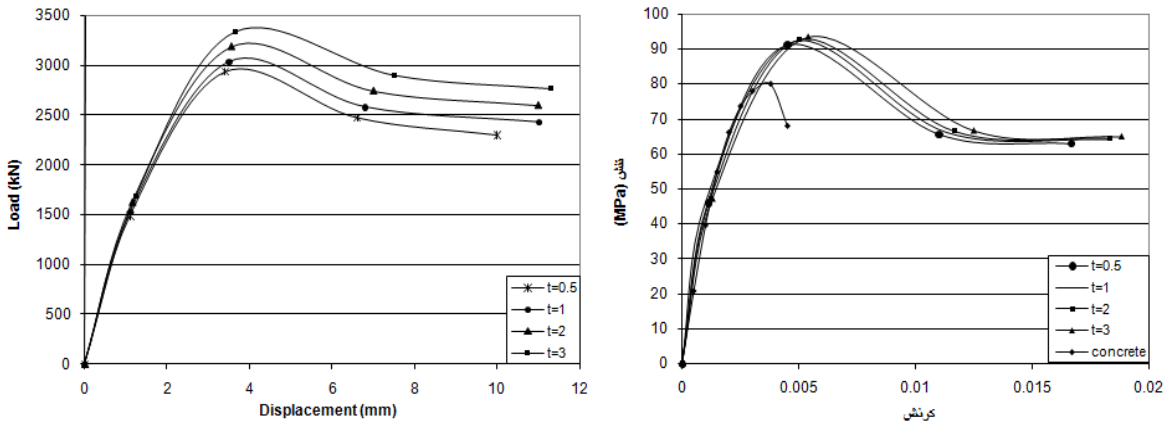
شكل (٦): بررسي اثر ضريب اصطكاک بين پوسته فولادي و هسته بتني



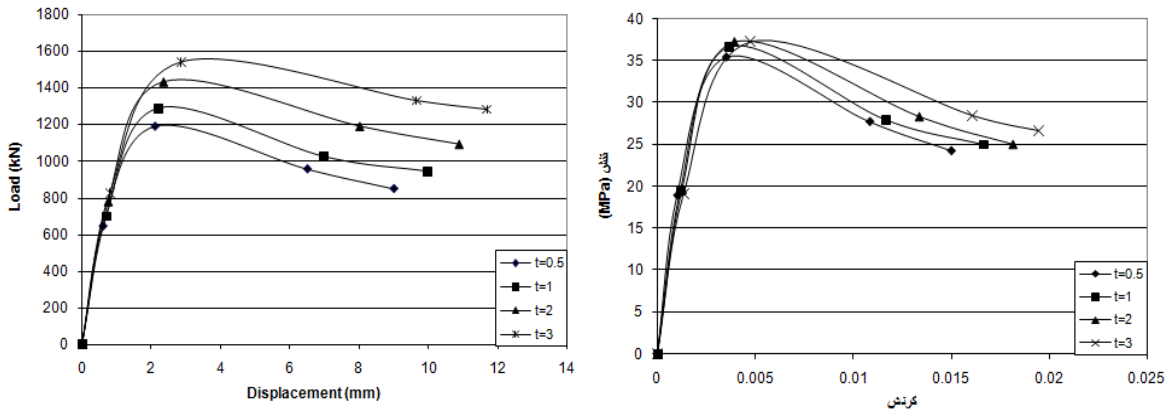
شكل (٧): نتايج تحليل در گروه **Ca**



شكل (٨): نتايج تحليل در گروه **Cb**



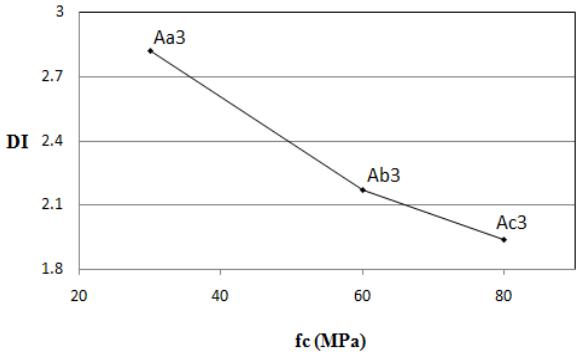
شکل (۹): نتایج تحلیل در گروه Cc



شکل (۱۰): نتایج تحلیل در گروه D

۳-۳-۲- بررسي تغيير شكل‌پذيري با مقاومت بتن

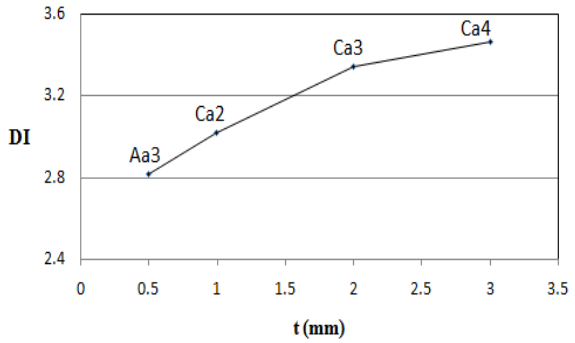
با توجه در شكل (۱۱) ديده مي‌شود، هر چه بر مقدار مقاومت بتن افزوده مي‌شود، شكل‌پذيري ستون نيز كاهش مي‌يابد كه اين كاهش شكل‌پذيري از بتن ۳۰ مگاپاسكال به بتن ۶۰ مگاپاسكال با سرعت بيشتري اتفاق افتاده و بعد از آن كاهش شكل‌پذيري ملايم‌تر شده و سرعت آن كاهش مي‌يابد.



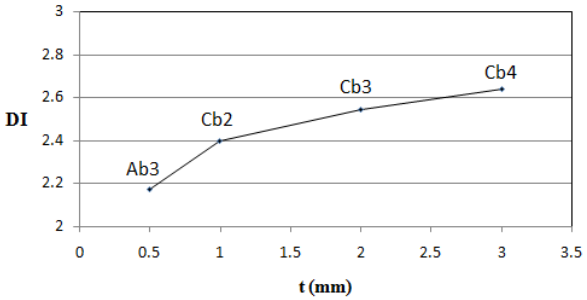
شكل (۱۱): اثر مقاومت بتن بر شكل‌پذيري

۳-۳-۳- بررسي تغيير شكل‌پذيري با ضخامت پوسته فولادي

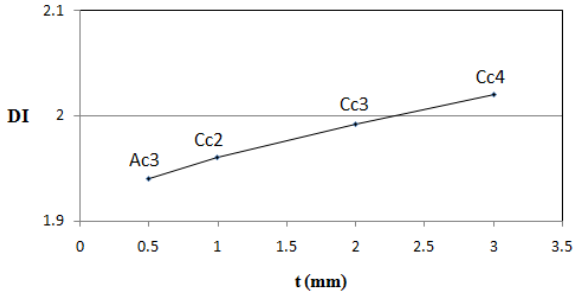
اين بررسي در سه سري مقاومت بتني ۳۰ و۶۰ و۸۰ مگاپاسكال انجام شده است. با توجه به شكل (۱۲) وشكل (۱۳) وشكل (۱۴) ديده مي‌شود با افزايش مقدار ضخامت پوسته فولادي، مقدار شكل‌پذيري نيز افزايش مي‌يابد اما با افزايش مقاومت بتني، سرعت افزايش، كاهش پيدا مي‌يابد.



شكل (۱۲): اثر ضخامت بر شكل‌پذيري در بتن ۳۰ مگاپاسكال



شكل (١٣): اثر ضخامت بر شكل‌پذيري در بتن ٦٠ مگاپاسكال



شكل (١٤): اثر ضخامت بر شكل‌پذيري در بتن ٨٠ مگاپاسكال

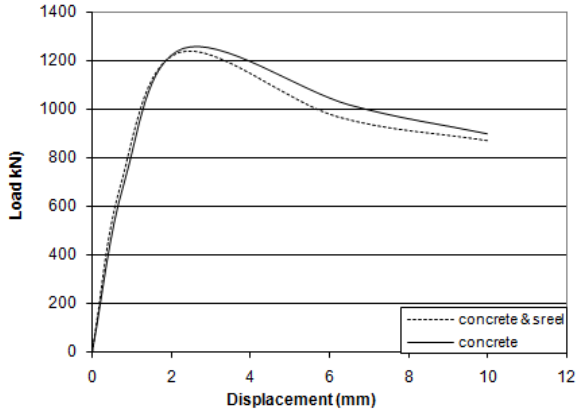
٣-٤- بررسي ارتباط نوع بارگذاري با مقاومت بتني

براي بررسي نوع بارگذاري، يكبار فقط بتن را بارگذاري نموده و در آزمايش بعد بتن و فولاد را به‌صورت هم‌زمان بارگذاري نموده‌ايم، ديده مي‌شود كه ظرفيت باربري محوري در بارگذاري بتن فقط بيشتر از ظرفيت باربري محوري در بارگذاري بتن و فولاد است.

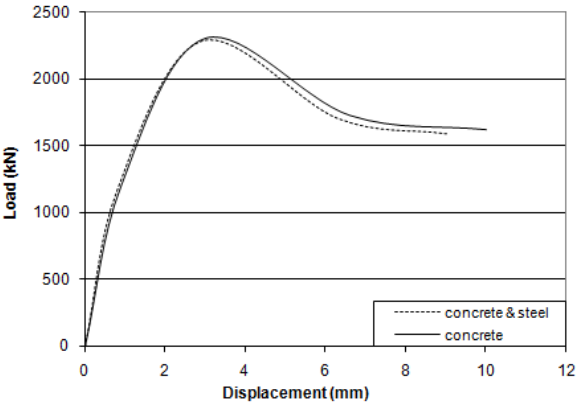
با دقت درشكل (١٥) به اين نتيجه مي‌رسيم كه با افزايش مقاومت بتني، اختلاف در ظرفيت باربري بين دو نوع بارگذاري كمتر مي‌شود، به اين دليل كه در نتيجه افزايش مقاومت بتن، محصورشدگي هسته بتني كاهش مي‌يابد.

براي مقايسه اثر نوع بارگذاري بين نمونه‌هاي با مقاطع ساده و مقاطع تعريف شده، دو نمونه با مشخصات يكسان ساخته شد كه تنها تفاوت آنها در وجود يا وجود نداشتن برجستگي در طول ستون است كه نتايج تحليل اين دو نمونه در شكل (١٥) وشكل (١٦) آورده شده است.

ديده مي‌شود كه حساسيت تنش محصورشدگي مقاطع ساده به نوع بارگذاري، بيشتر از مقاطع تعريف شده است به‌طوري‌كه اختلاف در ظرفيت باربري محوري مقاطع ساده بيشتر از مقاطع تعريف شده است. كه اين موضوع مي‌تواند يكي از بزرگ‌ترين برتري‌هاي مقاطع تعريف شده، به‌خصوص در اجراي اتصالات باشد. زيرا در اين ستون‌ها اجراي اتصالات به‌طوري‌كه بار به‌صورت هم‌زمان هم به بتن و هم به فولاد وارد شود، به دليل ضخامت كم قالب فولادي مشكل‌ساز بوده و يا حتي در بعضي موارد امكان‌پذير نيست.

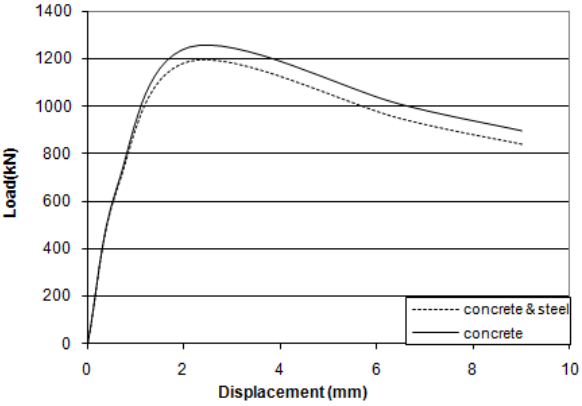


الف) بتن ٣٠ مگاپاسكال



ب) بتن ٦٠ مگاپاسكال

شكل (١٥): اثر نوع بارگذاري در محصورشدگي هسته بتني



شكل (١٦): اثر نوع بارگذاري در محصورشدگي بتن ٣٠ مگاپاسكال در مقاطع ساده

۴- نتيجه‌گيري

۱) ديده شد که اختلاف بين ظرفيت باربري مقطع در ضريب اصطکاک صفر و ساير ضرايب اصطکاک کمي زياد است، در حالي‌که ظرفيت باربري مقطع در ضرايب اصطکاک ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۳ و ۰/٤ به نسبت به هم نزديک بوده و بعد از ضريب اصطکاک ۰/۲۵ يعني در ضرايب اصطکاک ۰/۳ و ۰/٤ ظرفيت باربري مقطع بسيار به هم نزديک مي‌شوند. نمودار بار - تغيير مکان در تمام حالات بعد از رسيدن به نقطه اوج حالت نزولي دارد، اما نکته قابل توجه آن است که سرعت نزول نمودارها با افزايش ضريب اصطکاک بيشتر شده و در نهايت همه آن‌ها به نقطه يکساني مي‌رسند.

۲) شکل کلي رفتار نمونه‌هاي با مقطع ساده مانند رفتار مقاطع تعريف شده است و تفاوت آن‌ها در شدت اثر ضريب اصطکاک است، به طوري‌که مي‌توان گفت، در مقاطع ساده در مقايسه با مقاطع تعريف شده، هرچه بر ضريب اصطکاک افزوده مي‌شود اثر اين افزايش در ظرفيت باربري مقطع بيشتر خواهد شد.

۳) در بررسي اثر افزايش ضخامت قالب فولادي ديده شد که با افزايش ضخامت ورق، ظرفيت باربري و هم‌چنين تنش محصورشدگي افزايش مي‌يابد اما نکته قابل توجه، در شدت افزايش است به طوري‌که در نمونه‌هاي ساده، شدت افزايش ظرفيت باربري و هم‌چنين تنش محصورشدگي نسبت به نمونه‌هاي با برجستگي، کمتر است.

٤) با افزايش ضخامت پوسته فولادي، ظرفيت باربري محوري افزوده مي‌شود. اما نکته قابل توجه آن است که اين افزايش بيش از آن که ناشي از ظرفيت باربري ورق باشد ناشي از افزايش مقاومت بتن در نتيجه افزايش محصورشدگي است.

۵) با افزايش مقاومت بتن، محصورشدگي هسته بتني کاهش مي‌يابد.

٦) شکل‌پذيري به عوامل زيادي مانند نوع فولاد و بتن، بار محوري، نسبت عرض به ضخامت قالب فولادي، طول ستون که با بتن پر مي‌شود، ضريب لاغري ستون و برشگير بر پوسته فولادي قالب بستگي دارد.

۷) حساسيت تنش محصورشدگي مقاطع ساده به نوع بارگذاري، بيشتر از مقاطع تعريف شده مي‌باشد به طوري‌که اختلاف در ظرفيت باربري محوري مقاطع ساده، بيشتر از مقاطع تعريف شده مي‌باشد که اين عامل يکي از بزرگ‌ترين برتري‌هاي مقاطع تعريف شده به‌خصوص در اجراي اتصالات مي‌باشد.

۵- مراجع

[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

[٤] 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.

[٦] 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.