



بررسی بعضی عوامل تاثیر گذار بر عملکرد ستونهای بتن مسلح با مقطع مربع - مستطیل محصور شده با الیاف پلیمری (FRP)

اصغر وطنی اسکویی^۱، سوزان ولی زاده^۲، موسی امین نژاد^۳

۱- اصغر وطنی اسکویی، استادیار

۲- سوزان ولی زاده، کارشناسی ارشد سازه

۳- موسی امین نژاد، کارشناس ارشد سازه های هیدرولیکی

susan_m230@yahoo.com

چکیده

محصورشدگی ستونهای بتن مسلح با ورقهای FRP افزایش مقاومت و شکل پذیری عضو را در پی داشته و همچنین باعث بهبود عملکرد لرزه ای و شکل پذیری سیستم سازه ای تقویت شده می شود. پارامترهای متعددی در پاسخ و عملکرد ستونهای بتن مسلح محصور شده با FRP تاثیر گذار می باشند. پارامترهایی همچون شکل مقطع (دایروی، مربع و یا مربع-مستطیل)، مقدار بار محوری، مقاومت بتن ستون، تعداد لایه های الیاف پلیمری، نوع و مشخصات لایه های FRP و..... را می توان بر شمرد. در این تحقیق سعی شده است تا با مدلسازی ستونهای بتنی، تاثیر بعضی از پارامترها بر عملکرد ستون مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا با استفاده از تحلیل فیزیکی، عملکرد ستون تحت بارهای محوری و جانبی مورد مطالعه قرار گرفته و جهت صحت نتایج، مقایسه بین کارهای آزمایشگاهی انجام شده و نتایج بدست آمده از این تحلیل مورد بررسی قرار می گیرد. بر اساس نتایج بدست آمده سختی، سختی موثر، نسبت میرایی، جذب انرژی در هر سیکل بارگذاری و با توجه به شکل پذیری سیستم بدست خواهد آمد. از آنجا که مطالعه آزمایشگاهی از لحاظ هزینه و زمان قدری مشکل می باشد در این تحلیل پارامترهای دیگری نیز که در آزمایشها مورد بررسی قرار نگرفته، مطالعه خواهد شد.

کلمات کلیدی: الیاف پلیمری (FRP)، ستون بتن مسلح، نسبت طول به عرض مقطع، جذب انرژی.

۱. مقدمه

در سالهای اخیر کارهای تحقیقاتی زیادی بر روی عملکرد ستونهای بتن مسلح تقویت شده با الیاف پلیمری صورت گرفته است. از مهمترین پارامترها بررسی الیاف بر محصور شدگی بتن می باشد. محصورکردگی ستون با FRP علاوه بر اینکه تا حد زیادی میزان ظرفیت باربری محوری ستون و کرنش گسیختگی آن را افزایش می دهد تاثیرات بسیار مناسبی همچون افزایش شکل پذیری و نیز قابلیت جذب انرژی آنها به دنبال دارد از این رو گزینه بسیار مناسبی برای مقاوم سازی ستونها به شمار می آید. اثر محصورکردگی برای مقاطع مستطیلی از کارآیی کمتری نسبت به مقاطع دایره و مربع برخوردار است، زیرا نقاطی از هسته بتن تحت فشار بیشتر محصور کنندگی قرار می گیرند. نقاطی مانند گوشه های مقطع مربع-مستطیلی، در صورت تیز بودن ممکن است باعث پارگی الیاف FRP در گوشه های مقطع بشود.

^۱ - استادیار گروه عمران، دانشگاه شهید رجایی، تهران، تلفن: ۲۲۹۷۰۰۶۰

^۲ - کارشناس ارشد سازه، شرکت گاز استان تهران، تلفن: ۸۱۳۱۵۳۴۶

^۳ - کارشناس ارشد سازه های هیدرولیکی، شرکت مدی-ری ت منابع آب ایران، تهران، تلفن: ۸۸۹۸۹۶۱۸



اولین کنفرانس بین المللی مقاوم سازی لرزه ای، تبریز- ایران، ۲۹ مهر الی ۱ آبان ماه ۱۳۸۷

تأثیر الیاف پلیمری به عنوان عامل محصور کننده، محدود به قسمتی از مقطع ستون که "سطح محصور شده" نامیده می شود باعث افزایش مقاومت فشاری بتن می گردد [۱]. لذا مطالعاتی بر روی سطح مقطع موثر محصورشدگی "سطح محصور شده" صورت گرفته است [۱۱].

Harajli در تحقیقات خود بر روی نمونه هایی که در آن مساحت سطح مقطع و مقاومت بتن و شعاع گوشه یکسان و در ۳ شکل مقطع مختلف (دایره، مربع و مستطیل) نشان می دهد که تأثیر محصور شدگی به ترتیب اولویت بر روی مقاطع دایروی، مربعی و سپس مستطیلی کار آیی مناسبتری دارند [۶]. همچنین وی آزمایشهایی را برای مقاطع مستطیلی با ۳ نسبت طول به عرض ۱/۰، ۲/۳ و ۲/۷ انجام داد و نتایج بیانگر آن است که با افزایش نسبت طول به عرض مقطع، نمونه در کرنش کوچکتری گسیخته میگردد همچنین تنش محوری قابل تحمل آن نیز کاهش می یابد [۶].

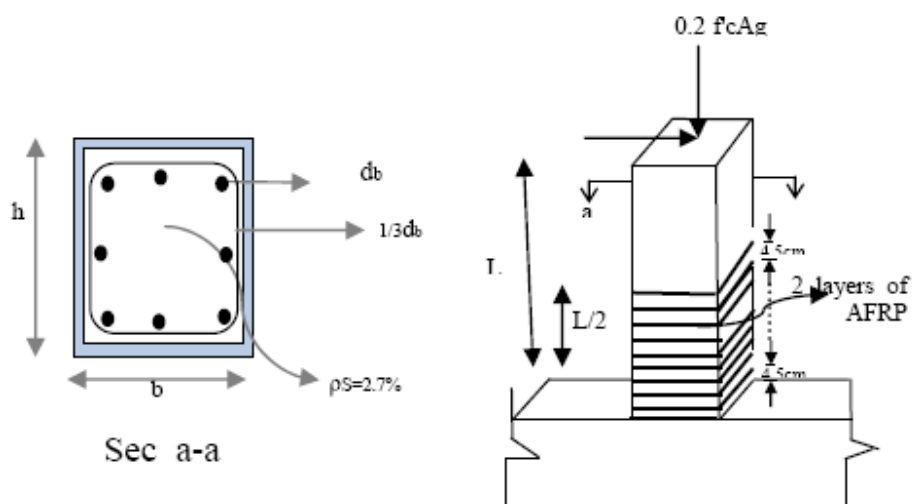
Tanwongval & Maalej در آزمایشات خود بر روی مقاطع مربع-مستطیلی نشان دادند که با افزایش نسبت طول به عرض از ۱:۱ به ۱:۶ مقاومت عضو به وضعیت ستون محصور نشده از ۱/۱۷ به ۱/۰۸ کاهش می یابد [۴]. تقویت ستون با نسبت طول به عرض زیاد باعث می شود تا تمرکز بیشتری در کارگذاری آرماتورهای طولی اضافی نسبت به ایجاد محصورشدگی بیشتر انجام گیرد چرا که FRP برای این نمونه ها کم تاثیر است [۲]. Prota و همکارانش [۷] با انجام آزمایش بر روی ستونهای مختلف نشان داد که نقش الیاف FRP در بهبود عملکرد ستون مستطیلی با نسبتهای طول به عرض بزرگتر از ۳ به طور چشمگیری کاهش یافته و چندان موثر نیست. سعادتمنش و احسانی [۳] بر روی تأثیر مقاومت بتن بر عملکرد محصور کننده نمونه های ... آزمایشهایی انجام داده اند نتایج آزمایشات نشان دهنده این می باشد الیاف که بیشتر روی ظرفیت باربری ستون با افزایش مقاومت بتن تکیه دارد. ولی مطالعات Harajli بیانگر آنست که با افزایش مقاومت بتن، تأثیر محصورکردگی لایه های FRP در تنش و کرنش محوری قابل تحمل ستون کاهش می یابد [۶].

این پارامترها شامل شکل مقطع، مقاومت بتن محصور نشده، ارتفاع ستون و نسبت طول به عرض مقاطع مستطیلی می باشد. سپس رفتار آنها از لحاظ میزان جذب انرژی و نیز سختی موثر بررسی شده و مورد مقایسه قرار گرفته اند.

۲. مدلسازی و آنالیز نمونه ها

در این مقاله ستونهای بتنی با مقطع مربع-مستطیل با نسبت های طول به عرض متفاوت، ارتفاع ستون، مقاومت بتن با استفاده از الیاف پلیمری (FRP) که تحت بارگذاری محوری ثابت و جانبی فزاینده با استفاده از تحلیل فیزیکی مورد بررسی قرار گرفته است. سپس پارامترهایی همچون میزان جذب انرژی و نیز سختی موثر بر مبنای شکل پذیری مورد مقایسه قرار گرفته اند.

مدل ها به صورت RCiLjFk نامگذاری شده اند حرف R بیانگر مقطع مربع-مستطیل (بدون محصور شدگی با FRP)، و در صورت محصور شدگی ستون با FRP، RR، Ci بیانگر ستون با نسبت ابعادی i می باشد که در این تحلیل از مقدار یک تا شش انتخاب گردید. Lj طول ستون و Fk مقاومت بتن می باشد. که در این تحقیق به منظور بررسی رفتار ستونهای محصور شده تحت تأثیر توام بار جانبی و قائم و نیز تأثیر نسبت طول به عرض مقطع ستون، ارتفاع ستون و مقاومت بتن در شکل پذیری، جذب انرژی و سختی نمونه ها به چگونگی پاسخ نمونه ها با تغییر پارامترهای فوق و ثابت در نظر گرفتن سایر شرایط پرداخته شده است. مدلها برای نمونه مربعی کالیبره شده و تحت آزمایش قرار گرفته اند و برای مدلسازی از نرم افزار Seismostruct نسخه 4.0.3 استفاده شده است. در شکل ۱ نحوه بارگذاری و محصورکردگی نمونه ها نشان داده شده است.



شکل ۱- شکل شماتیک مشخصات نمونه های آنالیز شده

مشخصات لایه های FRP

جدول ۱- مشخصات لایه های FRP

نوع FRP	تنش کششی ماکزیمم (Mpa)	کرنش نهایی (%)	مدول الاستیسیتة (Gpa)	ضخامت (mm)
AFRP	۲۹۰۰	۲/۵	۱۲۰	۰/۴۴

مشخصات فولاد

مصالح فولادی بکار رفته در مدلها شامل آرماتورهای طولی مقطع و خاموتها یا آرماتورهای عرضی میباشد که مشخصات آنها طبق جدول (۲) میباشد.

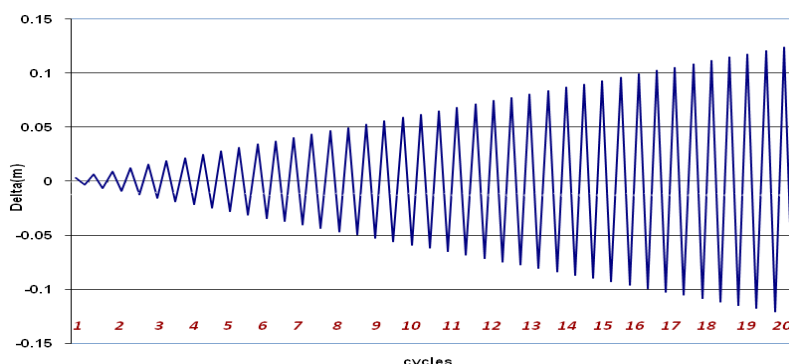
جدول ۲- مشخصات فولاد

انواع آرماتور	مدول الاستیسیتة (Mpa)	تنش جاری شدن (Mpa)	کرنش گسیختگی
آرماتورهای طولی	2e5	400	0.002
آرماتورهای عرضی	2e5	200	0.001

۳. بارگذاری جانبی

در مدل‌های مورد نظر مبنای بارگذاری جانبی بر اساس زاویه تغییر شکل (R) است یعنی بار جانبی در طی زمان متناسب با ارتفاع ستون (L) به صورت تزیادی و به شکل تغییر مکان جانبی (Δ) مطابق رابطه (۱) به ستون اعمال می گردد، بارگذاری ارائه شده توسط Alper Ilki و همکارانش [۲] و Yong Taje Lee و همکارانش [۸] نیز مطابق این الگو می باشد، در شکل ۲ نمونه ای از بارگذاری جانبی نمونه های مدل شده آورده شده است.

$$R = \frac{\Delta}{L} \quad (1)$$



شکل ۲- نمونه ای از بارگذاری جانبی نمونه های مدل شده

در نمونه های مدلسازی شده که در آنها ارتفاع ستون متغیر می باشد، ارتفاع آنها به ترتیب ذیل است:

$$L1=62\text{cm}, L2=72\text{cm}, L3=82\text{cm}, L4=92\text{cm}$$

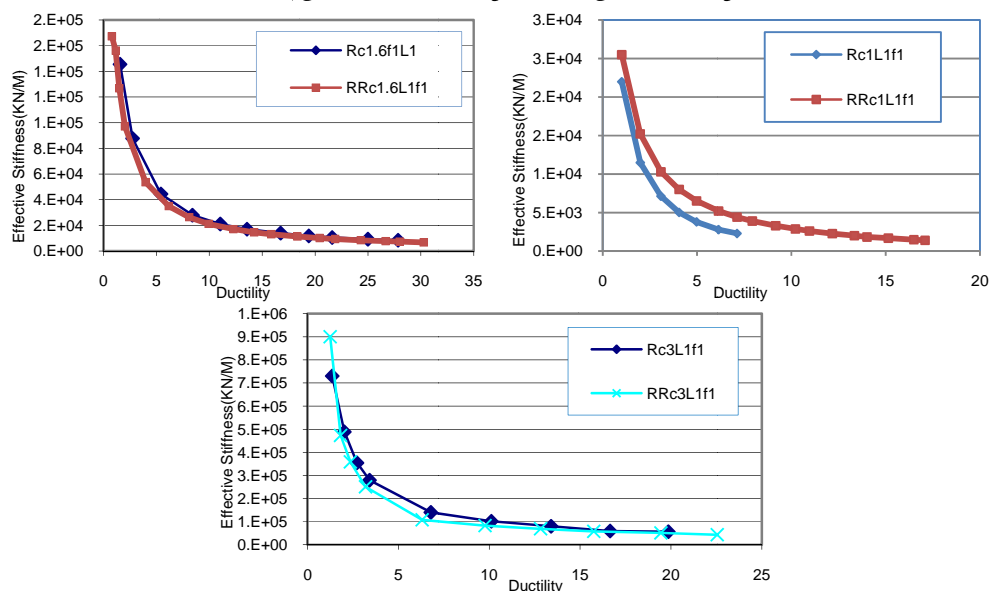
همچنین در نمونه های مدلسازی شده که در آنها مقاومت فشاری بتن متغیر می باشد، مقاومت آنها به ترتیب ذیل است:

$$f1=18\text{Mpa}, f2=20\text{Mpa}, f3=22\text{Mpa}, f4=24\text{Mpa}$$

۴. بررسی نتایج تحلیل

- تأثیر نسبت طول به عرض ستونهای با مقطع مستطیلی (b/h)

تمامی مدلها با مقطع مستطیلی ($b/h=1\sim 6$) که سایر مشخصات آنها در بالا ذکر شد مورد آنالیز قرار گرفتند در این قسمت برای اختصار نتایج آنالیز برای نمونه های مستطیلی مختلف ($b/h=1, 1.6, 3$) در حالت محصور شده و غیر محصور شده با الیاف FRP، مورد بررسی قرار می گیرد، سایر نتایج در مرجع [11] قید شده است. در نمودارهای شکل ۳ به روند سختی موثر آنها قبل و بعد از محصورکردگی پرداخته شده است.

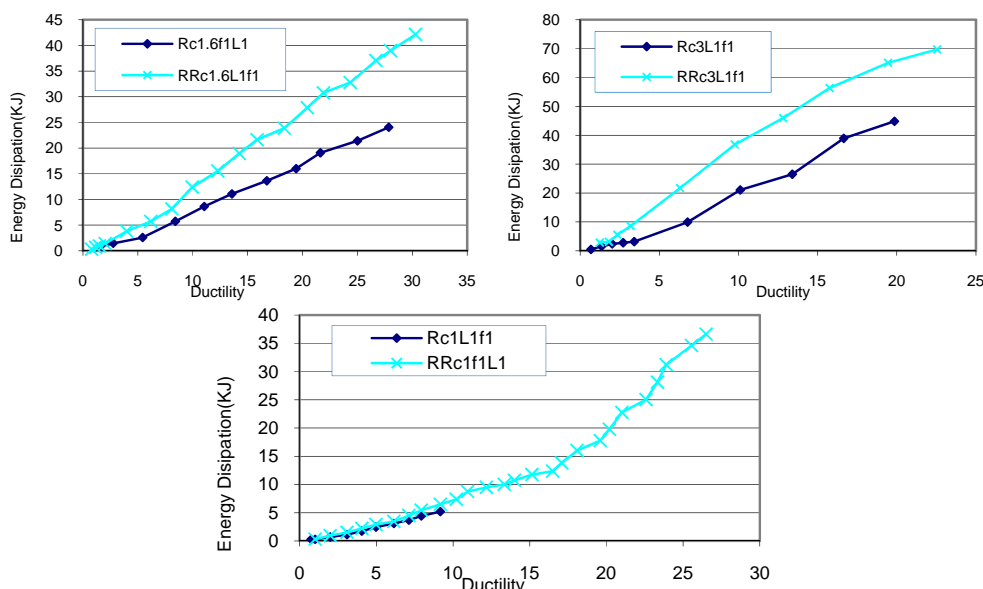


شکل ۳- نمودار مقایسه سختی موثر- شکل پذیری سیکل اول برای نمونه های ۱، ۱.۶ و ۳ b/h



اولین کنفرانس بین المللی مقاوم سازی لرزه ای، تبریز- ایران، ۲۹ مهر الی ۱ آبان ماه ۱۳۸۷

با اعمال محصور کردگی توسط الیاف FRP مشاهده می شود سختی موثر نمونه مربعی ونیز میزان شکل پذیری آن به صورت قابل توجهی افزایش یافته است. میزان افزایش سختی موثر ۱۶٪ و میزان افزایش شکل پذیری ۱۹۲٪ می باشد. در حالیکه این میزان افزایش برای نمونه مستطیلی $(b/h=۱.۶)$ ۱۵٪ و $(b/h=۳)$ ۲۳٪ می باشد.

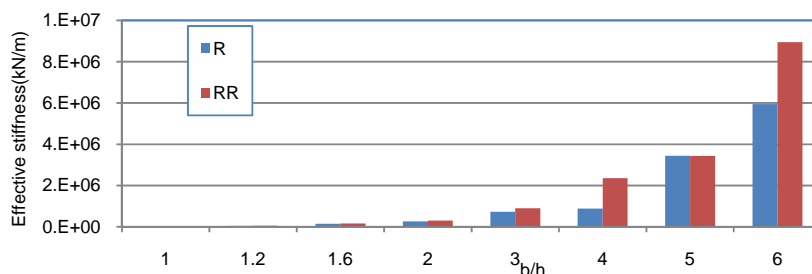


شکل ۴- نمودار مقایسه جذب انرژی-شکل پذیری برای نمونه های ۱، ۱.۶ و ۳

همچنین میزان جذب انرژی و شکل پذیری نمونه ها با اعمال محصور کردگی توسط الیاف FRP به صورت قابل توجهی افزایش یافته است شکل ۴. این میزان افزایش برای نمونه مربعی ۱۶۰۲٪ و برای $(b/h=۱.۶)$ و $(b/h=۳)$ به ترتیب ۱۵۹٪ و ۱۰۸٪ می باشد.

۵. مقایسه نمونه ها با افزایش نسبت طول به عرض مقطع $(b/h=۱-۶)$

در قسمت قبل نشان داده شد که اعمال محصور کردگی باعث افزایش سختی موثر (مقایسه سیکل اول و در شکل پذیری یکسان) می گردد یک مقایسه کلی برای b/h های مختلف در حالت غیر محصور و محصور همان نمونه (شکل ۵) نشان می دهد که سختی موثر نمونه های با b/h بزرگتر در اثر محصور کردگی افزایش بیشتری نسبت به نمونه های با b/h کوچکتر دارد به طوری که این میزان افزایش نسبت به نمونه غیر محصور شده در $b/h=6$ به ۵۰٪ می رسد. سختی اولیه نمونه با $b/h=3$ و $b/h=6$ نسبت به نمونه با $b/h=1$ به ترتیب ۴۰ برابر و ۳۵۰ برابر شده است.

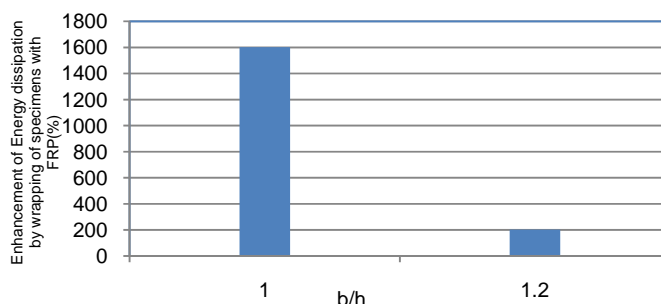


شکل ۵-مقایسه سختی موثر سیکل اول با b/h های مختلف در حالت محصور شده و نشده

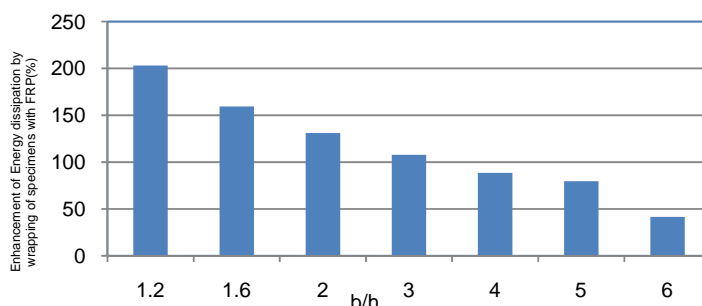


اولین کنفرانس بین المللی مقاوم سازی لرزه ای، تبریز- ایران، ۲۹ مهر الی ۱ آبان ماه ۱۳۸۷

به منظور مقایسه رفتار مقطع مربعی و مستطیلی در میزان جذب انرژی تجمعی (مجموع انرژیهای جذب شده همه سیکلها) در شکل ۶ درصد افزایش جذب انرژی حالت محصور به حالت غیر محصور برای دو شکل مقطع مذکور انجام گرفته است و نشان می دهد که تاثیر *FRP* بر نمونه مربعی بسیار بیشتر از نمونه مستطیلی می باشد.



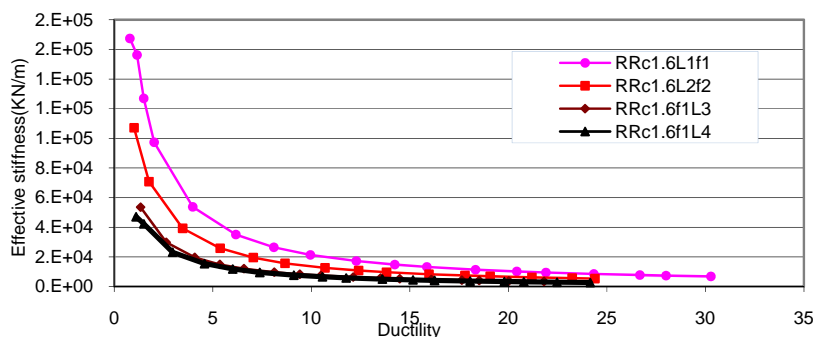
شکل ۶- درصد افزایش جذب انرژی تجمعی نمونه های محصور شده به محصور نشده در $b/h=1$ و $b/h=1.2$ در شکل ۷ میزان افزایش قابلیت جذب انرژی ستون در اثر محصور کردن برای نمونه های مستطیلی ($b/h=1.2 \sim b/h=6$) مقایسه شده و نشان می دهد که تاثیر *FRP* بر نمونه های با نسبت طول به عرض مقطع (b/h) کوچکتر بیشتر از نمونه مستطیلی می باشد طوری که در نمونه با $b/h=6$ این میزان افزایش تنها ۴۲٪ نسبت به حالت غیر محصور شده افزایش داشته است.



شکل ۷- درصد افزایش جذب انرژی تجمعی نمونه های محصور شده به محصور نشده در b/h های مختلف

– تاثیر ارتفاع ستون

برای بررسی تاثیر ارتفاع ستون محصور شده با الیاف *FRP*، ۴ نمونه که ارتفاع آنها متفاوت از هم است و سایر مشخصات آنها در بالا ذکر شد، با هم مقایسه شده اند با توجه به نمودار شکل ۸ مشاهده می شود با افزایش ارتفاع سختی موثر سیکل اول برای حالت *L2*، ۳۶٪، برای حالت *L3*، ۴۶٪ و برای حالت *L4*، ۷۲٪ نسبت به حالت *L1* کاهش داشته است.

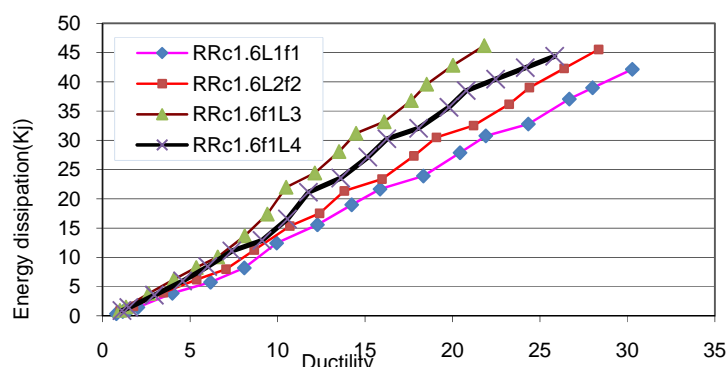


شکل ۸- نمودار مقایسه سختی موثر - شکل پذیری سیکل اول برای نمونه های متغیر با ارتفاع ($b/h=1.6$)



اولین کنفرانس بین المللی مقاوم سازی لرزه ای، تبریز- ایران، ۲۹ مهر الی ۱ آبان ماه ۱۳۸۷

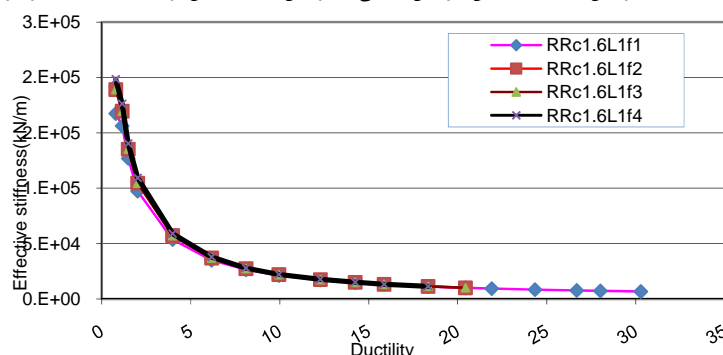
همچنین مطابق نمودار شکل ۹ با افزایش ارتفاع، میزان جذب انرژی تجمعی افزایش یافته به طوری که برای حالت L2، ۱۲٪، برای حالت L3، ۱۳٪ و برای حالت L4، ۲۳٪ نسبت به حالت L1 افزایش داشته است.



شکل ۹- نمودار مقایسه جذب انرژی - شکل پذیری برای نمونه های متغیر با ارتفاع (b/h=۱.۶)

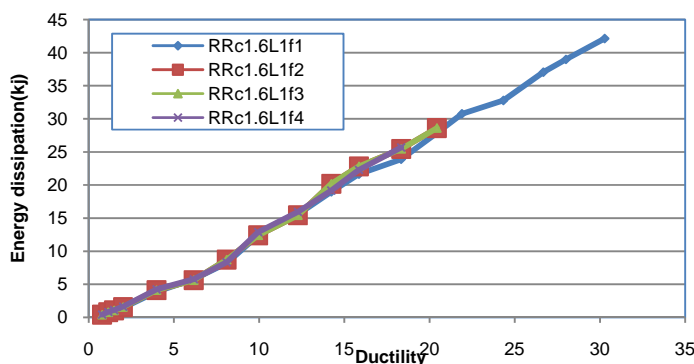
- تأثیر مقاومت بتن محصورنشده

برای بررسی تأثیر مقاومت بتن محصورشده با الیاف FRP، نمونه ۴ که مقاومت فشاری بتن در آنها متفاوت بوده و سایر مشخصات آنها در بالا ذکر شد، با هم مقایسه شده اند با توجه به نمودار شکل (۱۰) مشاهده می شود با افزایش مقاومت بتن سختی موثر سیکل اول برای حالت f2، ۷٪، برای حالت f3، ۱۳٪ و برای حالت f4، ۱۷٪ نسبت به حالت f1 افزایش داشته است. این افزایش سختی با افزایش مقاومت بتن برای سیکلهای دیگر نیز تا حد زیادی حاکم است.



شکل ۱۰- نمودار مقایسه سختی موثر - شکل پذیری سیکل اول برای نمونه های متغیر با مقاومت بتن (b/h=۱.۶)

همچنین با توجه به نمودار شکل (۱۱) مشاهده می شود با افزایش مقاومت بتن میزان جذب انرژی کل برای حالت f2، ۱۶٪، برای حالت f3 و f4، ۵۹٪ نسبت به حالت f1 کاهش داشته است.



شکل ۱۱- نمودار مقایسه جذب انرژی - شکل پذیری برای نمونه های متغیر با مقاومت بتن (b/h=۱.۶)



۶. نتیجه گیری

- افزایش ارتفاع ستون باعث رفتار شکل پذیر آن شده، این شکل پذیری و افزایش قابلیت جذب انرژی در b/h های کمتر مشهود تر است. همچنین با افزایش ارتفاع ستون سختی اولیه، سختی موثر و برش پایه قابل تحمل ستون کاهش می یابد.
- افزایش مقاومت فشاری بتن غیر محصور شده باعث تضعیف شکل پذیری ستون شده و افزایش ناچیزی در برش پایه قابل تحمل مقطع مشاهده می گردد. با افزایش مقاومت بتن سختی ستون افزایش یافته و جذب انرژی آن کاهش می یابد.
- عملکرد ستون بتنی با مقطع مستطیلی از جنبه نیروی برشی قابل تحمل آن و نیز شکل پذیری آن با محصور کردگی توسط الیاف FRP بهبود می یابد قابلیت جذب انرژی با اعمال محصور کردگی توسط الیاف FRP در b/h های کوچک بسیار زیاد است طوری که در مقطع مربعی این افزایش به حداکثر میزان خود می رسد و لیکن با افزایش b/h مقطع میزان افزایش قابلیت جذب انرژی با اعمال محصور کردگی کاهش می یابد.
- در ستونهای با بتن مقاومت بالا با افزایش نسبت طول به عرض مقطع، می توان اثر کاهش قابلیت جذب انرژی ناشی از افزایش مقاومت بتن را با محصور کردن توسط الیاف FRP نسبت به حالت غیر محصور تا حد قابل توجهی جبران کرد.

مراجع

1. Mark J. Masia, Trevor N. Gale, and Nigel G. Shrive "Size effects in axially loaded square-section concrete prisms strengthened using carbon fiber reinforced polymer wrapping". *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 31, 2004.
2. Alper Ilki & Aynur Tezcan & Volkan Koc & Nahit Kumbasar "Seismic Retrofit of Non-Ductile Rectangular Reinforced Concrete Columns By CFRP Jacketing". *13th World Conference on Earthquake Engineering*; 2004.
3. H. Saadatmanesh, M. R. Ehsani & M. W. Li "Strength & Ductility of Concrete Columns Externally Reinforced with Fiber Composite Straps". *ACI STRUCTURAL JOURNAL*; vol 91-S43, 1994.
4. M. Maalej, S. Tanwongval "Modeling Of Rectangular RC Columns Strengthened With FRP". *Cement & Concrete Composites*; vol 25, 2003.
5. Shamim A. Sheikh, Yimin Li "Design Of FRP Confinement For Square Concrete Columns". *Engineering Structures*; 2006.
6. Mohamed H. Harajli "Axial Stress-Strain Relationship For FRP Confined Circular & Rectangular Concrete Columns". *Cement & Concrete Composites*; vol 28, 2006.
7. Andrea Prota, Gaetano Manfredi, Edoardo Cosenza, "Ultimate Behavior Of Axially Loaded RC Wall-like Columns Confined With GFRP". *Composites, part B*, 2006.
8. Yong-Taeg LEE, Seung-Hun KIM, Hong-Soon HWANG, Li-Hyung LEE "Evaluation On The Shear Strengthening Effect Of RC Columns With Carbon Fiber Sheets". *13th World Conference on Earthquake Engineering*; 2004.
9. G. Karam & M. Tabbara "Corner effects in CFRP-wrapped square columns". *Magazin of Concrete Research*; vol 156, 2004.
10. Hsiao-Lin Cheng, Elisa D. Sotelino & Wai-Fah Chen "Sensitivity Study & Design Procedure for FRP Wrapped Reinforced Concrete Circular Columns". *International Journal of Applied Science and Engineering*; 2, 2, 2004.
۱۱. سوزان ولی زاده "بررسی پارامترهای موثر بر رفتار نمونه های بتنی مکعب مستطیل محصور شده با FRP" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد تهران مرکز، با راهنمایی دکتر اصغر وطنی اسکویی، تابستان ۱۳۸۶.