بررسی ظرفیت برشی و پیچشی و محصورشدگی تیرهای بتن آرمه مقطع مستطیلی با خاموت دورپیچ

حامد سفیدیان
دانشجوی کارشناسی ارشدسازه گروه مهندسی عمران ، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران
دکتر اشکان خدابنده لو *
استادیار گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران
a.khodabandehlou@iaurmia.ac.ir
تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۱۴ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۹/۰۶/۲۹

چکیده

در حالت کلی المان‌های بتن‌آرمه تمایل زیادی به تردشکنی دارند و این پدیده در هنگام لرزه به وضوح نمایان می‌گردد. یکی از مزایای محصور کردن بتن افزایش مقاومت بتن و شکل‌پذیری بتن است که اگر بتن به نحوی مناسب محصور شده باشد و اثر نیروهای لرزه‌ای باعث کنده شدن بتن پوششی شود، بتن محصور شده به خوبی مقاومت می‌کند. بهترین شیوه برای این کار می‌توان به خاموت گذاری به صورت مارپیچ اشاره کرد. در این پژوهش به بررسی تاثیر دورپیچ‌ها با توجه به متغییرهای گام دورپیچ‌ها و زاویه‌ی دورپیچ‌ها بر ظرفیت برشی و پیچشی تیرهای بتن مسلح مستطیلی پرداخته شده است. به منظور شبیه‌سازی نمونه‌ها از نرم‌افزار المان محدود ABAQUS استفاده شده است. نتایج نشان داد، زاویه‌ی ترک‌های ایجاد شده در نمونه‌ها دارای خاموت‌های بسته، بیشتر از نمونه‌ی متناظر(فاصله‌ی برابر گام‌ها در دورپیچ‌ها و خاموت‌های بسته) با دورپیچ‌هاست و استفاده از خاموت‌ها چه به صورت بسته و چه دورپیچ، ظرفیت برشی و پیچشی تیرهای بتن مسلح را به میزان قابل توجهی افزایش داده‌اند. مشخص گردید، تیرهای بتن مسلح دارای دورپیچ، ظرفیت برشی و پیچشی بیشتری نسبت به تیرهای بتن مسلح دارای خاموت بسته دارند استفاده از خاموت‌های بسته و دورپیچ‌ها با فاصله‌ی گام‌های ۸۰ میلی‌متر به ترتیب ظرفیت برشی تیر بتن مسلح را ۵۲٪ و ۵۹٪ افزایش داده‌اند که اختلاف قابل توجهی است و با افزایش فاصله‌ی گام دورپیچ‌ها، از ظرفیت برشی و پیچشی تیرهای بتن مسلح کاسته می‌شود. با افزایش فاصله‌ی دورپیچ‌ها از ۸۰ میلی‌متر به ۱۵۰ میلی‌متر، ظرفیت برشی تیر بتن مسلح ۳۰٪ کاهش یافته است که میزان قابل توجهی است. مطابق با نتایج، زاویه‌ی بهینه‌ی دورپیچ که عملکرد تیرهای بتن مسلح مستطیلی را در بهترین حالت قرار می‌دهد، ۸۰ درجه می‌باشد. در این حالت زاویه‌ی ترک‌های قطری کمتر از سایر حالات بوده و ظرفیت برشی و پیچشی آن به میزان قابل توجهی بیشتر از سایر نمونه‌ها با گام‌های برابر و زاویه‌های متفاوت دورپیچ است.

کلید واژگان : تیرهای بتن مسلح، خاموت‌ها، دورپیچ‌ها، روش المان محدود

۱- مقدمه

اخیراً استفاده از خاموت های مارپیچ در اجزاء بتن آرمه، توسعه یافته است. نتایج عملی از این آزمایش‌ها آشکار می‌سازد که کاربرد SR (آرماتورگذاری مارپیچ یا فنری) در خیلی موارد باعث بهبود و پیشرفت کلی اجرای مربوط به موارد زمین لرزه‌ای درمقایسه با سایر موارد تقویتی می‌شود. مخصوصا برای حالت مفصل‌های تیرستون خارجی استفاده از آرماتورگذاری برشی مارپیچ در سطح مفصل مفید بوده است. در مورد اعمال پیچش در اعضای بتنی این مسئله معروف است که ترک پیچشی از الگوهای مارپیچی به علت تنش‌های کششی اصلی در قطرهای قطعه بتنی بسط پیدا می‌کند. بنابراین در مارپیچ‌های تقریبا» عمود بر هم ترک‌های پیچشی، یکی از بیشترین اثرهای آرماتورهای عرضی در مقابل عمل پیچش بوجود می‌آید. نسبت آرماتورهای طولی و عرضی با مشخصات هندسی و مکانیکی از اعضای بتنی مسلح در زاویه ترک‌های قطری و همچنین زاویه بهینه از اتصال مارپیچ‌ها تاثیرمی‌گذارد. رفتار برشی – بحرانی تیرها با سطح مقطع مستطیلی و با خاموتهای مارپیچ مستطیلی مانند آرماتورگذاری عرضی زیر بارگذاری‌های متفاوت نیز مورد تحقیق قرار گرفته است. نتایج آزمایش به وضوح نشان می‌دهد که استفاده از خاموتهای مارپیچ مستطیلی، ظرفیت باربری را افزایش و اجرای برشی را در تیرهای مورد آزمایش توسعه می‌دهد. همچنین این روش باعث بهبود شکل پذیری در مقایسه با خاموتهای معمولی رایج مورد استفاده در کارگاهها با کمیت برابر می‌شود. نتیجه سودمند خاموتهای مارپیچ در ظرفیت و محصورشدگی بتن و شکل پذیری اجزاء بتن آرمه و افزایش ظرفیت پیچشی و برشی می‌باشد. برای خاموتهای رایج مورد استفاده نیاز به دو قلاب انتهایی برای تحمل لنگر است که برای طول این دو قلاب برای هر خاموت بسته شده مقدار زیادی مصالح فولادی مورد نیاز است که باعث افزایش وزن فولاد و قیمت آن می‌شود در حالی که در آرماتورگذاری مارپیچ برای نصب، این روند مورد نیاز نیست و این نوع آرماتورگذاری باعث کاهش وزن فولاد و همچنین صرفه جویی در هزینه به دلیل کاهش فولاد مصرفی در مقایسه با خاموتهای رایج مورد استفاده، می‌باشد. وهمچنین تاثیر SR در ترکها و عکس العمل پس ترکها آزمایش شده است. در این تحقیق رفتار تیرها ابتدا با خاموتهای رایج مورد استفاده و در نهایت با خاموت های مارپیچ تحلیل وبررسی می‌شود و سپس در انتها از نظر ظرفیت پیچشی و برشی و شکل پذیری با هم مقایسه خواهد شد.

۲- سابقه تحقیقات انجام شده

Constantin و همکارانش(۲۰۱۳) بر روی تیرهای بتنی محصور با دورپیچ با مقطع مستطیلی تحت اثر پیچش آزمایشاتی صورت دادند و نتایج حاصله را با خاموتهای رایج مقایسه کردند.در این تحقیق دو جهت پیچش اعمالی به تیرها وجود داشت که جهت اول پیچش در جهت قفل شدن یا جمع شدن دورپیچ ها بود و جهت دوم پیچش بنحوی بود که باعث بازشدن دورپیچ ها می شد. اثر قفل شدگی دورپیچ و قفل نشدن دورپیچ ها به علت راستای پیچش تحمیلی نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. وقتی دورپیچ ها در هم قفل یا جمع شود آنها بیشتر در مقابل عامل پیچشی تحمیل شده مقاومت می کنند و سهم بیشتری در محصورشدگی هسته بتنی در مقایسه با خاموتهای مورد استفاده معمولی با کمیت برابر دارند. در مورد تیرهای که دورپیچ ها باز می شود شکاف ها افزایش می یابد و محصور شدگی هسته بتنی کاهش می یابد و مقاومت کمی در مقابل عوامل پیچشی تحمیل شده دارد که نتایج بدست آمده از این نمونه آزمایشگاهی افزایش ظرفیت پیچشی برابر ۱۸٪ و ۱۶٪ و ۱۴٪ برای تیرهای مورد آزمایش SRقفل شده با فاصله‌های ارماتورهای عرضیmm ۲۰۰ وmm ۱۵۰ و mm ۱۰۰ را نسبت به خاموت های رایج دربر داشت.[۱]

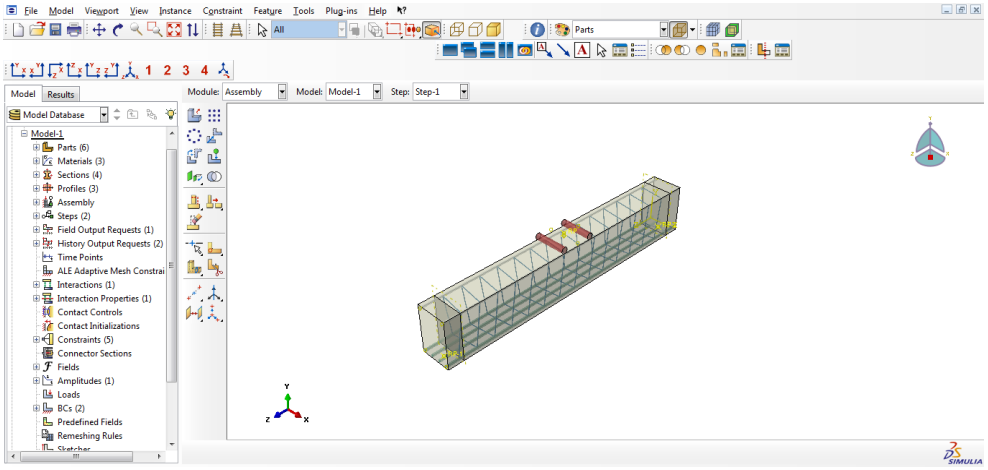
Shatarat و همکارانش(۲۰۱۶) یک تحقیق آزمایشگاهی بر روی تیرهای بتن آرمه تحت برش انجام دادند ورفتار برشی-بحرانی تیرها از نمودارهای بار-جابجایی استخراج و مقادیر بار نهایی و ظرفیت برشی با خاموتهای رایج مقایسه شدند. نتایج آزمایش به وضوح بهبود ظرفیت برشی و شکل پذیری آرماتورگذاری برشی دورپیچ مستطیلی در مقایسه با خاموتهای رایج معمولی را نشان می داد و در این تحقیق زاویه بهینه برای دورپیچ های پیوسته با مقطع مستطیلی ۸۰ درجه بود. [۲] Benito (۲۰۱۶) نیز چنین تحقیقی با خاموتهای دورپیچ NI-TI به روش شبه الاستیک بر روی تیرها با مقطع مستطیلی تحت خرابی برشی انجام داد.این رفتار به تغییر شکل های پایین از خرابی وابسته هستند. این تحقیق نشان دادکه آرماتور گذاری دورپیچ در بدست آوردن قابلیت تغییر شکل پذیری بزرگ المانهای بتنی برای تیرهای تحت خرابی برشی، کمک زیادی می کند. [۳]

Qian و belarbi (۲۰۱۱) تحقیق کردند که آرماتورگذاری دورپیچ در بهبود رفتار لرزه‌ای نیز بسیار موثر است. محصور شدگی قابل توجه دورپیچ های در هم قفل شده، برای مراقبت از بتن و تاثیر آن در مقاومت پیچشی زیر بارهای ترکیبی از نکات قابل توجه است. [۴]

Tsitotas و tegos (۱۹۹۵) رفتار لرزه‌ای تیرها و ستونهای بتن آرمه با مارپیچهای قفل شده را تحقیق کردند که نتایج محصور شدگی و رفتار بهتر دورپیچها را نشان میداد. [۵]

۳- مدل سازی المان محدود

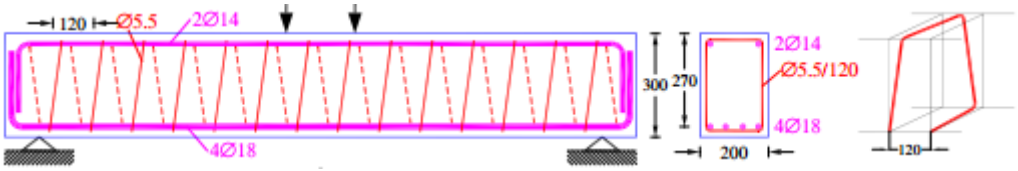
دراین مقاله از نرم افزار المان محدود ABAQUS برای مدل سازی و آنالیز مدل ها استفاده شده است.هم چنین تمامی مدل ها بصورت دوسرمفصل و نحوه تحلیل مدل ها بصورت تحلیل استاتیکی غیرخطیRiks می باشد. محیط گرافیکی نرم افزار المان محدودABAQUS بصورت شکل ۱ می باشد.



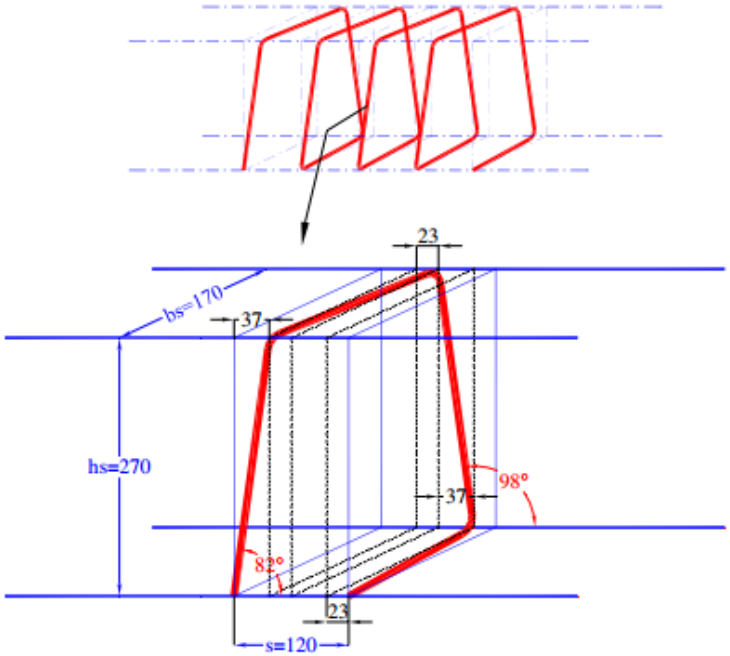
شکل ۱- محیط گرافیکی نرم افزارالمان محدودABAQUS

۴- صحت‌سنجی نرم‌افزار ABAQUS

در این مطالعه به منظور صحت‌سنجی نرم‌افزار از مطالعه‌ی آزمایشگاهی Constantin و همکارانش استفاده شده است[۱]. بدین منظور یک نمونه‌ی آزمایشگاهی از تیر بتنی با میلگردهای دورپیچ انتخاب گردیده و در نرم‌افزار المان محدود ABAQUS شبیه‌سازی گردیده است. شکل کلی و ابعاد هر یک از قسمت‌های مختلف تیر بتنی مطابق با شکل۲می‌باشد. شکل۳ ابعاد و جزئیات دورپیچ‌ها را نشان می‌دهد.

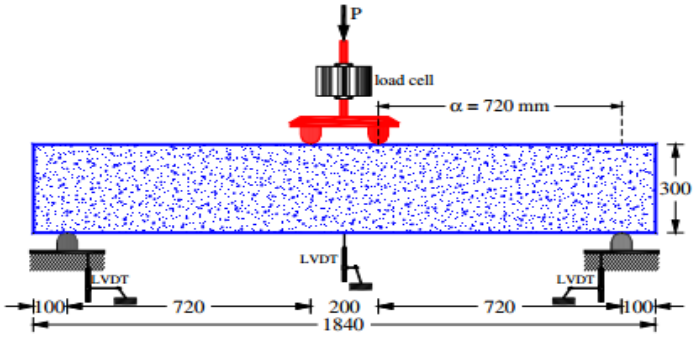


شکل ۲: ابعاد تیر بتنی

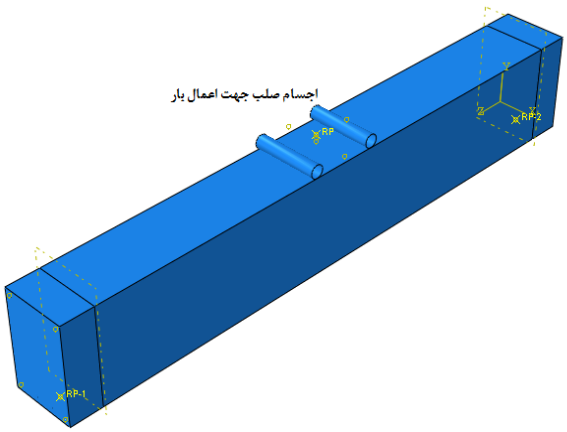


شکل ۳- جزئیات میلگردهای دورپیچ

بارگذاری تیر بتنی در آزمایشگاه مطابق باشکل۴ می‌باشد که در دو نقطه بار به میانه تیر بتنی اعمال می‌گردد. همچنین در شکل۵نمونه‌ی بارگذاری شده در نرم‌افزار نیز قابل مشاهده است.



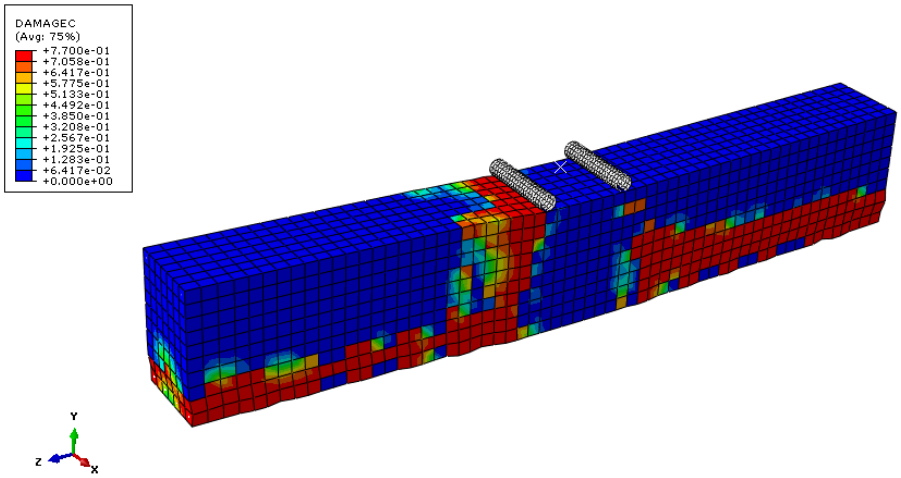
شکل۴ - بارگذاری تیر بتنی در آزمایشگاه



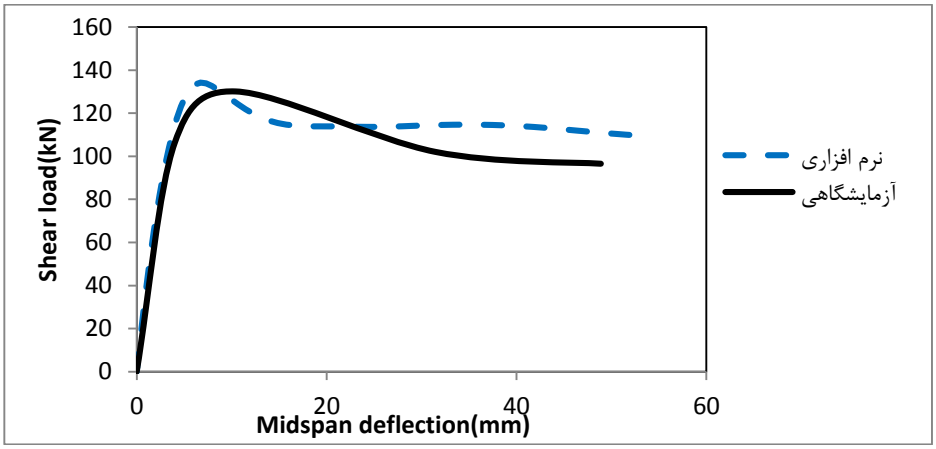
شکل ۵- نمونه‌ی بارگذاری شده در نرم‌افزار ABAQUS

پیش از شبیه‌سازی کامل و دقیق نمونه‌ی آزمایشگاهی در نرم‌افزار ABAQUS، نمونه تحلیل شده و نتایج مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. مطابق با شکل۶و۷که به ترتیب خرابی در نمونه‌های آزمایشگاهی و نرم افزاری را نشان می‌دهند، مشخص است خرابی‌ها در هر دو نمونه یکسان می‌باشد و نتایج همخوانی مناسبی با یکدیگر دارند. همچنین مطابق با شکل۸، منحنی نیرو-جابجایی در میانه‌ی تیر بتنی برای دو نمونه‌ی آزمایشگاهی و نرم‌افزاری کاملا بر یکدیگر منطبق بوده که نشان از صحیح بودن روش شبیه‌سازی نمونه‌ها در نرم‌افزار المان محدود ABAQUS دارد.

شکل ۶- خرابی ایجاد شده در نمونه‌ی آزمایشگاهی



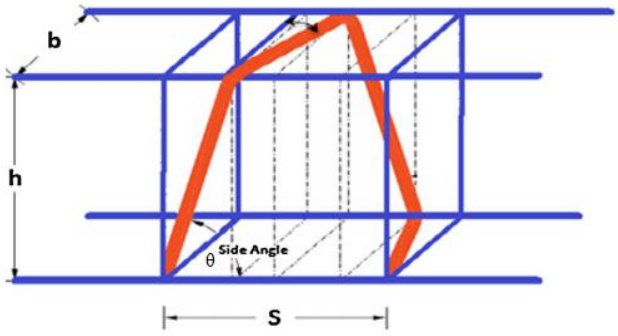
شکل ۷- خرابی ایجاد شده در نمونه‌ی نرم‌افزاری



شکل ۸- منحنی نیرو-جابجایی در میانه تیر بتنی در دو نمونه‌ی آزمایشگاهی و نرم‌افزاری

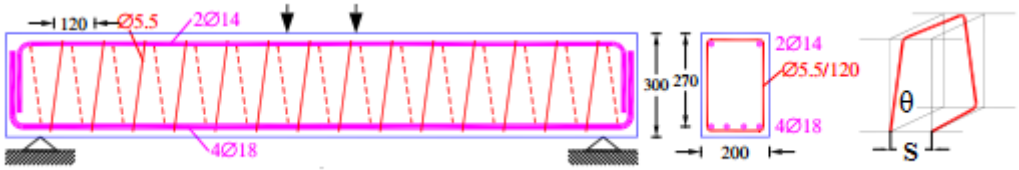
۴-مشخصات مدل های مورد مطالعه

نام‌گذاری کلی نمونه‌ها به شکل ST-S و SP-S-θ است که ST بیانگر تیرهای بتن مسلح مستطیلی با خاموت‌های بسته و حرف S بیانگر فاصله‌ی بین این خاموت‌هاست. همچنین در نام‌گذاری دوم، SP بیانگر تیرهای بتن مسلح مستطیلی با خاموت‌های دورپیچ، S فاصله‌ی گام دورپیچ‌ها و θ بیانگر زاویه‌ی دوریپچ می‌باشد. شکل۹فاصله‌ی S و θ را برای نمونه‌ی دوریپچ نشان می‌دهد.



شکل ۹- پارامترهای در نظر گرفته شده برای تیر بتن مسلح مستطیلی

شکل۱۰ابعاد و جزئیات کلی شامل طول تیر، ابعاد مقطع، میلگردهای طولی و ... را نمایش می‌دهد. نمونه‌های شبیه‌سازی شده مطابق با جدول۱ می‌باشند. مطابق با این جدول ۱۳ نمونه در نظر گرفته شده است که یک بار تحت اثر نیروی برشی و یک بار تحت اثر لنگر پیچشی قرار گرفته‌اند تا ظرفیت برشی و پیچشی تیرهای بتنی مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین این پژوهش شامل ۲۶ مدل می‌باشد.



شکل ۲- ابعاد و جزئیات کلی نمونه‌های شبیه‌سازی شده

جدول ۰-۱: نمونه‌های شبیه‌سازی شده در این مطالعه

ردیف	نمونه ها	S	θ	f_c(Mpa)
1	کنترل	-	-	30
2	ST-80	80	90	30
3	ST-120	120	90	30
4	ST-150	150	90	30
5	SP-80-85	80	85	30
6	SP-120-85	120	85	30
7	SP-150-85	150	85	30
8	SP-120-78	120	78	30
9	SP-120-80	120	80	30
10	SP-120-82	120	82	30
11	SP-150-78	150	78	30
12	SP-150-80	150	80	30
13	SP-150-82	150	82	30

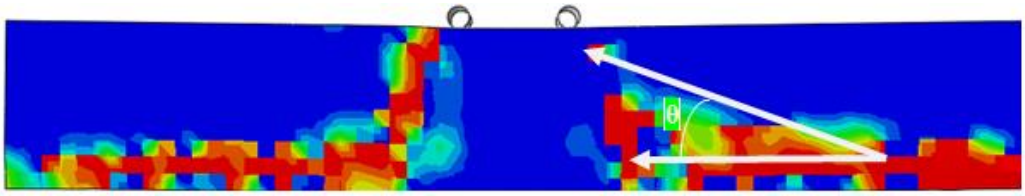
۵-نتایج تجزیه و تحلیل مدل‌ها

در این بخش نمونه‌ها تحت تاثیر نیروی برشی شبیه‌سازی شده و نتایج با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. براین اساس نتایج در دو بخش براساس پارامترهای فاصله و زاویه دورپیچ دسته بندی‌شده‌اند که در ادامه هر یک از نتایج به صورت جداگانه ارائه شده است.

۵-۱- بررسی تاثیر فاصله‌ی گام‌های دورپیچ بر ظرفیت برشی تیرهای بتن مسلح مستطیلی

در این بخش به بررسی تاثیر فاصله‌ی خاموت‌ها، بر ظرفیت برشی تیرهای بتن مسلح مستطیلی پرداخته شده است. بدین منظور نمونه‌ها کنترل، ST-80، ST-120، ST-150، SP-80-85، SP-120-85، SP-150-85 که در آن زاویه دورپیچ‌ها برابر است، در این بخش با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

شکل۱۱خرابی کلی ایجاد شده در نمونه‌ها را ارائه کرده است. خرابی در کلیه‌ی نمونه‌ها مشابه شکل۱۱ می‌باشد با این تفاوت که زاویه‌ی ترک‌ها ایجاد شده در هر یک از نمونه‌ها با یکدیگر متفاوت است. جدول۲ زاویه‌ی ترک‌های ایجاد شده در هر یک از نمونه‌ها را نشان می‌دهد. مطابق با این جدول مشخص است زاویه‌ی ترک‌های ایجاد شده در نمونه‌ها دارای خاموت‌های بسته، بیشتر از نمونه‌ی متناظر(فاصله‌ی برابر گام‌ها در دورپیچ‌ها و خاموت‌های بسته) با دورپیچ‌هاست. مطابق با شکل خرابی ارائه شده، در کلیه‌ی نمونه‌ها، ترک‌ها در ابتدا در قسمت تحتانی تیرهای بتن مسلح و دقیقا در زیر بار اعمالی ایجاد می‌شوند با افزایش بار اعمالی، ترک‌ها به صورت قائم رشد کرده و با افزایش تدریجی بار اعمالی ترک‌های قطری پدیدار می‌شوند و در نهایت تیرهای بتن مسلح توسط ترک‌های قطری به صورت مایل تخریب می‌شوند که در شکل۱۱ قابل مشاهده می‌باشد.

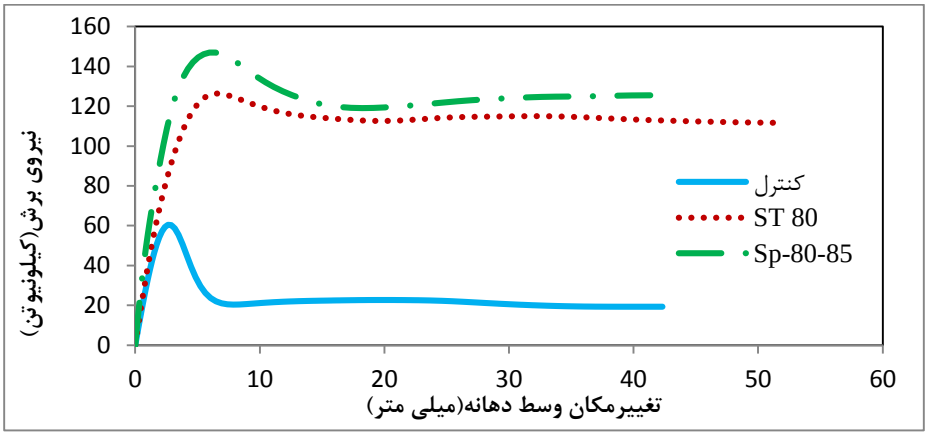


شکل ۱۱- شکل کلی خرابی ایجاد شده در تیرهای بتن مسلح تحت اثر نیروی برشی

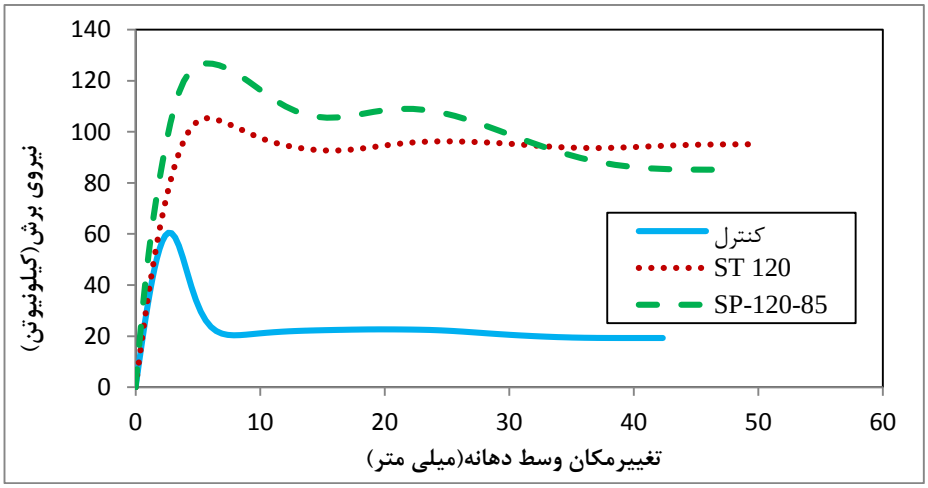
جدول۲- زاویه‌ی ترک‌های ایجاد شده در هر یک از نمونه‌ها با گام‌های مختلف دورپیچ

ردیف	نمونه‌ها	ϕ
1	کنترل	37
2	ST-80	36
3	ST-120	33
4	ST-150	30
5	SP-80-85	32
6	SP-120-85	32
7	SP-150-85	29

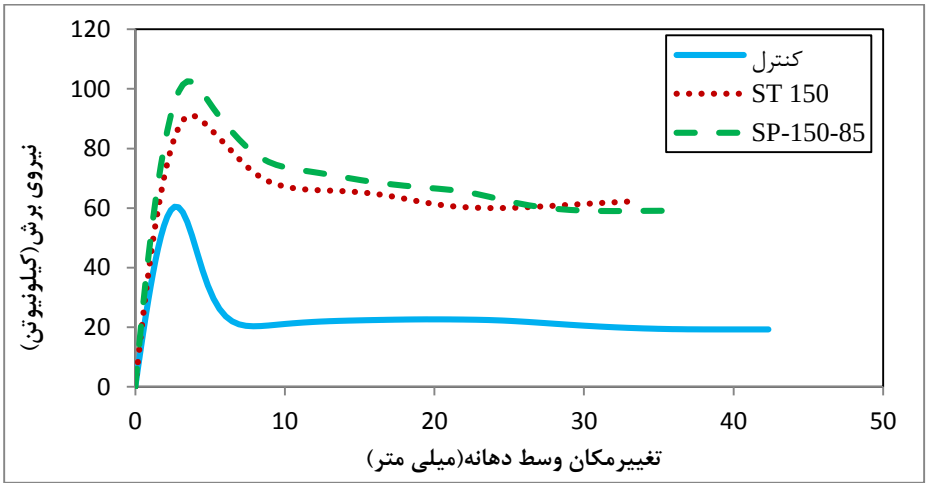
در ادامه به بررسی منحنی‌های نیرو-جابجایی برای هر یک از نمونه‌ها تحت اثر نیروی برشی پرداخته شده است.



شکل ۱۲- منحنی نیرو-جابجایی برای نمونه‌های تیر بتن مسلح دارای خاموت و دورپیچ با فاصله‌ی ۸۰ میلی‌متر



شکل ۱۳- منحنی نیرو-جابجایی برای نمونه‌های تیر بتن مسلح دارای خاموت و دورپیچ با فاصله‌ی ۱۲۰ میلی‌متر



شکل ۱۴- منحنی نیرو-جابجایی برای نمونه‌های تیر بتن مسلح دارای خاموت و دورپیچ با فاصله‌ی ۱۵۰ میلی‌متر

مطابق با اشکال فوق مشخص است استفاده از خاموت‌ها چه به صورت بسته و چه دورپیچ، ظرفیت برشی تیرهای بتن مسلح را به میزان قابل توجهی افزایش داده‌اند با این تفاوت که عملکرد تیرهای بتن مسلح تقویت شده با دورپیچ‌ها نسبت به تیرهای بتن مسلح تقویت شده با خاموت‌های بسته بهتر بوده است.

۵-۱-۲- بررسی تاثیر زاویه‌ی دورپیچ بر ظرفیت برشی تیرهای بتن مسلح مستطیلی

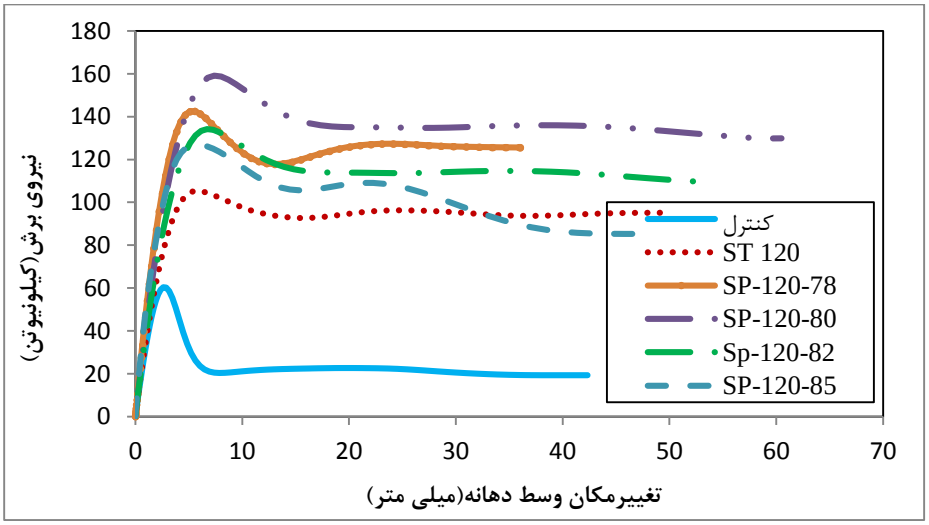
در این بخش به بررسی تاثیر زاویه‌ی دورپیچ بر رفتار تیرهای بتن مسلح پرداخته شده است. بدین منظور دو نمونه که در آن دورپیچ‌های دارای گام‌های برابر ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر هستند تحت تاثیر زاویه‌های مختلف دورپیچ شبیه سازی شده‌اند و نتایج با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند

جدول۳ زاویه‌ی ترک‌های قطری ایجاد شده در هر یک از نمونه‌ها را نشان می‌دهد مطابق با این جدول، در هر یک از حالات دورپیچ با گام‌های مختلف، نمونه‌های که دارای دورپیچ با زاویه‌ی ۸۰ درجه است، زاویه‌ی ترک قطری آن نیز کمتر است.

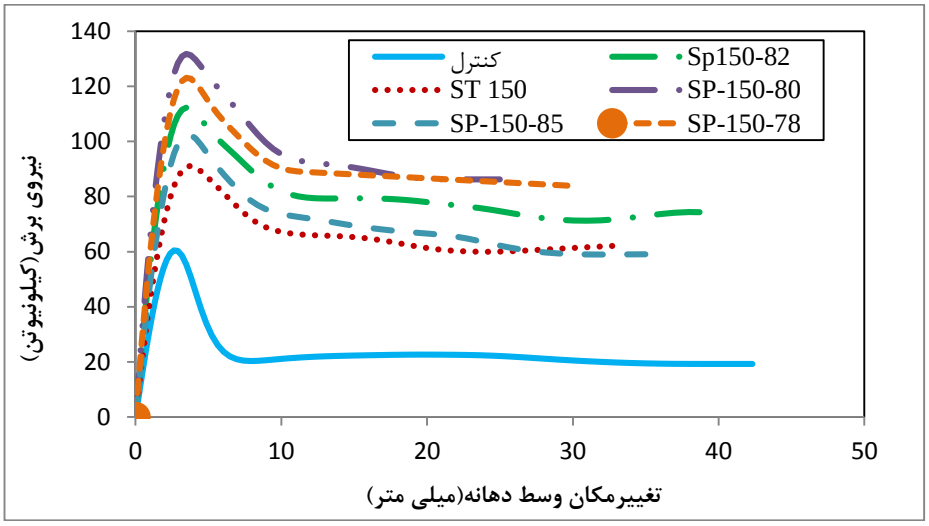
جدول۳: زاویه‌ی ترک‌های قطری ایجاد شده در هر یک از نمونه‌ها با گام‌ها و زاویه‌های مختلف دورپیچ

ردیف	نمونه‌ها	ϕ
1	کنترل	37
2	ST-80	36
3	ST-120	33
4	ST-150	30
5	SP-80-85	32
6	SP-120-85	32
7	SP-150-85	29
8	SP-120-78	28
9	SP-120-80	25
10	SP-120-82	29
11	SP-150-78	27
12	SP-150-80	26
13	SP-150-82	28

در ادامه به بررسی منحنی‌های نیرو-جابجایی برای هر یک از نمونه‌ها پرداخته شده است.



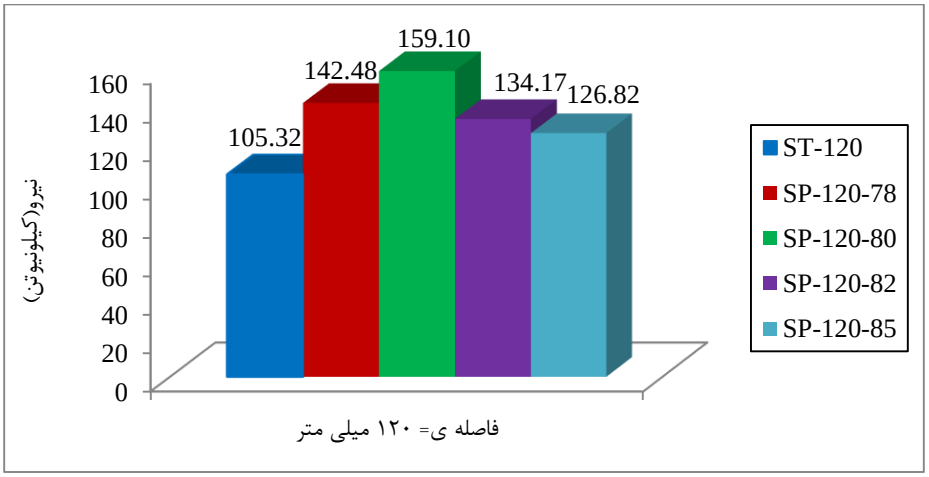
شکل ۱۵-منحنی نیرو-جابجایی برای هر یک از تیرهای بتن مسلح دارای دورپیچ و خاموت بسته با فاصله‌ی ۱۲۰ میلی‌متر و زاویه‌ی دورپیچ متفاوت



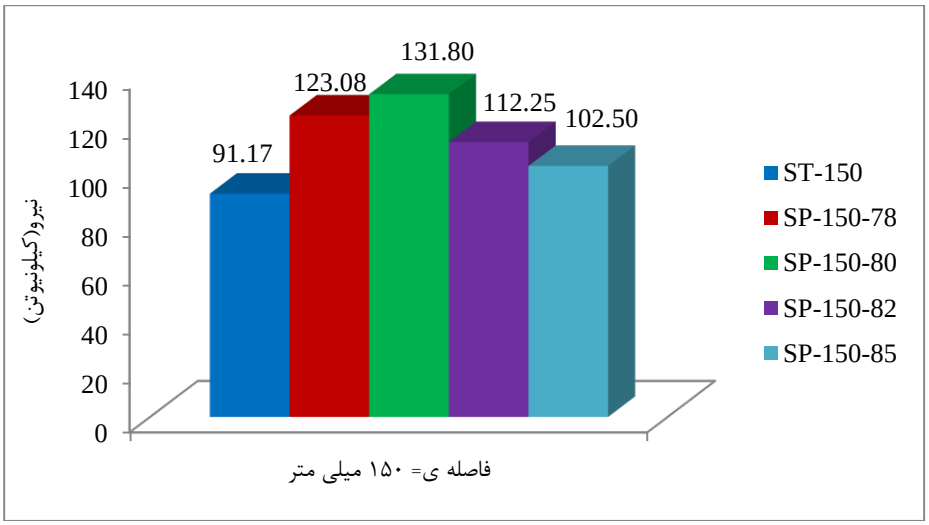
شکل ۱۶- منحنی نیرو-جابجایی برای هر یک از تیرهای بتن مسلح دارای دورپیچ و خاموت بسته با فاصله‌ی ۱۵۰ میلی‌متر و زاویه‌ی دورپیچ متفاوت

شکل۱۵منحنی نیرو-جابجایی برای هر یک از تیرهای بتن مسلح دارای دورپیچ و خاموت بسته با فاصله‌ی ۱۲۰ میلی‌متر و زاویه‌ی دورپیچ متفاوت نشان می‌دهد و حداکثر ظرفیت برشی هر یک از این نمونه‌ها در شکل۱۷ قابل مشاهده است. مطابق با این شکل و جدول۴مشخص است نمونه‌ای که در آن زاویه دورپیچ ۸۰ درجه است عملکرد بهتری نسبت به سایر نمونه‌ها با گام ۱۲۰ میلی‌متر از خود نشان داده است. مطابق با جدول۴ ملاحظه می‌شود نمونه دارای دورپیچ با زوایه ۸۰ درجه، ۳۴٪ ظرفیت برشی بیشتری نسبت به نمونه با خاموت بسته دارد در حالی هر یک از نمونه‌ها دارای دورپیچ با زاویه، ۷۸، ۸۲ و ۸۵ به ترتیب ظرفیت برشی تیر مسلح را نسبت به نمونه دارای خاموت بسته، ۲۷٪، ۲۱,۵٪ و ۱۷٪ افزایش داده‌اند.

شکل۱۶ منحنی نیرو-جابجایی برای هر یک از تیرهای بتن مسلح دارای دورپیچ و خاموت بسته با فاصله‌ی ۱۵۰ میلی‌متر و زاویه‌ی دورپیچ متفاوت نشان می‌دهد و حداکثر ظرفیت برشی هر یک از این نمونه‌ها در شکل۱۸ قابل مشاهده است. مطابق با این شکل و جدول۵ مشخص است نمونه‌ای که در آن زاویه دورپیچ ۸۰ درجه است عملکرد بهتری نسبت به سایر نمونه‌ها با گام ۱۵۰ میلی‌متر از خود نشان داده است. مطابق با این جدول ملاحظه می‌شود نمونه دارای دوریپچ با زوایه ۸۰ درجه، ۳۱٪ ظرفیت برشی بیشتری نسبت به نمونه با خاموت بسته دارد در حالی هر یک از نمونه‌ها دارای دورپیچ با زاویه، ۷۸، ۸۲ و ۸۵ به ترتیب ظرفیت برشی تیر مسلح را نسبت به نمونه دارای خاموت بسته، ۲۶٪، ۱۹٪ و ۱۱٪ افزایش داده‌اند.



شکل ۱۷- حداکثر ظرفیت برشی برای هر یک از تیرهای بتن مسلح دارای دورپیچ و خاموت بسته با فاصله‌ی ۱۲۰ میلی‌متر و زاویه‌ی دورپیچ متفاوت



شکل ۱۸- حداکثر ظرفیت برشی برای هر یک از تیرهای بتن مسلح دارای دورپیچ و خاموت بسته با فاصله‌ی ۱۵۰ میلی‌متر و زاویه‌ی دورپیچ متفاوت

جدول۴- اختلاف در میزان حداکثر ظرفیت برشی برای هر یک از تیرهای بتن مسلح دارای دورپیچ و خاموت بسته با فاصله‌ی ۱۲۰ میلی‌متر و زاویه‌ی دورپیچ متفاوت

نمونه‌ها	نیرو(کیلونیوتن)	اختلاف(٪)
ST-120	105.32	-
SP-120-78	142.48	26.08
SP-120-80	159.10	33.80
SP-120-82	134.17	21.50
SP-120-85	126.82	16.95

جدول۵- اختلاف در میزان حداکثر ظرفیت برشی برای هر یک از تیرهای بتن مسلح دارای دورپیچ و خاموت بسته با فاصله‌ی ۱۵۰ میلی‌متر و زاویه‌ی دورپیچ متفاوت

نمونه‌ها	نیرو(کیلونیوتن)	اختلاف(٪)
ST-150	91.17	-
SP-150-78	123.08	25.93
SP-150-80	131.80	30.82
SP-150-82	112.25	18.78
SP-150-85	102.50	11.05

۷- نتیجه‌گیری

۱- در کلیه‌ی نمونه‌ها تحت اثر نیروی برشی، ترک‌ها در ابتدا در قسمت تحتانی تیرهای بتن مسلح و دقیقا در زیر بار اعمالی ایجاد می‌شوند با افزایش بار اعمالی، ترک‌ها به صورت قائم رشد کرده و با افزایش تدریجی بار اعمالی ترک‌های قطری پدیدار می‌شوند و در نهایت تیرهای بتن مسلح توسط ترک‌های قطری به صورت مایل تخریب می‌شوند.

۲- زاویه‌ی ترک‌های ایجاد شده در نمونه‌ها دارای خاموت‌های بسته، بیشتر از نمونه‌ی متناظر(فاصله‌ی برابر گام‌ها در دورپیچ‌ها و خاموت‌های بسته) با دورپیچ‌هاست.

۳- استفاده از خاموت‌ها چه به صورت بسته و چه دورپیچ، ظرفیت برشی و پیچشی تیرهای بتن مسلح را به میزان قابل توجهی افزایش داده‌اند.
۴- تیرهای بتن مسلح دارای دورپیچ، ظرفیت برشی و پیچشی بیشتری نسبت به تیرهای بتن مسلح دارای خاموت بسته دارند.
۵- با افزایش فاصله‌ی گام دورپیچ‌ها، از ظرفیت برشی و پیچشی تیرهای بتن مسلح کاسته می‌شود با افزایش فاصله‌ی دورپیچ‌ها از ۸۰ میلی‌متر به ۱۵۰ میلی‌متر، ظرفیت برشی تیر بتن مسلح ۳۰٪ کاهش یافته است که میزان قابل توجهی است.
۶- هر چه فاصله‌ی دورپیچ‌ها افزایش می‌یابد به علت کاهش محصورشدگی در تیرهای بتن مسلح و در پی آن خرابی ناگهانی تیرهای بتن مسلح، منحنی پس از رسیدن به بار حداکثر، به یکباره افت می‌نماید. بنابراین هر چه فاصله‌ی دورپیچ‌ها کمتر باشد، قسمت دوم منحنی پس از رسیدن به حداکثر ظرفیت برشی، مسطح‌تر خواهد بود.
۷.زاویه‌ی بهینه‌ی دورپیچ که عملکرد تیرهای بتن مسلح مستطیلی را در بهترین حالت قرار می‌دهد، ۸۰ درجه می‌باشد. در این حالت زاویه‌ی ترک‌های قطری کمتر از سایر حالات بوده و ظرفیت برشی و پیچشی آن به میزان قابل توجهی بیشتر از سایر نمونه‌ها با گام‌های برابر و زاویه‌های متفاوت دورپیچ است.

۸- قدردانی

از استاد راهنمای گرامیم جناب آقای دکتر اشکان خدا بنده‌لو بسیار سپاسگذارم، چراکه بدون راهنمایی‌های ایشان تهیه این مقاله بسیار مشکل می‌بود.

مراجع

[1] [28] Constantin E. Chalioris, Chris G. Karayannis. "Experimental investigation of RC beams with rectangular spiral reinforcement in torsion" Department of Civil Engineering, Democritus University of Thrace, Xanthi 67100, Greece.

[2]NasimShatarat،HasanKatkhuda،Mu’tasimAbdel-Jaber MahaAlqam، Experimental investigation of reinforced concrete beams with spiral reinforcement in shear 30 October 2016, Pages 585-594

[3]BenitoMasAntoniCladeraCarlosRibas Experimental study on concrete beams reinforced with pseudoelastic Ni-Ti continuous rectangular spiral reinforcement failing in shear 15 November 2016, Pages 759-768.

[5] Qian. Li a and A. Belarbi Seismic Behavior of RC Columns with Interlocking Spirals under Combined Loadings Including Torsion Procedia Engineering 14 (2011) 1281– 1291

[5] Tsitotas MA, Tegos IA. Seismic behaviour of r/c columns and beam with interlocking spirals. Adv Earthquake Eng 1995;2:449–61

[6] 4-Abaquse user manual, Abaquse 2016

Investigation of the Shear and Torsional Capacity and Confinement of Rectangular Reinforced Concrete Beams with Spiral Stirrups

Hamed Sefidian

Department of Civil Engineering,Urmia Branch, Islamic Azad Univercity, Urmia, Iran

Ashkan KhodaBandehLou*

Department of Civil Engineering,Urmia Branch, Islamic Azad Univercity, Urmia, Iran

Abstract

In general, reinforced concrete elements tend to be very crisp, and this phenomenon is most evident when shaken. One of the advantageous of concrete enclosure is the increased concrete strength and concrete ductility which, if the concrete is properly enclosed and the seismic forces cause the concrete to be drilled, the enclosed concrete will resist well. The best way to do this is to use spiral stirrup. In this study, the effect of spiral with regard to the step variables of the spiral and the angle of the bolts on the shear and torsional capacity of rectangular reinforced concrete beams is investigated. ABAQUS finite element software was applied to simulate the samples. The results showed that the angle of cracks created in the specimens with closed stirrup was greater than that of the corresponding specimen (equal distance between the bends and the closed stirrup) with the spiral, and the use of stirrups both in the closed and in the bends situation, have increased the shear and torsional capacity of reinforced concrete beams. This research presented that reinforced concrete beams containing spiral stirrups had greater shear and torsional capacity than those of equipped with the closed stirrups. The use of closed stirrup and spiral stirrup with a step spacing of 80 mm have increased the shear capacity of reinforced concrete beams by 52% and 59%, respectively, which is a significant difference , and the shear and torsional capacity of reinforced concrete beams decrease with increasing step distance. By increasing the distance between the turns from 80 mm to 150 mm, the shear capacity of reinforced concrete beams is reduced by 30%, which is a significant amount. According to the results, the optimum spiral angle that best fits the rectangular reinforced concrete beams is 80 degrees. In this case, the angles of the diagonal cracks are lower than the other cases, and its shear and torsional capacities are significantly greater than the other specimens with equal steps and different angles.

Keywords: reinforced concrete beams, stirrup, spiral, finite element method