

بررسی تحلیلی رفتار تنش و کرنش در تیرهای کوپله بتن آرمه

سعید فروغی^{۱*}، سلیمان بهادر یوکسل^۲

- ۱- دانشجوی دکترای تخصصی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی و علوم طبیعی، دانشگاه فنی قونیه، ترکیه
۲- پروفیسور مهندسی عمران، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی و علوم طبیعی، دانشگاه فنی قونیه، ترکیه

*saeid.foroughi@yahoo.com

ارسال: مهر ماه ۹۸ پذیرش: آذر ماه ۹۸

چکیده

جهت ایجاد عملکرد سازه ای واحد برای دو دیوار برشی دارای بازشوهای بزرگ، از تیرهای کوپله با شکل پذیری زیاد استفاده می شود. تیرهای کوپله علاوه بر بارهای جانبی تحت اثر بارهای محوری ناشی از وزن خودشان به علت ارتفاع زیاد قرار می گیرد که بر رفتار سازه ای تیرهای کوپله تاثیر می گذارند. در تیرهای کوپله میلگردهای قطری عملکرد لرزه ای خوبی نسبت به میلگردهای متعارف از خود نشان می دهند. میلگردهای قطری تیرهای کوپله در اثر بارهای لرزه ای تحت اثر نیروی کششی و فشاری قرار می گیرند. برای افزایش ظرفیت فشاری در میلگردهای قطری و همچنین مهار میلگردهای قطری در داخل دیوار برشی از میلگردهای قطری محصور شده استفاده می شود. در این مقاله به بررسی روابط ارایه شده در مورد رفتار غیرخطی و منحنی تنش - کرنش پرداخته شده است. تیرهای کوپله بر اساس پارامترهای مختلف طراحی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از تحلیل بصورت مقایسه ای ارایه و مورد تحقیق قرار گرفته شده است. درصد میلگردهای بکار رفته در تیرهای کوپله از مهمترین عوامل تاثیرگذار بر رفتار غیرخطی دیوار برشی کوپل شده بتنی می باشند که امکان بررسی رفتار غیرخطی و شکل پذیری این نوع سازه ها را بخوبی فراهم آورده است.

کلمات کلیدی: دیوار برشی کوپل شده، تیرهای کوپله، میلگردهای قطری، عملکرد لرزه ای

۱- مقدمه

مدل سازی های عددی در مهندسی عمران یکی از ابزار های مهم مهندسان برای ارزیابی سازه ها و طراحی های مناسب تر است و لذا هر چه مدل سازی دقیق تر باشد نتایج دقیق تری را در اختیار مهندسان قرار می دهد. برای شبیه سازی بتن در نرم افزار های تحلیل عددی یا اجزا محدود بر اساس نمودار های تنش - کرنش و دیگر خصوصیات بتن و بارگذاری مورد نظر انجام می شود. از این رو مدل رفتاری و یا همان منحنی تنش - کرنشی که در نرم افزار مورد استفاده قرار می گیرد باید بیشترین تطابق با رفتار بتن در عمل و آزمایشگاه را داشته باشد. برای مدل سازی رفتار بتن در حالت های مختلف اعم از معمولی، بتن آرمه و محصور شده مدل های بسیاری توسط محققین ارائه شده است [۱]. از اصولی ترین خصوصیات سازه ها در مقابل نیروهای لرزه ای رفتار

شکل پذیر سازه است. به عبارت دیگر هر سازه پایدار باید در کل بصورت یک مجموعه کاملاً شکل پذیر رفتار نماید و هم اعضای آن به تفکیک شکل پذیر باشند. شکل پذیری هر عضو یعنی توانایی کافی برای تحمل تغییر شکل های غیر ارتجاعی نسبتاً زیاد به نحوی که مقاومتش به طور چشم گیری کاسته نشود که به این منظور عضو مقدار قابل توجهی انرژی را جذب و مستهلک می نماید [۲]. خردشدگی در بتن به عنوان عامل محدود کننده عملکرد غیرالاستیک سازه ها می باشد، در نتیجه با محصور نمودن بتن می توان مقاومت خردشدگی آن را افزایش داد. به دلیل رفتار پیچیده اعضای بتن مسلح روش اجزای محدود غیر خطی یکی از روش های عددی شناخته شده در تحلیل سازه ها به شمار می آید که همواره مورد توجه پژوهشگران و طراحان قرار گرفته است. با توجه به لزوم پاسخ گویی به برخی از مسائل طراحی و عدم وجود ضوابط طراحی یکسان در آیین نامه، آخوندزاده و قلعه نوی [۳] در تحقیقات خود با شبیه سازی سری تیرهای تورنتو با الحاق شرایط محصورشدگی به مدل بنیادی که بیانگر ارتباط تنش با کرنش می باشد، مقاومت فشاری و شکل پذیری این تیرها مورد بررسی قرار داده اند. دلیل استفاده از این تیرها بروز رفتارهای شدیداً غیر خطی تحت نیروهای اعمالی بوده است.

یکی از این روشهای افزایش ظرفیت محوری استفاده از غلاف بندی بتنی، با میلگردها یا پروفیل های فلزی است. همچنین استفاده از روشهای اقتصادی و اجرایی یک امر حیاتی در مقاوم سازی سازه ها می باشد. اعمال این روش مقاوم سازی بر روی ستون های ضعیف یا آسیب دیده، باعث بهبود ظرفیت های محوری، برشی و افزایش شکل پذیری این ستونها منجر می شود. پور بابا [۴] در تحقیق خود انواع ستون های مختلف که نیاز به مقاوم سازی داشتند در مقیاس کوچکتر، به تعداد ۱۲ نمونه در آزمایشگاه ساخته شده و سپس این ستون ها با استفاده از غلاف بندی، مقاوم سازی شده اند. ظرفیت نهایی محوری ستون ها قبل از مقاوم سازی (ستونهای اولیه ضعیف) و بعد از انجام مقاوم سازی، توسط دستگاه پرس تعیین و با هم مقایسه شده اند. در نهایت مزایا و معایب روش مقاوم سازی با غلاف بندی با استفاده از نتایج آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است.

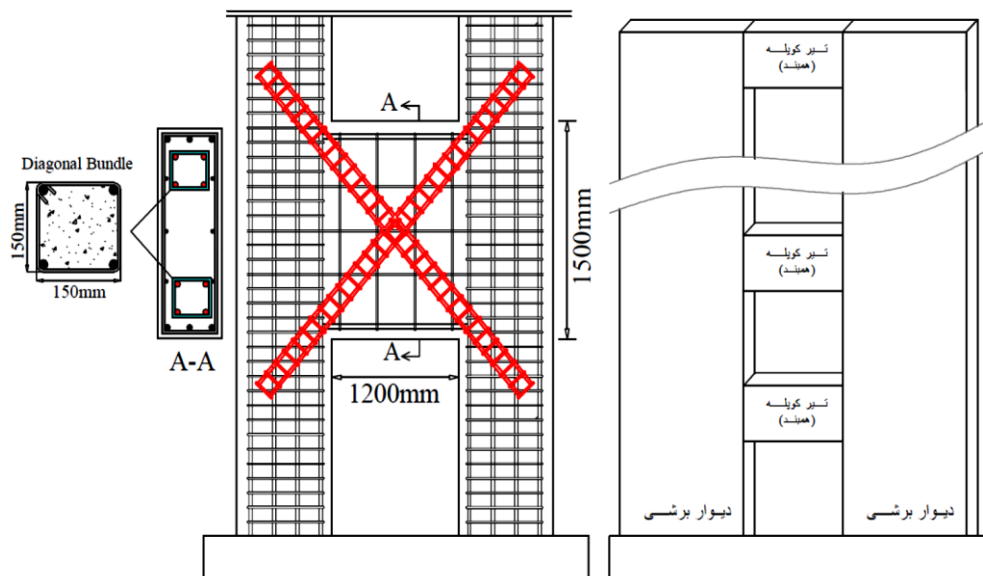
امروزه در طراحی اعضاء بتنی، آرایش میلگرد های مورد نیاز همچون گذشته تابع مختصر محدودیت های آیین نامه ای است، لذا طراح می تواند با توجه به درصد فولاد مورد نیاز مقطع و رعایت فواصل مجاز، قطر میلگرد های مصرفی را به دلخواه در نظر بگیرد. قطعاً بر اساس روابط موجود در صورت عدم تغییر ارتفاع موثر، تفاوت چشمگیری در میزان ظرفیت باربری اعضایی با و تغییرات هندسه و آرایش متفاوت فولاد، ظاهر نخواهد شد لکن از آنجا که عواملی چون محصوریت بتن مختصر بعد موثر میلگرد های مصرفی، می توانند در میزان سختی و شکل پذیری عضو موثر واقع شوند، رفتار لرزه ای و انعطاف پذیری آنها متفاوت و در خور بررسی می باشد. واقفی و همکارانش [۵] در تحقیقاتشان به مطالعه ای آزمایشگاهی سه ستون بتن آرمه، با آرایش و قطرهای متفاوت میلگردهای طولی می پردازند، این در حالی است که درصد فولاد مورد نیاز هر سه مقطع یکسان فرض شده است.

در سازه های بلند مرتبه برای مقابله با نیروهای ناشی از باد و زلزله دیوارهای برشی (Shear walls) با ابعاد بزرگتری مورد استفاده قرار می گیرد. در سازه های بلند مرتبه یک روش مناسب برای بهبود عملکرد لرزه ای، کاهش وزن سازه، افزایش بازدهی و کارآرایی دیوار برشی سازه های بلند مرتبه کوپل کردن دیوارهای برشی می باشد. دیوار برشی کوپل شده (Coupled shear walls) اعضای سازه ای متشکل از دو یا تعداد بیشتری دیوار برشی منفرد هستند که به واسطه تیرهایی با شکل پذیری بالا به همدیگر وصل شده اند. بررسی و مطالعات در زمینه سیستم های باربر سازه ای در برابر زلزله به منظور تامین نیازهای فنی و اقتصادی امری مهم و ضروری می باشد. مهمترین عوامل اصلی در طراحی و محاسبات عناصر باربر ساختمان های بلند مرتبه کارآیی، تامین مقاومت و سختی لازم برای مقابله با نیروی جانبی حاصل از زلزله می باشد. یکی از راه های تامین سختی و مقاومت لازم در برابر نیروی زلزله استفاده از تیرهای کوپله (Coupling beams) با ارتفاع بالا در دیوارهای برشی کوپل شده می باشد. وجود تیرهای کوپله با مقاومت و سختی بالا باعث افزایش سختی جانبی در دیوارهای برشی کوپل شده می باشد. در بسیاری از موارد در ساختمان های بلند مرتبه ممکن است سختی لازم جهت مقابله با بارهای جانبی تامین نشود، در این حالت می توان از تیرهای کوپله با ارتفاع بالا (ابعاد بزرگتر) در ترازهای مختلف سازه بکار برد. دیوار برشی کوپل شده توسط اعضای

سازه‌ای مقاوم (تیرهای کوپله) در برابر بارهای محوری و لنگرهای خمشی به یکدیگر متصل می‌شوند [۶]. جهت ایجاد عملکرد سازه‌ای واحد برای دو دیوار برشی مجاور دارای بازشوهای بزرگ (دیوار برشی کوپل شده)، از تیرهای تیرهای کوپله با شکل پذیری زیاد استفاده می‌شود. تیرهای کوپله باید سختی لازم در برابر بارهای جانبی را داشته باشند تا مانع خسارت دیوارهای برشی کوپل شده در برابر زلزله باشند. تیرهای کوپله علاوه بر بارهای جانبی تحت اثر بارهای محوری ناشی از وزن خودشان قرار می‌گیرد که بر رفتار سازه‌ای تیرهای کوپله تاثیر می‌گذارند [۷].

رفتار دیوارهای برشی کوپل شده متأثر از رفتار تیرهای کوپله می‌باشد. رفتار تیرهای کوپله به ابعاد تیرها (هندسه تیرها)، مقاومت مصالح و نحوه آرایش میلگردهای تیر کوپله دارد (آرایش و قرارگیری میلگردها به صورت قطری و متعارف). بر اساس مشاهده خرابی‌های موجود آمده در سازه‌های بتن آرمه بعد از زلزله و همچنین نتایج حاصل از تحقیقات و آزمایش‌های انجام شده بر روی تیرهای کوپله، میلگردهای قطری نسبت به میلگردهای متعارف عملکرد و مقاومت مناسبی را در برابر این خرابی‌ها در تیرهای عمیق فراهم کرده است. میلگردهای قطری باید به صورت ضربدری و مقارن در سرتاسر طول تیر کوپله ادامه یافته و انتهای میلگردهای قطری باید طولی معادل طول مهار طبق ضوابط آیین نامه‌ها در داخل دیوارهای برشی دو طرف تیر کوپله قرار داده شود. میلگردهای قطری در تیرهای کوپله تحت اثر بارهای لرزه‌ای تحت نیروی محوری کششی و فشاری قرار می‌گیرند. یعنی در اثر بارهای لرزه‌ای یک شاخه میگرد قطری (متشکل از حداقل ۴ میلگرد بصورت قطری) تحت نیروی محوری بصورت کششی و شاخه‌ی دیگر تحت اثر نیروی فشاری قرار میگیرد. تحت اثر نیروی لرزه‌ای نیروی کششی ایجاد شده در عضو تماماً توسط میلگردهای قطری و نیروی فشاری ایجاد شده توسط میلگردهای قطری و هسته بتنی محصور شده (Diagonal bundles) متحمل می‌شود [۸]. شرایط محصور شدگی بواسطه میلگردهای عرضی در افزایش مقاومت فشاری و شکل پذیری تیرهای کوپله بسیار موثر می‌باشد. مقاومت و شکل پذیری سیستم‌های باربر بتن آرمه بر اثر میلگردهای عرضی محصور کننده بهبود می‌یابد. بر اساس آیین نامه‌های مختلف؛ میلگردهای قطری در تیرهای کوپله باید به وسیله میلگردهای عرضی محصور شوند.

مطالعه رفتار لرزه‌ای و سازه‌ای تیرهای کوپله و ارزیابی رفتار آنها از نظر عملکرد سازه‌ای بسیار با اهمیت می‌باشد. با توجه به اهمیت دیوار برشی کوپل شده و اهمیت رفتار لرزه‌ای، در این مقاله در بخش اول به بررسی ضوابط و مقررات مربوط به طراحی تیرهای کوپله بر اساس آیین نامه‌های مختلف پرداخته شده است. از آنجایی که میلگردهای قطری در تیرهای کوپله از عملکرد سازه‌ای و لرزه‌ای خوبی برخوردار هست، در این مقاله تیر کوپله دارای میلگرد قطری مورد طراحی و بحث قرار گرفته شده است. عملکرد واقعی عناصر بتن مسلح مستلزم دانستن رفتار غیرخطی عناصر بتن مسلح می‌باشد. در بخش دوم این مقاله رفتار غیر خطی و منحنی تنش - کرنش تیرهای کوپله مورد بررسی قرار گرفته شده است. از آنجایی که تحت اثر بار لرزه‌ای شاخه‌های میلگرد های قطری تحت نیروی محوری کششی و فشاری قرار می‌گیرند ظرفیت باربری (مقاومت فشاری) میلگردهای قطری محصور شده با میلگردهای عرضی نقش مهمی در سختی، مقاومت و شکل پذیری تیرهای کوپله دارد. به دلیل بالا بودن مقاومت کششی میلگردها نیروی محوری کششی ایجاد شده تماماً توسط شاخه میلگردهای قطری متحمل می‌شوند. افزایش مقاومت فشاری شاخه میلگردهای قطری؛ با افزایش قطر میلگردهای عرضی و فاصله میلگردهای عرضی از هم تأمین می‌شود [۹]. به دلیل اهمیت ظرفیت باربری فشاری میلگردهای قطری محصور شده با میلگردهای عرضی درصدد برآمدیم تا رفتار غیر خطی و منحنی تنش - کرنش را در تیرهای کوپله بر اساس مدل‌های ارائه شده برای روابط تنش - کرنش مورد تحقیق و بررسی قرار دهیم.



شکل ۱- جزئیات مقطع دیوار برشی کوپل شده

۲- ضوابط طراحی دیوارهای برشی کوپل شده و تیرهای کوپله (همبند) بر اساس آیین نامه های مختلف

بر اساس آیین نامه های مختلف طراحی سازه های بتن آرمه و زلزله ضوابط مربوط به تیرهای کوپله (همبند) در جدول ۱ توضیح داده شده است. در جدول شماره (۱) ضوابط مربوط به نسبت طول دهانه آزاد به ارتفاع مقطع تیر کوپله (l_n/h)، حداقل تعداد میگردهای قطری در هر یک از شاخه های ظربدیری، قطر میگردهای عرضی، فاصله میگردهای عرضی از هم و طول مهار میگردهای قطری در داخل دیوارهای برشی دو طرف تیر کوپله بر اساس آیین نامه های مختلف داده شده است. در تیرهای کوپله برای مقابله با نیروی برشی و لنگر خمشی ناشی از بارهای جانبی میگردهای قطری بکار برده می شود. میگردهای قطری در تیرهای کوپله در هر نمونه ساختمان بر اساس نیروی برشی و لنگر خمشی ماکزیمم محاسبه می شود. در تیرهای کوپله ی دیوارهای برشی کوپل شده در هر گروه از میگردهای قطری باید مشکل از حداقل چهار میگرد باشد، که در دو یا چند لایه قرار داده شده-اند. در تمامی قطعات بتن آرمه تمامی نیروهای موجود در میگردها در هر مقطع باید به وسیله مهار میگردها در دو سمت آن مقطع به بتن منتقل گردد. برای مهار میگردها بوسیله پیوستگی موجود بین بتن و میگرد باید طول کافی از میگرد در دو سمت مقطع مورد نظر در بتن قرار داده شود.

طبق آیین نامه طراحی سازه ها برای مقاومت در برابر زلزله اروپا [۱۰] میگردهای قطری باید در طولی حداقل ۱.۲۵ برابر طول مهار میگرد و طبق آیین نامه بتن آمریکا [۱۱]، آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله ترکیه [۱۲] و دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود نشریه شماره ۳۶۰ ایران [۱۳] میگردهای قطری بایست در طولی حداقل ۱.۵ برابر طول مهار میگرد در داخل دیوار برشی دو طرف تیر کوپله مدفون شوند. نحوه مهار میگردهای قطری و افقی در دیوار به صورت شماتیک بر اساس آیین نامه های مختلف در شکل (۱) نشان داده شده است. میگردهای قطری باید به وسیله میگردهای عرضی (خاموت) محصور شوند. قطر میگردهای عرضی طبق آیین نامه طراحی سازه ها برای مقاومت در برابر زلزله اروپا [۱۰]، آیین نامه بتن آمریکا [۱۱]، آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله ترکیه [۱۲] و دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود نشریه شماره ۳۶۰ ایران [۱۳] حداقل ۸ میلیمتر می باشد.

طبق آیین نامه طراحی سازه ها برای مقاومت در برابر زلزله اروپا [۱۰] حداکثر فاصله میگردهای عرضی از یکدیگر برابر با ۲۵ برابر قطر کوچکترین میگرد قطری و ۲۵۰ میلی متر می باشد. طبق آیین نامه بتن آمریکا [۱۱] حداکثر فاصله میگردهای عرضی

از یکدیگر تقریباً برابر با ۲۰۰ میلی متر می باشد. طبق آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله ترکیه [۱۲] حداکثر فاصله میلگردهای عرضی از یکدیگر برابر با ۸ برابر قطر کوچکترین میلگرد قطری و ۱۰۰ میلی متر می باشد. طبق دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود نشریه شماره ۳۶۰ ایران [۱۳] حداکثر فاصله میلگردهای عرضی از یکدیگر برابر با ۸ برابر قطر کوچکترین میلگرد قطری، ۲۵ برابر قطر خاموت و ۱۲۵ میلی متر می باشد.

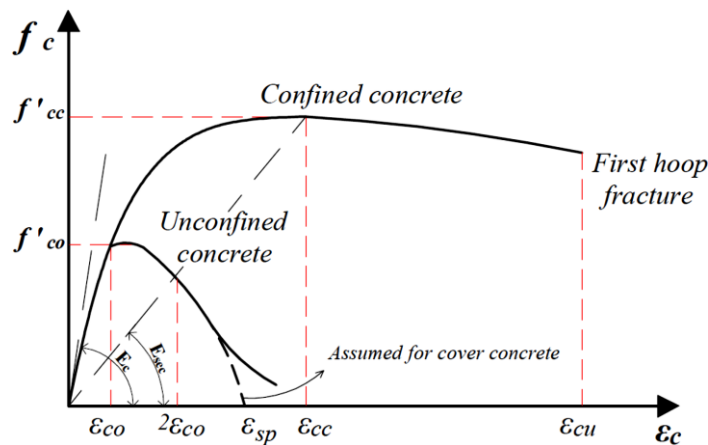
جدول ۱ - ضوابط مربوط به تیرهای کوپله ی دیوار برشی کوپل شده بر اساس آیین نامه های مختلف

آیین نامه مربوطه	l_n/h	تعداد میلگرد قطری	قطر خاموت (mm)	فاصله خاموت	طول مهار میلگردهای قطری در داخل دیوار برشی
TSC (2018)	< 2	۴	8	میلگرد قطری $\leq 8\Phi$ $\leq 100\text{mm}$	$1.5l_b$
ACI318 (2014)	< 2	4	8	$\leq 200\text{mm}$	$1.5l_b$
Eurocode8 (2004)	< 3	4	8	میلگرد قطری $\leq 25\Phi$ $\leq 250\text{mm}$	$1.25l_b$
Code 360 (2014)	< 2	4	8	میلگرد قطری $\leq 8\Phi$ خاموت $\leq 24\Phi$ $\leq 125\text{mm}$	$1.5l_b$

l_b : طول مهار میلگرد، l_n/h : نسبت طول دهانه آزاد به ارتفاع مقطع تیر کوپله

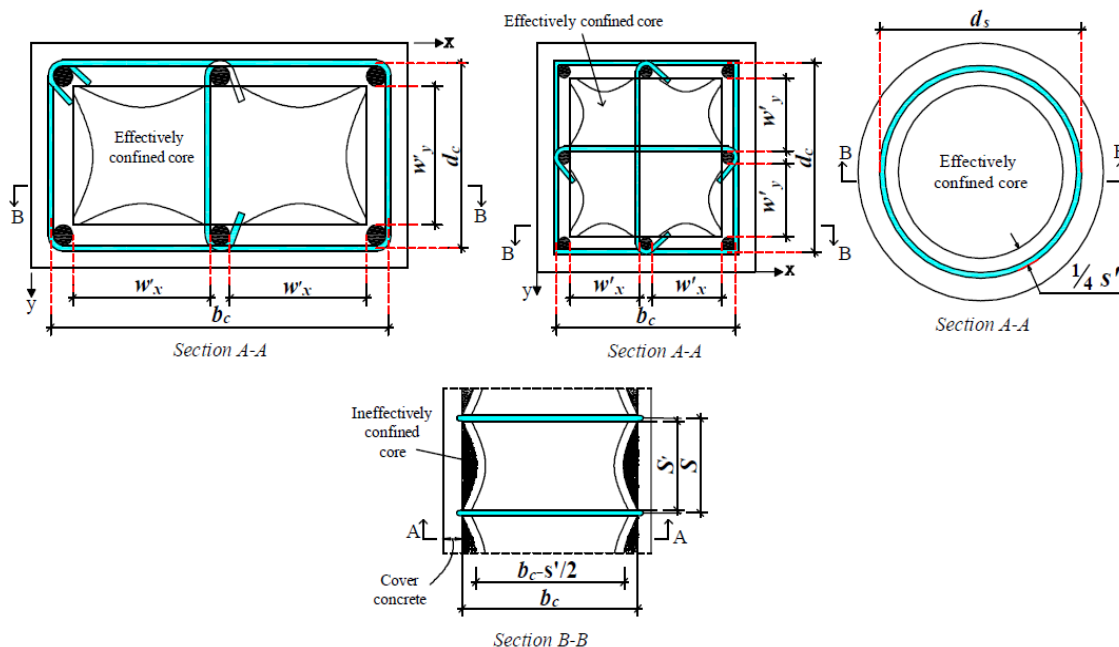
۳- رابطه تحلیلی برای توصیف رفتار غیر خطی و منحنی تنش - کرنش بتن

مقاومت و شکل پذیری از مهمترین عملکرد اعضای باربر بتن آرمه در مقابل بارهای وارده می باشد. مقاومت و شکل پذیری اعضای باربر بتن آرمه با افزایش تنش سه محوری افزایش می یابد (توسط میلگردهای عرضی در اعضای بتنی). طی سالهای گذشته تعداد قابل توجهی پژوهش بر روی مقاومت و شکل پذیری بتن معمولی و بتن محصور شده توسط برخی پژوهشگران صورت گرفته است. به طوری که چندین مدل محصور شدگی برای بررسی رفتار تنش - کرنش بتن ارایه شده است. آزمایش ها نشان داده است که رفتار اعضای بتنی محصور شده با میلگردهای عرضی تنشی تقریباً معادل نصف مقاومت مشخصه ی بتن، رفتاری خطی (Linear behavior) داشته و بعد از این مرحله وارد مرحله ی غیرخطی (Nonlinear behavior) می شود. با افزایش بار وارده بر اعضای باربر بتن آرمه، بتن پوسته خرد شده و با افزایش تغییرشکلها تا مرحله کمانش آرماتورهای طولی، میلگردهای عرضی با محصور کردن بتن هسته ای باعث افزایش ظرفیت باربری (افزایش مقاومت فشاری) اعضای بتن آرمه می شوند. در مرحله غیر خطی اعضای بتن آرمه متحمل تغییر شکل های بزرگتری می شوند. میلگردهای عرضی مانع از تغییر شکل و انبساط عرضی بتن هسته ای شده و و هر چقدر فاصله میلگردهای عرضی کمتر و قطر میلگردهای عرضی بیشتر باشد اعضای بتن آرمه مقاومت و تغییر شکل های بیشتری از خود نشان می دهند. در این مقاله ابتدا مدل تحلیلی ارایه شده توسط ماندر و همکارانش [۱۴] برای محاسبه مقاومت و شکل پذیری اعضای بتن آرمه محصور شده مورد بحث و بررسی قرار گرفته شده است. به منظور لحاظ نمودن محصور شدگی برای بتن، مدلی توسط ماندر و همکارانش [۱۴] ارائه شده است. این مدل برخلاف بسیاری از مدل های ارایه شده توسط پژوهشگران دیگر، برای همه شکل های هندسی مقاطع و همه سطوح از محصور کنندگی، قابل کاربرد است. مدل تنش - کرنش ارایه شده توسط ماندر و همکارانش برای بتن محصور شده و بتن معمولی در شکل شماره (۲) داده شده است.



شکل ۲- مدل تنش - کرنش ارایه شده برای بتن معمولی و بتن محصور شده توسط ماندر و همکارانش [۱۴]

معادلات ارایه شده برای محاسبه مقدار تنش و کرنش های ایجاد شده در اعضای بتن آرمه توسط ماندر و همکارانش [۱۴] به همراه شکل مقاطع و سطوح محصورکنندگی در شکل شماره (۳) داده شده است.



شکل ۳- مدل ارایه شده برای اعضای بتن آرمه توسط ماندر و همکارانش به همراه شکل مقاطع و سطوح محصورکنندگی [۱۴]

برای مقاطع با اشکال هندسی مربعی و مستطیلی مساحت مقطع بتن محصور شده که داخل میلگرد عرضی واقع شده است (A_c)، سطح مقطع خالص بتن محصور شده (A_{cc}) و نسبت مساحت میلگرد طولی به سطح مقطع بتن محصور شده (ρ_{cc}) بر اساس مدل ماندر و همکاران از معادلات زیر بدست می آید.

$$A_c = b_c \times d_c \quad (1)$$

$$A_{cc} = b_c d_c (1 - \rho_{cc}) \quad (2)$$

$$\rho_{cc} = \frac{\sum A_s}{b_c d_c} \quad (3)$$

سطح مقطع موثر قسمت محصور شده (A_i) همانطور که در شکل ۲ دیده می شود از کم کردن سطح غیر موثر از معادله ۴ بدست می آید. با محاسبه سطح مقطع موثر، مساحت موثر بتن مصور شده (A_e) از معادله (۵) قابل محاسبه می باشد.

$$A_i = \frac{\sum_i^n (w'_i)^2}{6} \quad (۴)$$

$$A_e = \left(b_c d_c - \sum_i^n \frac{(w'_i)^2}{6} \right) \left(1 - \frac{S'}{2b_c} \right) \left(1 - \frac{S'}{2d_c} \right) \quad (۵)$$

ضریب موثر محصور شدگی بر اساس (k_e) نسبت مساحت موثر بتن مصور شده (A_e) به سطح مقطع خالص بتن محصور شده (A_{cc}) برای مقاطع مربعی و مستطیلی از معادله (۶) بدست می آید.

$$k_e = \frac{A_e}{A_{cc}} = \frac{\left(1 - \sum_i^n \frac{(w'_i)^2}{6b_c d_c} \right) \left(1 - \frac{S'}{2b_c} \right) \left(1 - \frac{S'}{2d_c} \right)}{(1 - \rho_{cc})} \quad (۶)$$

برای محاسبه تنش محصور شدگی جانبی، محاسبه نسبت میلگرد عرضی مورد استفاده در مقاطع بتن آرمه لازم است. بر اساس سطح مقطع میلگردهای عرضی مورد استفاده در جهت X و Y $(A_{sy} - A_{sx})$ مقادیر میلگرد محصور کننده جانبی موازی محور X (ρ_x) ، میلگرد محصور کننده جانبی موازی محور Y (ρ_y) و نسبت حجمی میلگردهای محصور کننده به هسته بتن (ρ_s) از معادله (۷) محاسبه می شود.

$$\rho_x = \frac{A_{sx}}{s \cdot d_c}, \quad \rho_y = \frac{A_{sy}}{s \cdot b_c}, \quad \rho_s = \rho_x + \rho_y \quad (۷)$$

تنش موثر محصور شدگی جانبی (فشار جانبی موثر بر روی بتن محصور شده) در جهت X و Y از معادله (۸) قابل محاسبه می باشد.

$$f'_{lx} = k_e \frac{A_{sx}}{s \cdot d_c} f_{yh} = k_e \cdot f_{lx}, \quad f'_{ly} = k_e \frac{A_{sy}}{s \cdot b_c} f_{yh} = k_e \cdot f_{ly}, \quad f'_l = \frac{f'_{lx} + f'_{ly}}{2} \quad (۸)$$

برای مقاطع با اشکال هندسی دایره ای سطح مقطع خالص بتن محصور شده (A_{cc}) و مساحت موثر بتن مصور شده (A_e) از معادله (۹ و ۱۰) قابل محاسبه می باشد. در این معادله S' : فاصله میلگردهای عرضی از هم و d_s : قطر بتن محصور شده می باشد.

$$A_{cc} = \frac{\pi}{4} d_s^2 (1 - \rho_{cc}) \quad (۹)$$

$$A_e = \frac{\pi}{4} \left(d_s - \frac{S'}{2} \right)^2 = \frac{\pi}{4} d_s^2 \left(1 - \frac{S'}{2d_s} \right)^2 \quad (۱۰)$$

ضریب موثر محصور شدگی (k_e) بر اساس نسبت سطح برای مقاطع هندسی دایره ای دارای میلگردهای عرضی دایره ای شکل از معادله (۱۱) بدست می آید.

$$k_e = \frac{A_e}{A_{cc}} = \frac{\left(1 - \frac{S'}{2d_s} \right)^2}{(1 - \rho_{cc})} \quad (۱۱)$$

ضریب موثر محصور شدگی (k_e) بر اساس نسبت سطح برای مقاطع هندسی دایره ای دارای میلگردهای عرضی بصورت دورپیچ (spiral) دایره ای شکل از معادله (۱۲) بدست می آید.

$$k_e = \frac{A_e}{A_{cc}} = \frac{\left(1 - \frac{S'}{2d_s} \right)}{(1 - \rho_{cc})} \quad (۱۲)$$

فشار جانبی موثر بر روی بتن محصور شده (تنش محصور شدگی جانبی) در مقاطع دایره ای شکل دارای میلگردهای عرضی دایره ای و دورپیچ از معادله (۱۳) قابل محاسبه می باشد.

$$2f_{yh} A_{sp} = f_l s d_s \quad (۱۳)$$

در این معادله f_{yh} : تنش تسلیم فولاد مسلح کننده جانبی، A_{sp} : سطح مقطع میلگرد عرضی دایره ای و یا دورپیچ، f_l : تنش محصور شدگی جانبی و S : فاصله آزاد مابین میلگرد های عرضی در امتداد محور طولی عضو می باشد. نسبت حجمی آرماتورهای محصور کننده به هسته بتن (ρ_s) برای مقاطع دایره ای شکل دارای میلگردهای عرضی دایره ای و یا دورپیچ از معادله (۱۴) محاسبه می شود.

$$\rho_s = \frac{A_{sp} \pi d_s}{\frac{\pi}{4} d_s S} = \frac{4A_{sp}}{d_s S} \quad (14)$$

به استناد از معادلات (۱۳ و ۱۴) مقادیر تنش محصور شدگی جانبی (f_l) و تنش موثر محصور شدگی جانبی (f_l') به ترتیب از معادله (۱۵) محاسبه می شود.

$$f_l = \frac{1}{2} \rho_s f_{yh} \quad . \quad f_l' = \frac{1}{2} k_e \rho_s f_{yh} \quad (15)$$

بر اساس مدل ارایه شده توسط ماندنر و همکارانش [۱۴] مقاومت فشاری بتن محصور شده (f'_{cc})، کرنش در ماکزیمم مقاومت محصور شدگی بتن (ϵ_{cc}) و کرنش فشاری نهایی در بتن محصور شده (ϵ_{cu}) ترتیب از معادله (۱۶ و ۱۷) محاسبه می شوند. ϵ_{co} : کرنش فشاری در ماکسیمم مقاومت بتن محصور نشده و برای بتن های نرمال در حدود ۰.۰۰۲ در نظر گرفته می شود. f'_{co} : مقاومت فشاری در بتن محصور نشده و ϵ_{su} : کرنش نهایی میلگرد عرضی می باشد.

$$f'_{cc} = f'_{co} \left(-1,254 + 2,254 \sqrt{1 + \frac{7,94 f_l'}{f'_{co}}} - 2 \frac{f_l'}{f'_{co}} \right) MPa \quad (16)$$

$$\epsilon_{cc} = \epsilon_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] \quad . \quad \epsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \cdot \rho_s \cdot f_{yw} \cdot \epsilon_{su}}{f'_{cc}} \quad (17)$$

مقدار تنش فشاری در بتن محصور شده (f_c) از معادله (۱۸) بدست می آید. f_c و ϵ_c : در منحنی تنش-کرنش نشان دهنده تنش فشاری بتن و کرنش فشاری بتن مربوطه می باشد.

$$f_c = \frac{f'_{cc} x r}{r - 1 + x r} \quad . \quad x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \quad . \quad r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (18)$$

$$E_c = 5000 \sqrt{f'_{co}} MPa \quad . \quad E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (19)$$

۴- روش تحقیق

در این مقاله رفتار غیر خطی و تنش - کرنش تیرهای کوپله بصورت تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجائیکه میلگردهای قطری در تیرهای کوپله از عملکرد سازه ای و لرزه ای خوبی برخوردار هست، در این مقاله تیر کوپله دارای میلگرد قطری مورد طراحی و بحث قرار گرفته شده است. میلگردهای قطری (متشکل از حداقل چهار میلگرد بصورت قطری) در تیرهای کوپله تحت اثر بارهای لرزه ای تحت نیروی محوری و فشاری قرار می گیرند. نیروی فشاری ایجاد شده توسط میلگردهای قطری و هسته بتنی محصور شده داخل میگردهای قطری و میلگردهای عرضی متحمل می شود. با توجه به اینکه شرایط محصور شدگی بواسطه خاموت ها در افزایش مقاومت فشاری و شکل پذیری تیرهای کوپله بسیار موثر می باشد. در این مقاله هم به بررسی رفتار تنش - کرنش هسته بتنی محصور شده با میلگردهای قطری و میلگردهای عرضی پرداخته شده است. در بررسی رفتار تنش - کرنش از مدل ارایه شده در سال ۱۹۸۸ توسط ماندنر و همکارانش [۱۴] استفاده شده است. در بررسی رفتار تنش - کرنش تیرهای کوپله پارامترهای مورد تحقیق عبارت است از قطر میلگردهای قطری، قطر میلگردهای عرضی و فاصله میلگردهای عرضی از هم می باشد. در تیرهای کوپله بر اساس مدل های ارایه شده پارامترهای مورد بررسی: نسبت حجمی میلگردهای محصور کننده، ضریب موثر محصور شدگی (تاثیر میلگردهای عرضی بر روی هسته بتن محصور شده)، تنش محصور شدگی جانبی، تنش موثر

محصور شدگی جانبی، مقاومت فشاری بتن محصور شده، کرنش در ماکسیمم مقاومت محصور شدگی بتن و کرنش فشاری نهایی در بتن محصور شده محاسبه شده و بر اساس نتایج به دست آمده از پارامترهای مختلف مورد بحث و تبادل نظر قرار گرفته شده است. ابعاد و جزئیات تیر کوپله طراحی شده در شکل شماره (۱) داده شده است. مشخصات مقطع و پارامترهای مورد تحلیل در جدول شماره (۲) داده شده است. در مجموع ۵۲ نمونه با پارامترهای مختلف مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج بدست آمده از رفتار غیر خطی و تنش-کرنش این مقاطع بتنی مورد بحث و تبادل نظر قرار گرفته شده است.

جدول ۲- مشخصات و پارامترهای مورد تحلیل

نمونه	ابعاد مقاطع شاخه میلگرد قطری	میلگرد قطری	قطر و فاصله میلگرد عرضی
C1	150mm×150mm	Φ14	Φ8/50mm
C2			Φ8/75mm
C3			Φ8/100mm
C4			Φ10/50mm
C5			Φ10/75mm
C6			Φ10/100mm
C7	150mm×150mm	Φ16	Φ8/50mm
C8			Φ8/75mm
C9			Φ8/100mm
C10			Φ10/50mm
C11			Φ10/75mm
C12			Φ10/100mm
C13	150mm×150mm	Φ18	Φ8/50mm
C14			Φ8/75mm
C15			Φ8/100mm
C16			Φ10/50mm
C17			Φ10/75mm
C18			Φ10/100mm
C19	150mm×150mm	Φ20	Φ8/50mm
C20			Φ8/75mm
C21			Φ8/100mm
C22			Φ10/50mm
C23			Φ10/75mm
C24			Φ10/100mm

۵- مطالعات تحلیلی

در این مقاله برای درک بهتر رفتار غیر خطی مقاطع بتن آرمه توضیحاتی در مورد روابط تنش-کرنش ارائه شده توسط ماندرو همکارانش داده شده است. با استفاده از روابط ارائه شده توسط ماندرو و همکارانش و همچنین رفتار غیر خطی بتن مسلح؛ نسبت حجمی میلگردهای طولی و میلگردهای محصور کننده، ضریب موثر محصور شدگی (تأثیر میلگردهای عرضی بر روی هسته بتن محصور شده)، تنش محصور شدگی جانبی، تنش موثر محصور شدگی جانبی، مقاومت فشاری بتن محصور شده، کرنش در ماکسیمم مقاومت محصور شدگی بتن و کرنش فشاری نهایی در بتن محصور شده محاسبه شده و به صورت مقایسه ای در جداول ارائه شده است. مدل های طراحی شده بر اساس پارامترهای ارائه شده (قطر میلگردهای قطری، قطر میلگردهای طولی و فاصله میلگردهای عرضی در امتداد محور طولی عضو بتن آرمه) در جدول شماره (۲) مورد تحلیل قرار گرفته شده است.

جدول ۳- مقادیر $\rho_s, \rho_y, \rho_x, \rho_{cc}, \rho_t$ بدست آمده از نتایج تحلیل مدل های طراحی شده

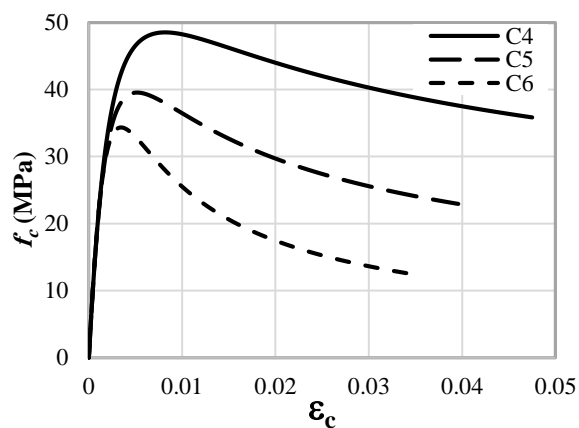
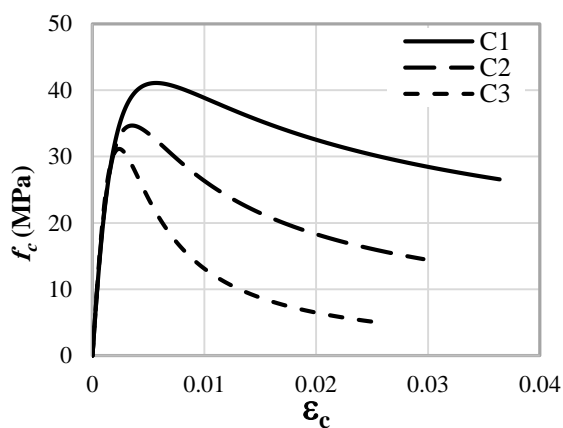
نمونه	میلگرد قطری	قطر و فاصله میلگرد عرضی	ρ_t	ρ_{cc}	ρ_x, ρ_y	ρ_s
C1	$\Phi 14$	$\Phi 8/50\text{mm}$	0,0274	0,0305	0,0142	0,0283
C2		$\Phi 8/75\text{mm}$			0,0094	0,0189
C3		$\Phi 8/100\text{mm}$			0,0071	0,0142
C4		$\Phi 10/50\text{mm}$		0,0314	0,0224	0,0449
C5		$\Phi 10/75\text{mm}$			0,0150	0,0299
C6		$\Phi 10/100\text{mm}$			0,0112	0,0224

جدول ۴- مقادیر $f'_{cc}, f'_l, f'_{lx}, f'_{ly}, k_e$ بدست آمده از نتایج تحلیل مدل های طراحی شده

نمونه	میلگرد قطری	قطر و فاصله میلگرد عرضی	k_e	f'_{lx}, f'_{ly}, f'_l	f'_{cc}
C1	$\Phi 14$	$\Phi 8/50$	0,471	2,80	41,06
C2		$\Phi 8/75$	0,378	1,50	34,64
C3		$\Phi 8/100$	0,296	0,88	31,14
C4		$\Phi 10/50$	0,490	4,62	48,53
C5		$\Phi 10/75$	0,393	2,47	39,54
C6		$\Phi 10/100$	0,307	1,45	34,36

جدول ۵- مقادیر ϵ_{cc} و ϵ_{cu} بدست آمده از نتایج تحلیل مدل های طراحی شده

نمونه	میلگرد قطری	قطر و فاصله میلگرد عرضی	ϵ_{cc}	ϵ_{cu}
C1	$\Phi 14$	$\Phi 8/50$	0,0057	0,0364
C2		$\Phi 8/75$	0,0035	0,0296
C3		$\Phi 8/100$	0,0024	0,0254
C4		$\Phi 10/50$	0,0082	0,0475
C5		$\Phi 10/75$	0,0052	0,0396
C6		$\Phi 10/100$	0,0035	0,0347



شکل ۴ - روابط تنش-کرنش بدست آمده از نتایج تحلیل مدل های طراحی شده

جدول ۶- مقادیر $\rho_s, \rho_y, \rho_x, \rho_{cc}, \rho_t$ بدست آمده از نتایج تحلیل مدل های طراحی شده

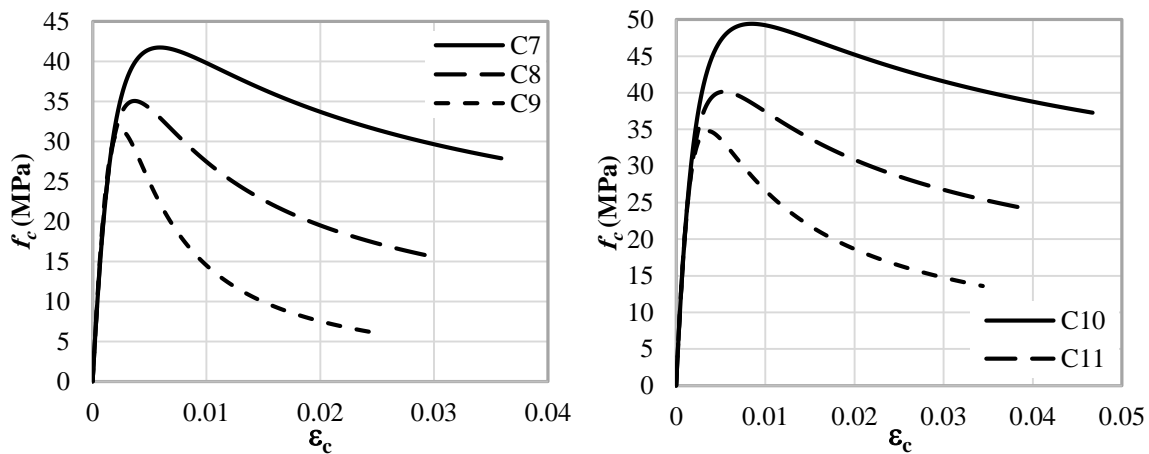
نمونه	میلگرد قطری	قطر و فاصله میلگرد عرضی	ρ_t	ρ_{cc}	ρ_x, ρ_y	ρ_s
C7	$\Phi 16$	$\Phi 8/50$	0,0357	0,0399	0,0142	0,0283
C8		$\Phi 8/75$			0,0094	0,0189
C9		$\Phi 8/100$			0,0071	0,0142
C10		$\Phi 10/50$		0,0410	0,0224	0,0449
C11		$\Phi 10/75$			0,0150	0,0299
C12		$\Phi 10/100$			0,0112	0,0224

جدول ۷- مقادیر f'_{cc} و f'_l ، f'_{lx} ، f'_{ly} ، k_e بدست آمده از نتایج تحلیل مدل های طراحی شده

نمونه	میلگرد قطری	قطر و فاصله میلگرد عرضی	k_e	f'_{lx}, f'_{ly}, f'_l	f'_{cc}
C7	Φ16	Φ8/50	0,496	2,95	41,74
C8		Φ8/75	0,399	1,58	35,08
C9		Φ8/100	0,312	0,93	31,43
C10		Φ10/50	0,516	4,86	49,43
C11		Φ10/75	0,414	2,60	40,15
C12		Φ10/100	0,323	1,52	34,77

جدول ۸- مقادیر ϵ_{cc} و ϵ_{cu} بدست آمده از نتایج تحلیل مدل های طراحی شده

نمونه	میلگرد قطری	قطر و فاصله میلگرد عرضی	ϵ_{cc}	ϵ_{cu}
C7	Φ16	Φ8/50	0,0059	0,0359
C8		Φ8/75	0,0037	0,0293
C9		Φ8/100	0,0025	0,0252
C10		Φ10/50	0,0085	0,0467
C11		Φ10/75	0,0054	0,0391
C12		Φ10/100	0,0036	0,0344



شکل ۵- روابط تنش-کرنش بدست آمده از نتایج تحلیل مدل های طراحی شده

جدول ۹- مقادیر ρ_s ، ρ_y ، ρ_x ، ρ_{cc} ، ρ_t بدست آمده از نتایج تحلیل مدل های طراحی شده

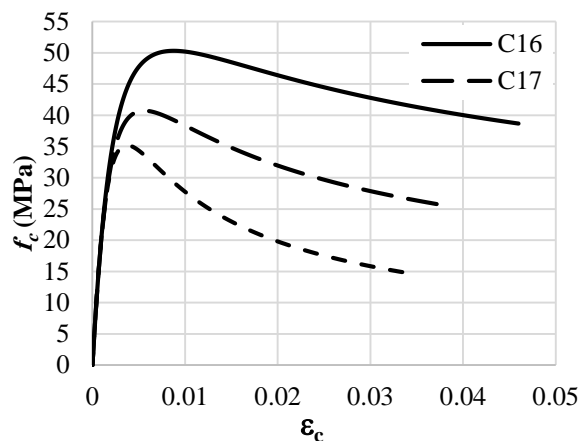
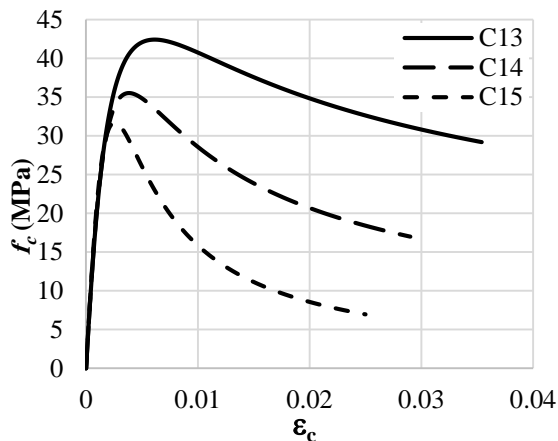
نمونه	میلگرد قطری	قطر و فاصله میلگرد عرضی	ρ_t	ρ_{cc}	ρ_x, ρ_y	ρ_s
C13	Φ18	Φ8/50	0,0452	0,0505	0,0142	0,0283
C14		Φ8/75			0,0094	0,0189
C15		Φ8/100			0,0071	0,0142
C16		Φ10/50		0,0519	0,0224	0,0449
C17		Φ10/75			0,0150	0,0299
C18		Φ10/100			0,0112	0,0224

جدول ۱۰- مقادیر f'_{cc} و f'_l ، f'_{lx} ، f'_{ly} ، k_e بدست آمده از نتایج تحلیل مدل های طراحی شده

نمونه	میلگرد قطری	قطر و فاصله میلگرد عرضی	k_e	f'_{lx}, f'_{ly}, f'_l	f'_{cc}
C13	Φ18	Φ8/50	0,522	3,10	42,41
C14		Φ8/75	0,420	1,66	35,51
C15		Φ8/100	0,329	0,98	31,71
C16		Φ10/50	0,542	5,11	50,32
C17		Φ10/75	0,435	2,73	40,76
C18		Φ10/100	0,340	1,60	35,18

جدول ۱۱ - مقادیر ε_{cc} و ε_{cu} بدست آمده از نتایج تحلیل مدل های طراحی شده

نمونه	میلگرد قطری	قطر و فاصله میلگرد عرضی	ε_{cc}	ε_{cu}
C13	$\Phi 18$	$\Phi 8/50$	0,0061	0,0354
C14		$\Phi 8/75$	0,0038	0,0290
C15		$\Phi 8/100$	0,0026	0,0250
C16		$\Phi 10/50$	0,0088	0,0460
C17		$\Phi 10/75$	0,0056	0,0385
C18		$\Phi 10/100$	0,0037	0,0340



شکل ۶ - روابط تنش-کرنش بدست آمده از نتایج تحلیل مدل های طراحی شده

جدول ۱۲ - مقادیر ρ_t , ρ_{cc} , ρ_x , ρ_y , ρ_s و ρ_{cc} بدست آمده از نتایج تحلیل مدل های طراحی شده

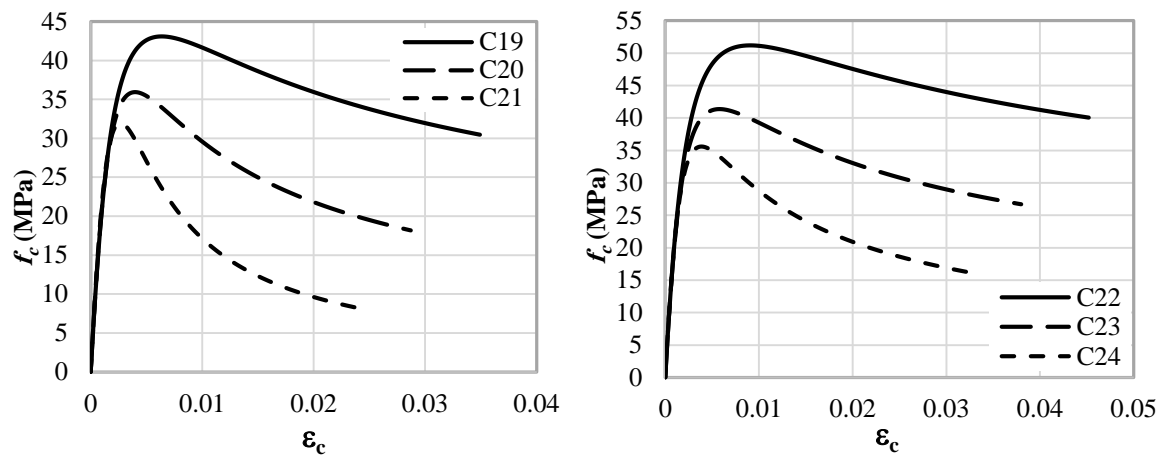
نمونه	میلگرد قطری	قطر و فاصله میلگرد عرضی	ρ_t	ρ_{cc}	ρ_x, ρ_y	ρ_s
C19	$\Phi 20$	$\Phi 8/50$	0,0559	0,0623	0,0142	0,0283
C20		$\Phi 8/75$			0,0094	0,0189
C21		$\Phi 8/100$			0,0071	0,0142
C22		$\Phi 10/50$		0,0641	0,0224	0,0449
C23		$\Phi 10/75$			0,0150	0,0299
C24		$\Phi 10/100$			0,0112	0,0224

جدول ۱۳ - مقادیر f'_{cc} , f'_l , f'_{lx} , f'_{ly} , k_e بدست آمده از نتایج تحلیل مدل های طراحی شده

نمونه	میلگرد قطری	قطر و فاصله میلگرد عرضی	k_e	f'_{lx}, f'_{ly}, f'_l	f'_{cc}
C19	$\Phi 20$	$\Phi 8/50$	0,548	3,26	43,09
C20		$\Phi 8/75$	0,441	1,75	35,95
C21		$\Phi 8/100$	0,345	1,03	31,99
C22		$\Phi 10/50$	0,569	5,36	51,20
C23		$\Phi 10/75$	0,456	2,87	41,37
C24		$\Phi 10/100$	0,356	1,68	35,60

جدول ۱۴ - مقادیر ε_{cc} و ε_{cu} بدست آمده از نتایج تحلیل مدل های طراحی شده

نمونه	میلگرد قطری	قطر و فاصله میلگرد عرضی	ε_{cc}	ε_{cu}
C19	$\Phi 20$	$\Phi 8/50$	0,0064	0,0349
C20		$\Phi 8/75$	0,0040	0,0287
C21		$\Phi 8/100$	0,0027	0,0248
C22		$\Phi 10/50$	0,0091	0,0452
C23		$\Phi 10/75$	0,0058	0,0380
C24		$\Phi 10/100$	0,0039	0,0337



شکل ۷- روابط تنش- کرنش بدست آمده از نتایج تحلیل مدل های طراحی شده

۶- نتیجه گیری

برای بررسی ظرفیت باربری، شکل پذیری و مود خرابی در سازه های بتن آرمه نیاز به بررسی رفتار غیرخطی سازه های بتنی به صورت تحلیلی می باشد. در سازه های بتن آرمه به دلیل اهمیت میزان انعطاف پذیری و ظرفیت باربری تحت اثر بارهای جانبی باید به دنبال روش های برای افزایش انعطاف پذیری و ظرفیت باربری بود. در این مقاله به منظور مطالعه اثر قطر میلگردها و فاصله میلگردهای محصور کننده در افزایش مقاومت و شکل پذیری تیرهای کوپله طراحی شده با تحلیل به روش غیر خطی پرداخته شد. برای در نظر رفتار غیر خطی اعضای بتن آرمه از مدل تنش-کرنش ارایه شده توسط ماندرو و همکاران برای بررسی این رفتار استفاده شده است. از آنجاییکه که تیرهای کوپل شده در عملکرد لرزه ای دیوارهای برشی کوپل شده بسیار موثر بوده، میلگردهای قطری هم نقش مهمی در عملکرد و ظرفیت باربری تیرهای کوپل شده دارد. برای همین منظور در این مقاله به بررسی مقاطع متشکل از میلگردهای قطری و محصور کننده (diagonal bundles) که در اثر بارهای لرزه ای تحت اثر نیروی فشاری و کششی قرار میگیرند پرداخته شده است. از بررسی و مقایسه نتایج ارایه شده در جداول از تحلیل و آنالیز مدل های طراحی شده نتایج زیر قابل ارایه می باشد.

- عوامل اصلی در طراحی ساختمان های مقاوم در برابر زلزله تامین مقاومت و سختی کافی برای مقابله با نیروهای جانبی می باشد. یکی از راههای تامین سختی و مقاومت سازه ها برای مقابله با نیروی زلزله استفاده از تیرهای کوپله (همبند) با ارتفاع (ابعاد) بالا می باشد.

- طبق آیین نامه های مورد بررسی در این مقاله مهار میلگردهای قطری تیر کوپله در داخل دیوار برشی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. طول گیرایی میلگردهای قطری باید به اندازه ای باشد که از داخل دیوار برشی کنده نشده و باعث تخریب بتن اطراف نشود. برای جلوگیری از چنین خسارتی در آیین نامه ها طول گیرایی حساب شده را ۱.۲۵ و ۱.۵ برابر بیشتر در نظر گرفته شده است.

- مدل ارایه شده برای بتن محصور شده و بتن محصور نشده توسط ماندرو و همکارانش در سال ۱۹۸۸ برای همه اشکال هندسی مقاطع بتن آرمه و همه سطوح از محصور شدگی قابل کاربرد می باشد.

- همانطور که در منحنی های تنش-کرنش بدست آمده از نتایج تحلیل مدل های طراحی شده مشاهده شد، با افزایش سطح مقطع میلگردهای قطری مقاومت فشاری بتن محصور شده افزایش کمتری داشته است. اما با افزایش سطح مقطع میلگردهای عرضی مقاومت فشاری بتن محصور شده افزایش چشم گیری داشته است. همچنین با کمتر شدن فاصله میلگردهای عرضی در

امتداد محور طولی عضو بتن آرمه مقاومت فشاری بتن محصور شده افزایش داشته است. در نتیجه میلگردهای عرضی نقش مهمی در افزایش مقاومت فشاری بتن محصور شده دارد.

- از مقایسه و بررسی نتایج بدست آمده و همچنین منحنی تنش- کرنش ارایه شده از نتایج تحلیل؛ با افزایش سطح مقطع میلگرد قطری مقدار کرنش بدست آمده در ماکسیمم مقاومت محصور شدگی افزایش کمتری داشته و کرنش فشاری نهایی در بتن محصور شده کاهش کمتری داشته است.

- با افزایش سطح مقطع میلگردهای عرضی و همچنین با کاهش فاصله میلگردهای عرضی از هم مقادیر کرنش در ماکسیمم مقاومت و کرنش نهایی فشاری در بتن محصور شده افزایش داشته است.

- مقادیر ضریب موثر محصور شدگی محاسبه شده از تحلیل مدل های طراحی شده؛ با افزایش سطح مقطع میلگردهای قطری و میلگردهای عرضی و همچنین کاهش فاصله میلگردهای عرضی افزایش داشته است.

- مقادیر تنش محصور شدگی جانبی و تنش موثر محصور شدگی جانبی بدست آمده از نتایج تحلیل؛ با افزایش سطح مقطع میلگردهای قطری و میلگردهای عرضی و همچنین کاهش فاصله میلگردهای عرضی افزایش داشته است.

- از منحنی های تنش- کرنش بدست آمده از نتایج تحلیل مشاهده می شود که با افزایش سطح مقطع میلگردهای عرضی و با کاهش فاصله میلگردهای عرضی از هم شکل پذیری مدل های طراحی شده (مقاطع بتنی مورد تحلیل) افزایش یافته است. با افزایش سطح مقطع میلگردهای عرضی شکل پذیری به مقدار کم کاهش یافته است. در نتیجه میلگردهای عرضی نقش مهمی در شکل پذیری اعضای بتن آرمه دارد.

- میلگرد گذاری فشرده بصورت عرضی و افزایش سطح مقطع میلگردهای جانبی دراعضای بتن آرمه به دلیل افزایش اثرات محصورشدگی بتن و شکل پذیری در بهبود رفتار لرزه‌های سازه های بتن آرمه تاثیر به سزایی دارد.

۷- مراجع

۱. گیلوری، ح. و شربتدار، م. ک. (۱۳۹۶). ارائه رابطه تحلیلی درجه سوم برای توصیف رفتار منحنی تنش-کرنش بتن بر مبنای فرضیات هاگنستاد، نخستین کنفرانس پژوهش در مهندسی عمران، معماری و علوم زمین، تهران، ایران، ۴ شهریور.
۲. کریمی، م. س. و احمدی، م. (۱۳۹۱). رفتار ستون های بتن مسلح تقویت شده توسط روکش فولادی، نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران، ۲۱-۱۹ اردیبهشت ماه.
۳. آخوندزاده، ه. و قلعه نوی، م. (۱۳۹۲). ارزیابی شرایط محصور شدگی بواسطه تنگ ها در افزایش مقاومت فشاری و شکل پذیری، پنجمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران، ۱۵ مهرماه.
۴. پوربابا، م. (۱۳۸۹). مقاومت سازی ستونهای بتنآرمه با استفاده از تکنیک غلافبندی بتنی و فولادی، فصلنامه علمی تخصصی مهندسی سازه، دوره ۸، شماره ۱۰، زمستان ۱۳۸۹، صفحه ۲۵-۳۴.
۵. واقفی، م. موحذزاده، م. و باقری، ح. (۱۳۸۹). تاثیر تعداد آرماتورها در میزان سختی ستون های بتن، اولین کنفرانس بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، گیلان، ایران، بهمن.

6. Foroughi S. (2016). Investigation of The Seismic Behavior of The Coupled Shear Walls. Selcuk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Civil Engineering Department, Master Thesis, Turkey.

7. Foroughi S. and Yuksel S. B. (2016). Investigation of the Seismic Behavior of the Coupled Shear Walls. 2nd International Conference on Modern Research in Civil Engineering, Architectural and Urban Development, Istanbul /Turkey.

8. Yuksel S.B. and Foroughi S. (2019). Analytical Investigation of Shear Capacity of diagonal Reinforcements in coupling beams of coupled shear walls. 2nd International Congress on Engineering and Architecture (ENAR), 437-457, Marmaris/Turkey.
9. Yuksel S.B. and Foroughi S. (2018). Analytical Study of the Behavior of Diagonally Reinforced Coupling Beams. 1nd International Congress on Engineering and Architecture (ENAR), 703-712, Alanya / Turkey.
10. Eurocode8. (2004). Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. The European Standard, EN 1998-1:2004, has the status of a British Standard.
11. ACI 318. (2014). Building code requirements for reinforced concrete and commentary. American Concrete Institute Committee, ISBN: 978-0-87031-930-3.
12. TSC. (2018). Specification for Buildings to be Built in Seismic Zones. Ministry of Public Works and Settlement Government of the Republic of Turkey.
13. Code 360. (2014). Instruction for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. Management and Planning Organization. Islamic Republic of Iran, Management and Planning Organization, Technical Criteria Codification & Earthquake Risk Reduction Affairs Bureau, No;360.
14. Mander J. B., Priestley M. J. N. and Park R. (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. Journal of Structural Engineering, ASCE, 114(8): 1804-1826.