نشریه علمی – پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، دوره ۷، شماره ۲، سال ۱۳۹۹، صفحه ۱۶۳ تا ۱۸۰

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی – پژوهشی)

www.jsce.ir

ایده‌ی نوآورانه به منظور افزایش ظرفیت باربری و شکل پذیری ستون‌های بتن مسلح با استفاده از آرماتورهای مارپیچ مستطیلی

محمد دادک[۱] ، مجتبی لبیب زاده[۲،*]

۱. کارشناسی ارشد مهندسی سازه، گروه عمران ، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲. استادیارسازه ، گروه عمران ، دانشکده مهندسی ، دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده

ستون یکی از اعضای مهم سازه‌های ساختمانی بوده که وظیفه‌ی تحمل و انتقال بارهای وارده به سازه را برعهده دارد. رفتار اعضای فشاری بتن مسلح به طور کل بر اساس مقاومت نهایی بتن و شکل پذیری آن می‌باشد که با محصورشدگی بتن می‌توان هردو را ارتقا داد، همچنین محققین همواره به فکر یکپارچه کردن آرماتور گذاری ستون‌های بتن مسلح به منظور ساده تر شدن ساخت و ساز و صرفه جویی در مصارف سازه‌ای و اقتصادی بوده‌اند. بر اساس این موارد گفته شده، در مطالعه‌ی حاضر نوع جدیدی از پیکربندی آرماتور گذاری با استفاده از آرماتورهای مارپیچ مستطیلی به همراه خاموت‌های به هم پیوسته برای ستون‌ها ارایه شده است که توسط مدل عددی مورد بررسی قرار گرفته است. جهت مدلسازی و آنالیز نمونه‌ها از روش اجزای محدود و به کمک نرم افزار آباکوس توسط نمونه صحت سنجی، استفاده شده است. پارامترهای مورد بررسی آرایش‌های مختلف استفاده از آرماتور مارپیچ مستطیلی، تعداد و گام دورپیچ‌ها می‌باشند. ظرفیت باربری و ظرفیت شکل پذیری نمونه‌های ایده‌ی جدید با طرح‌های قبلی استفاده از آرماتورهای مارپیچ دایره‌ای مقایسه شدند. با توجه به نتایج بدست آمده، استفاده از چنین پیکربندی علاوه بر ساده تر شدن ساخت و ساز، باعث افزایش ظرفیت باربری و شکل پذیری ستون‌ها شده است.

کلمات کلیدی: ستون بتن مسلح، آرماتور مارپیچ مستطیلی، خاموت به هم پیوسته، ظرفیت باربری، شکل پذیری، روش اجزای محدود.

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/jsce.2018.126898.1520
۱۳۹۷/۰۱/۲۶	۱۳۹۷/۰۵/۰۶	۱۳۹۷/۰۶/۱۱	۱۳۹۹/۰۱/۱۵	۱۳۹۹/۰۱/۱۵	doi: 10.22065/jsce.2018.126898.1520

*نویسنده مسئول: مجتبی لبیب زاده

پست الکترونیکی: labibzadeh_m@scu.ac.ir

Innovative idea to increase bearing capacity and ductility of concrete columns by using rectangular spiral reinforcement

Mohammad Dadak [1] , Mojtaba Labibzadeh[2*]

1.MSc, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

ABSTRACT

The columns are one of the most important members of the construction structures, which is responsible for the bearing and transfer of loads to the structure. The behavior of compressive RC members is generally based on the concrete strength and ductility of concrete which with confining concrete can improve both of them. Researchers have also been keen to integrate the reinforcement of the concrete columns in order to simplify construction and save on structural and economic costs. Based on these mentioned cases, in the present study, a new type of configuration is presented using rectangular spiral reinforcements with continuous hoops for rectangular concrete columns, which is examined by numerical model. For the modelling and analysis of the new columns, the finite element method has been used with the Abaqus software by using of a verification experimental sample. The parameters studied are various arrangement of using rectangular spiral reinforcement, number and pitch of spirals. Bearing Capacity and Ductility Capacity of the New Models were compared with previous designs using circular spiral reinforcements. According to the results, the use of such a configuration, in addition to simplifying the structural and construction, has increased the bearing capacity and the ductility of the columns.

ARTICLE INFO

Receive Date: 15 April 2018
Revise Date: 28 July 2018
Accept Date: 02 September 2018

Keywords:
RC Column
Rectangular Spiral Reinforcements
Continuous hoop
Load Bearing Capacity
Ductility
FE Modelling

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2018.126898.1520

*Corresponding author: Mojtaba Labibzadeh
Email address: labibzadeh_m@scu.ac.ir

۱- مقدمه

سیستم استفاده از آرماتورهای مارپیچ و یکپارچه، بطور گسترده در چند دهه اخیر برای ساخت و ساز استفاده شده است. بنابر قابلیت اعتماد و عملکرد مناسب آنها، در ساختمان‌های بلند و پل‌ها بسیار استفاده شده‌اند. همچنین آنها را برای مقاومت در برابر انواع بارها نظیر فشار، خمش و پیچش به خصوص در اعضای فشاری طراحی کرده‌اند. علت توجه زیاد به این سیستم در سال‌های اخیر را می‌توان در عملکرد بسیار مناسب این نوع ستون‌ها در برابر بارهای استاتیکی و دینامیکی اشاره کرد. از مزایای این سیستم می‌توان به بهبود شکل پذیری و افزایش ظرفیت باربری و در نتیجه قابلیت جذب انرژی بالا تحت انواع بارگذاری اشاره کرد. از طرف دیگر هسته‌ی بتن در این سیستم با دریافت محصورشدگی بالا، باعث افزایش سختی این اعضای ساختمانی شده که می‌تواند مقدار زیادی از بار را با کمترین تغییر شکل تحمل کند.

عیب تحقیقات گذشته در زمینه‌ی به کارگیری آرماتور مارپیچ درون پیکربندی ستون، استفاده از آرماتورهای طولی اضافه بود که هیچگونه توجیه سازه‌ای نداشتند و تنها برای ساختن ایده‌ی محققین در هر مطالعه از آن استفاده می‌شد. چنین کاری علاوه بر ساخت و سرهم کردن مشکل، باعث دشوار شدن استفاده در اسکلت سازه و به عنوان مثال تجمع آرماتورها درمحل اتصال تیر به ستون می‌شد. این امر موجب سنگین شدن سازه به علت مصرف بالای فولاد و غیر اقتصادی شدن طرح می‌شود. بنابراین تمام طرح‌های پژوهشی قبلی در مرحله تئوری و آزمایشگاهی باقی ماندند و وارد صنعت ساختمان سازی نشدند.

بنابراین برای حفظ عملکرد مناسب ستون و حتی بهبود آن و نیز برطرف کردن معایب گفته شده، ایده‌ی جدیدی در پیکربندی آرماتورگذاری ستون در این تحقیق پیشنهاد شده است و آن استفاده از آرماتور مارپیچ مستطیلی به همراه خاموت به هم پیوسته (دورپیچ-های دنباله دار) درون ستون بتن مسلح مستطیلی می‌باشد. نمایی از این ایده‌ی جدید در شکل ۱ نشان داده شده است. از مزایای این طرح پیشنهادی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- عملکرد مشابه طرح‌های تحقیقات گذشته و حتی بهتر

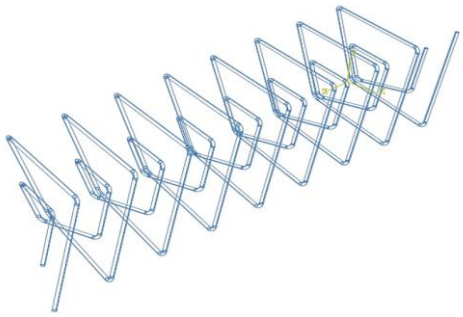
- ساخت و ساز آسان (از مرحله ساخت مارپیچ‌های مستطیلی تا سرهم کردن آن در محل)

- صرفه اقتصادی و سازه‌ای (با حذف آرماتورهای طولی و خاموت‌های مستطیلی)

- صرفه جویی در زمان ساخت

برای بررسی این ایده متاسفانه به دلیل در دسترس نبودن امکانات آزمایشگاهی به ناچار ارزیابی آن توسط نرم افزار المان محدود آباکوس انجام گرفت. از این رو در تحقیق حاضر از کار آزمایشگاهی که در سال ۲۰۱۶ آخرین طرح استفاده از آرماتورهای مارپیچ دایره‌ای را پیشنهاد دادند استفاده شد و بعد از صحت سنجی، اقدام به تغییر پیکربندی و ارزیابی ایده‌ی جدید پرداخته شد. به همین خاطر به این نکته توجه شده که تا حد امکان وجه شباهت‌هایی بین نمونه‌های ایده‌ی نوآورانه و نمونه‌های صحت سنجی شده آزمایشگاهی استفاده از آرماتورهای مارپیچ دایره‌ای در نظر گرفته شود تا نتایجی که بدست می‌آیند با توجه به مکانیزم عملکردی آرماتورهای مارپیچ، دور از انتظار ذهن نباشند.

نتایج این تحقیق بر این گواهی می‌دهند که طرح پیشنهادی علاوه بر ساده تر شدن ساخت ستون‌های بتن مسلح منجر به افزایش ظرفیت باربری و شکل پذیری آنها نیز می‌شود.



شکل۱ : نمای استفاده از آرماتور مارپیچ مستطیلی به عنوان ایده جدید آرماتورگذاری ستون مستطیلی.

۲- مطالعات پیشین

تحقیقات زیادی به منظور بهبود عملکرد ستون از طریق محصور کردن مناسب بتن و با استفاده از آرماتورهای مارپیچ انجام شده است. در سال ۱۹۹۳، وزارت حمل و نقل کالیفرنیا (CALTRANS) [۱] برای اولین بارپیشنهاد استفاده از مارپیچ‌های متصل به هم را در اعضای فشاری همانند ستون‌های پل که برای بارگیری لرزه‌ای طراحی شده بودند را ارائه دادند. مقطع عرضی که در شکل ۲ نشان داده شده است، به عنوان یک تغییردر نحوه آرماتورگذاری ستون می‌تواند برای استفاده به عنوان پایه‌های پل که در دو جهت افقی بارهای مختلفی به آنها وارد می‌شود، استفاده کرد. از جمله مزایای استفاده از مارپیچ‌های متصل در هم، قسمتی از بتن است که توسط دو آرماتور مارپیچ دایره-ای محصورشدگی مناسبی دریافت می‌کند که در نتیجه منجر به افزایش شکل پذیری و افزایش ظرفیت جذب انرژی ستون می‌شود. بر روی این مقطع پیشنهادی مطالعات بسیاری از گذشته تا کنون انجام شده و از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است [۲-۵].

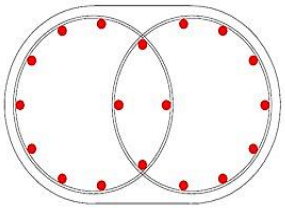
اما بحث در این پژوهش استفاده از آرماتورهای مارپیچ درون ستون‌های ساختمانی با مقطع مستطیلی شکل می‌باشد. ین و همکاران برای اولین بار در سال ۲۰۰۴ [۶و۷] تحقیقات بسیاری در زمینه‌ی استفاده از آرماتورهای مارپیچ دایره‌ای در ستون‌های بتن مسلح مستطیلی انجام دادند. در این مطالعات یک طراحی نوین برای استفاده از چند مارپیچ در ستون‌های بتنی مستطیلی با استفاده از آزمایش و ارزیابی تعداد زیادی از نمونه‌های ستون تحت بار فشاری محوری و بارهای چرخه‌ای جانبی ارائه شد. نتایج آزمایش‌ها به وضوح نشان می‌دهد که نمونه‌های بتن مسلح دارای چند آرماتور مارپیچ، ظرفیت باربری و ظرفیت شکل پذیری بیشتری نسبت به ستون‌های با طرح‌های مرسوم و متداول را دارند. طرح استفاده از پنج آرماتور مارپیچ (که شامل یک مارپیچ بزرگ در مرکز و چهار مارپیچ کوچک در چهار گوشه می‌باشد) در شکل ۳-الف نشان داده شده است.

ونگ و همکاران در سال ۲۰۱۰ [۸] مجموعه‌ای از ستون‌های فولادی بتن مسلح مستطیلی (SRC) که با ایده نوآورانه و چند آرماتور مارپیچ محصور شدگی در آنها ایجاد شده بود تحت بار فشار محوری و بار جانبی چرخه‌ای آزمایش کردند. پیکربندی چند آرماتور مارپیچ متشکل شده از دو آرماتور مارپیچ بافته شده که شامل یک مارپیچ دایره‌ای در مرکز و یک مارپیچ ستاره شکل است که در اطراف محیط ستون قرار می‌گیرد. ایده‌ی جدید در این تحقیق اضافه کردن آرماتور مارپیچ ستاره‌ای شکل به ستون مستطیلی(SRC) است که بتن درون ستون را در چهار گوشه به شکل موثری محصور می‌کند. در مقایسه با ستون‌های بتنی سنتی با خاموت‌های مستطیلی، نتایج آزمایش نشان داد با صرفه جویی قابل توجهی در مصرف فولادکه به عنوان مصالح محصور شدگی استفاده می‌شوند، ستون‌های(SRC) محصور شده با چند آرماتور مارپیچ، عملکرد لرزه‌ای عالی را هم در مقاومت و هم شکل پذیری نشان دادند. مقطع پیشنهادی این محقق در شکل ۳-ب نشان داده شده است.

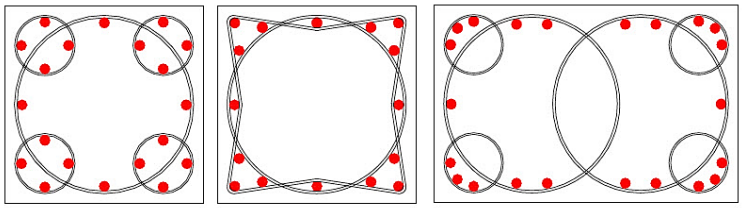
وو در سال ۲۰۱۳ [۹] در تحقیقی رفتار آرماتور گذاری‌های مختلف برای ستون‌های مستطیلی تحت ترکیب بارهای محوری و خمشی، از جمله بارگذاری فشاری با خروج از مرکزیت و بارگذاری چرخه‌ای جانبی، با ثابت در نظر گرفتن بار محوری مورد بررسی قرار

دادند. طرح آرماتور گذاری عرضی شامل استفاده از تنگ معمولی و به کار بردن چند آرماتور مارپیچ است. برای ستون‌های مستطیلی ساختمانی شامل استفاده از دو آرماتور مارپیچ بزرگ متصل به هم در مرکز که با چهار مارپیچ کوچک در گوشه‌ها اتصال یافته‌اند که مقطع آن در شکل ۳-ج نشان داده شده است. ستون‌های مستطیلی که با چند مارپیچ محصور شده بودند و با مقدار آرماتور گذاری عرضی ۴۳٪ نسبت به ستون‌های با تیپ مرسوم، مقاومت، شکل پذیری، استهلاک انرژی و حتی ظرفیت باربری بیشتری را نشان می‌دهد.

جینگ در سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ [۱۱و۱۰] در زمینه استفاده از آرماتور مارپیچ، ایده جدید پیکربندی آرماتور گذاری عرضی برای بهبود عملکرد لرزه ای ستون‌های بتن مسلح مستطیلی را ارائه می‌دهد. ویژگی‌های آرماتورگذاری جدید نسبت به آرماتورگذاری‌های معمولی که با استفاده از خاموت‌های مستطیلی و تنگ بسته تشکیل شدند، شامل استفاده از آرماتورهای مارپیچ دایره‌ای کوچک در نزدیکی گوشه-های ستون(به عنوان مثال، مناطقی که پتانسیل تشکیل مفصل پلاستیک دارند) است. مقطع پیشنهادی این ستون در شکل ۴ نشان داده شده است. ستون‌های بتن مسلح این ایده دارای مزایای بسیاری نسبت به طرح‌های قبلی می‌باشند. این مزایا شامل شکل پذیری عالی، استفاده کارآمد از میلگردهای طولی و سهولت ساخت و ساز می‌باشند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که بتن به طور بسیار موثری توسط پیکربندی جدید محصور می‌شود و منجر به پیشرفت قابل توجهی در ظرفیت باربری و شکل پذیری ستون بتن مسلح می‌شود.

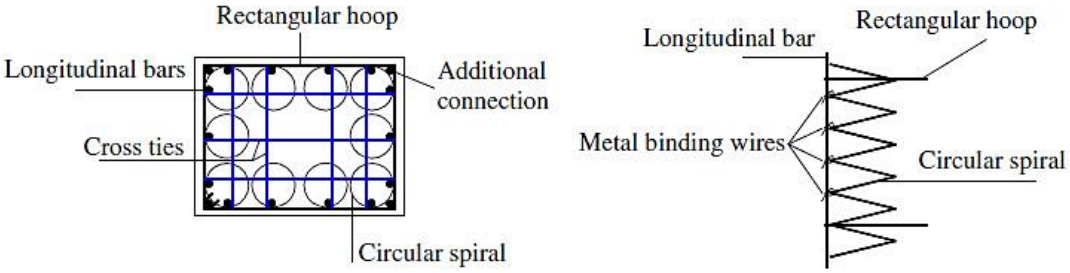


شکل۲ : مقطع ستون پایه‌های پل با استفاده از آرماتورهای مارپیچ متصل در هم [۱].



الف [۶] ب [۸] ج [۹]

شکل۳ : مقطع عرضی ستون‌های با آرماتورهای مارپیچ.



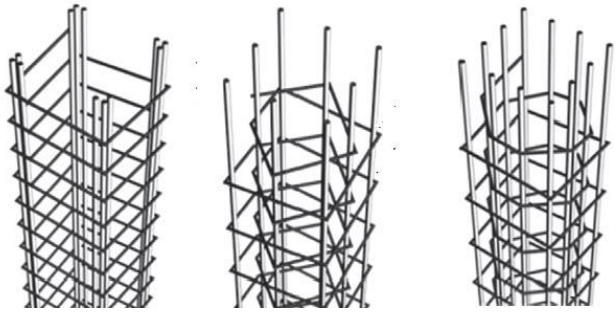
شکل۴ : آخرین طرح پیشنهادی استفاده از آرماتورهای مارپیچ [۱۰].

همچنین اخیرا تحقیقات بسیاری به منظور ارزیابی عملکرد تیر و ستون‌هایی که در آنها از خاموت‌های به هم پیوسته و یکپارچه استفاده شده باشد، انجام شده است. کاریانس و همکاران [۱۲] در سال ۲۰۰۵ در مطالعه‌ای رفتار ستون‌های دارای خاموت‌های به هم پیوسته را تحت بارگذاری لرزه‌ای مورد ارزیابی قرار دادند. از نتایج مهم این تحقیق می‌توان به افزایش ظرفیت باربری و افزایش جذب انرژی این نوع ستون‌های پیشنهادی نسبت به تیپ مرسوم بود.

چالیوریس و همکاران در سال ۲۰۱۳ [۱۳] برای ارتقای ظرفیت برشی تیرهای بتن مسلح ساختمانی، جزییات مختلفی از خاموت-های مستطیلی به هم پیوسته را پیشنهاد دادند که ظرفیت برشی این مدل تیرها نسبت به تیپ مرسوم، افزایش بین ۱۴,۷ درصد تا ۲۱,۷ درصد را دارا بودند.

تای سانگ و همکاران در سال ۲۰۱۴ [۱۴] جزییات جدیدی از به کارگیری خاموت‌های به هم پیوسته در ستون‌های بتن مسلح را که در شکل ۵ نشان داد شده است، تحت بار لرزه‌ای چرخه‌ای مورد آزمایش قرار دادند که قابلیت جذب انرژی بالایی را از خود نشان دادند.

نسیم شطرات و همکاران در سال ۲۰۱۶ [۱۵] ۲۸ نمونه تیر بتنی آزمایشگاهی را با استفاده از خاموت‌های به هم پیوسته (ادامه دار) تحت خمش چهار نقطه‌ای از طریق بررسی منحنی‌های بار-تغییر مکان مورد ارزیابی قرار داد. در این مطالعه زاویه بهینه خاموت‌ها ۸۰ درجه بدست آمد که باعث بهبود ظرفیت برشی تیرها شد.



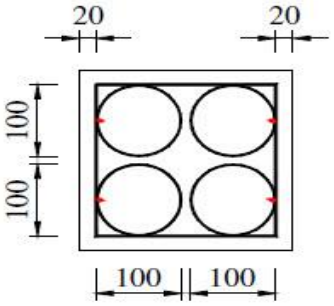
شکل۵ : نمایی از آرماتورگذاری ستون با استفاده از خاموت به هم پیوسته [۱۴].

بررسی تحقیقات گذشته در زمینه به کارگیری آرماتورهای مارپیچ و خاموت‌های مستطیلی به هم پیوسته نشان دهنده جدید بودن روشی برای تغییر پیکربندی آرماتورگذاری تیر و ستون‌ها می باشد که باعث افزایش ظرفیت باربری و بهبود عملکرد این اعضای مهم ساختمانی می‌شود. همچنین باعث کاهش هزینه از طریق صرفه جویی در زمان ساخت و ساده سازی نصب آن شده است. علیرغم کارهای انجام گرفته در این زمینه، تحقیقات بسیار کمی در استفاده از خاموت‌های به هم پیوسته در ستون‌ها وجود دارد و طرحی مبنی بر ترکیب آرماتورهای مارپیچ به عنوان آرماتور طولی اصلی و خاموت‌های به هم پیوسته انجام نشده است. بنابراین در این تحقیق با ارائه طرح جدیدی از آرماتورگذاری ستون‌ها می تواند زمینه جدیدی از مطالعات را برای پژوهشگران بگشاید.

۳- مدلسازی و صحت سنجی نمونه آزمایشگاهی ستون‌های دارای آرماتور مارپیچ

به منظور صحت سنجی مدلسازی‌ها، یک نمونه آزمایشگاهی (مدلCLB-4-1) از روی آزمایش جینگ و همکاران در سال ۲۰۱۶ [۱۰] که مقطع آن ۲۵۰*۲۵۰ میلیمتر با ارتفاع ۹۰۰ میلیمتر و در شکل ۶ نشان داده شده است انتخاب، و با مدل حاصله از نرم افزار آباکوس مقایسه شده است. لبیب زاده و دادک [۱۶] مدل‌های آزمایشگاهی آرماتورهای مارپیچ را با جزییات به کمک نرم افزار آباکوس مدلسازی کرده اند. در این بخش خلاصه‌ای از مدلسازی تا صحت سنجی نمونه آورده شده است و صحت سنجی آن بهتر از قبل انجام شد.

مطالعه‌ی تحلیلی با استفاده از نرم افزار آباکوس ورژن ۲۰۱۶ انجام شده است. در این تحقیق برای مدلسازی فولاد از مدل دوخطی همراه با سخت شوندگی ایزوتروپیک استفاده شده است. برای میلگردهای طولی و خاموت‌های مستطیلی از فولاد با FY=344Mpa و برای آرماتورهای مارپیچ دایره‌ای از فولاد با FY=1196Mpa استفاده گردید [۱۰]. در مدلسازی بتن از مدل پلاستیسیته خسارت استفاده شده است. در این مدل هردو مد گسیختگی فشاری و کششی بتن در نظر گرفته شده است و مقاومت نمونه مکعبی بتن ۵۱ مگاپاسکال می‌باشد. پارامترهای مدل آسیب- خمیری بتن پس از صحت سنجی در جدول ۱ نشان داده شده است.

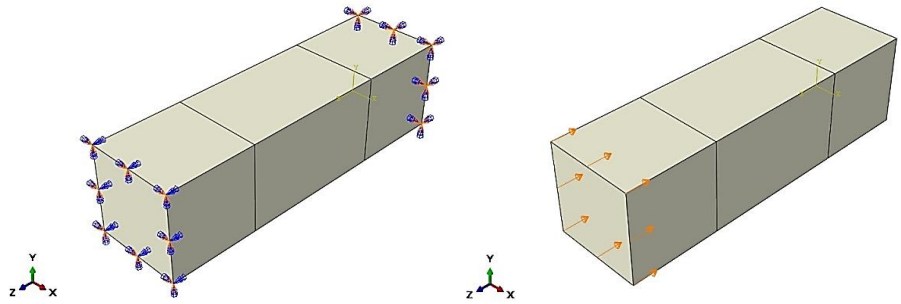


شکل۶ : نمونه انتخاب شده (CLB-4-1) از آخرین طرح استفاده آرماتورهای مارپیچ برای ستون [۱۰].

جدول۱ : پارامترهای مدل آسیب – خمیری رفتار بتن برای نمونه صحت سنجی شده.

پارامترهای مدل آسیب - خمیری				
پارامتر ویسکوزیته	پارامتر Kc	نسبت مقاومت فشار دو محوری به تک محوری $\frac{\sigma_{bo}}{\sigma_{co}}$	خروج از مرکزیت	زاویه اتساع
۰,۰۰۱	۰,۶	۱,۱۶	۰,۱	۳۰

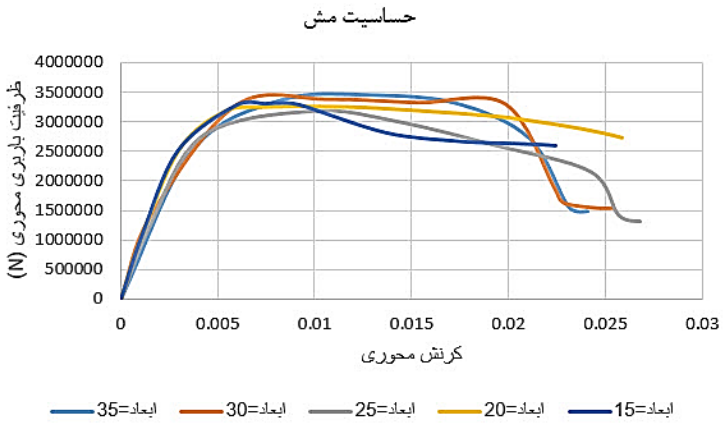
ایجاد شرایط مرزی برای ستون در محیط نرم افزار برای تطابق با شرایط آزمایشگاهی در شکل ۷ سمت راست نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص شده است، پایین ستون که تکیه گاه آن باشد، تمامی درجات آزادی انتقالی و چرخشی مهار شده‌اند. همچنین بالای ستون نیز در تمام جهات غیر از جهت اعمال بار مقید شدند. بارگذاری فشاری محوری به صورت جابه‌جایی کنترل به ستون-های دارای آرماتور مارپیچ اعمال می‌شود. نحوه اعمال بار به بالای ستون می‌باشد که در شکل ۷ سمت چپ نشان داده شده است. تحلیل این ستون با روش تحلیل استاتیکی جامع (Static general) انجام شده و بارگذاری از طریق اختصاص ۲۰ میلی متر جابجایی با استفاده از دامنه (ramp) انجام شده است.



شکل۷ : شرایط مرزی و نحوه بارگذاری به ستون در محیط نرم افزار.

برای المان بندی پارت‌ها برای بتن و آرماتور مارپیچ و آرماتورهای طولی از المان هشت گره‌ای شش وجهی خطی (C3D8R) استفاده شده است. خاموت‌های مستطیلی با المان خرپایی دو گره‌ای (T3D2) المان بندی شدند. . همچنین تحلیل‌های زیادی به منظور همگرایی مش بر روی مدل برای بدست آمدن بهترین اندازه مش انجام شد تا علاوه بر همگرایی نتایج، زمان تحلیل نیز کوتاهترین باشد.

نمونه‌ای از انجام حساسیت مش برای ۵ نوع ابعاد مختلف مش برای پارت بتن که به علت حجیم بودن ابعاد تاثیر بسیاری بر روی نتایج می‌گذارد، در شکل ۸ نشان داده شده است که در جدول ۲ نیز تعداد المان‌ها، بار نهایی، کرنش مطابق بار نهایی و زمان تحلیل آنها با یکدیگر مقایسه شدند. در نهایت اندازه بهینه المان‌های آرماتورها ۲۰ و برای بتن ۲۵ انتخاب شدند که باعث شد تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی حاصل شود.



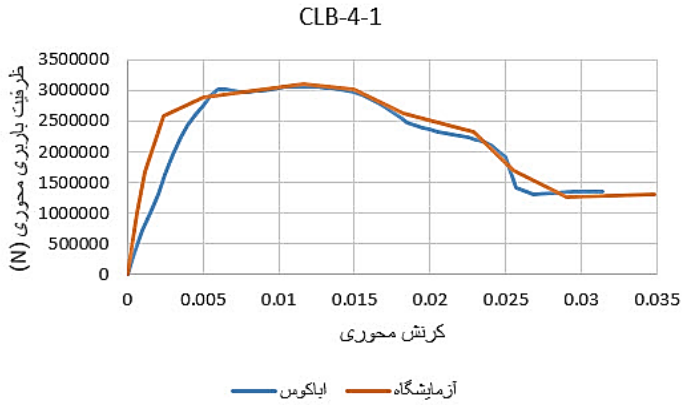
شکل۸ : حساسیت مش برای ۵ نوع ابعاد مختلف مش برای پارت بتن.

جدول۲ : مشخصات مربوط به حساسیت مش برای پارت بتن.

ابعاد انتخابی مش برای پارت بتن	تعداد المان‌ها	بار نهایی ستون (kn)	کرنش مطابق بار نهایی	درصد خطا با نمونه آزمایشگاهی	زمان کامپیوتر (ثانیه)
۱۵ میلیمتر	۱۷۶۲۹	۳۳۲۰	۰،۰۰۸	۷،۱	۶۲۵۰
۲۰ میلیمتر	۷۷۷۴	۳۲۵۰	۰،۰۰۷۴	۴،۸۳	۳۷۸۰
۲۵ میلیمتر	۳۶۰۰	۳۱۷۰	۰،۰۱۱	۲،۲۵	۱۷۴۰
۳۰ میلیمتر	۱۸۵۶	۳۳۸۰	۰،۰۱۰۷	۹،۰۳	۱۳۶۰
۳۵ میلیمتر	۱۲۲۵	۳۴۴۰	۰،۰۱۲	۱۰،۹۶	۹۴۷

اطلاعات کامپیوتر مورد استفاده برای انجام تحلیل = CPU: Intel Core i7-4720K CPU @ 3.6 GHz; RAM: 8 GB of DDR3.

نتایج حاصل به صورت منحنی نیرو-کرنش محوری در شکل ۹ برای هردو حالت تحلیلی و آزمایشگاهی نشان داده شده است. انطباق این دو منحنی گواه توانایی مدل انتخاب شده و روش اجزا محدود در برآورد مناسب رفتار نمونه می‌باشد. همچنین در جدول ۳ اطلاعات مختلف نمونه مدلسازی در کنار اطلاعات آزمایشگاهی نشان داده شده است که اختلاف کمی که مشاهده می‌شود ناشی از نواقص موجود در نمونه آزمایشگاهی، اختلاف در مقاومت اسمی و رفتار مصالح در عمل و یا ایده‌آل در نظر گرفتن شرایط در محیط نرم افزار می-باشد.



شکل۹ : صحت سنجی بین نتایج نمونه آزمایشگاهی و مدل نرم افزار اجزا محدود.

جدول۳ : مقایسه بین داده‌های آزمایشگاهی و مدلسازی نمونه صحت سنجی شده.

column	P_c(kn) Exp.	P_c(kn) Num.	Error %	ε_{cc} Exp.	ε_{cc} Num.	Error %	ε_u Exp.	ε_u Num.	Error %	$P_{0.02}$ (kn) Exp.	$P_{0.02}$ (kn) Num.	Error %	$P_{0.03}$ (kn) Exp.	$P_{0.03}$ (kn) Num.	Error %
CLB-4-1	3100	3170	2.25	0.0112	0.0113	0.7	0.0176	0.0179	1.6	2465	2438	-1.1	1310	1339	2.21

۴- پیکربندی جدیدی از آرماتورگذاری

آرماتورگذاری ستون‌های مرسوم و معمولی بتن مسلح مستطیلی از میلگردهای طولی، خاموت‌های مستطیلی و تنگ‌های بسته نیز در زمانی‌که ستون در معرض برش شدید قرار گرفته باشد، تشکیل شده است. مشخص شده است که چنین پیکربندی، نه توسط آرماتورهای طولی و نه توسط خاموت مستطیلی محصورشدگی مناسبی برای بتن ایجاد نمی‌کنندو ایجاد نشدن محصورشدگی مناسب برای بتن در چنین ستون‌هایی باعث کاهش شکل پذیری آنها نسبت به سایر روش‌هایی که به منظور محصورشدگی به کار می‌روند، شده است که در نهایت جذب انرژی پایینی را دارند.

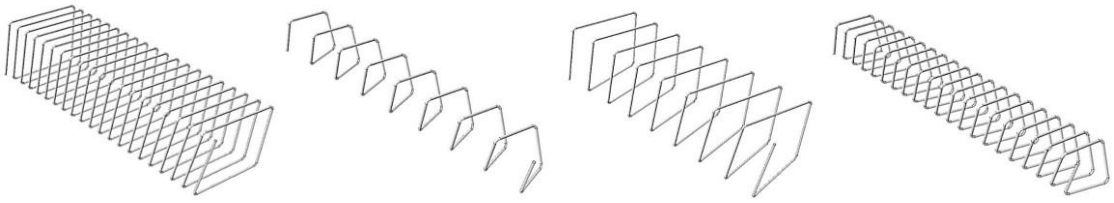
با مشخص شدن عملکرد مناسب و مزیت استفاده از چنین پیکربندی‌هایی در ستون تحت بار فشاری محوری، ایده‌ی جدیدی با محوریت استفاده از آرماتور مارپیچ در تحقیق حاضر ارائه شد. و آن استفاده از آرماتور مارپیچ مستطیلی به همراه خاموت‌های به هم پیوسته در پیکربندی آرماتورگذاری ستون های بتن مسلح مستطیلی می‌باشد. در واقع تغییر شاکله آرماتورگذاری ستون و استفاده از آرماتور مارپیچ یکی از بهترین روش‌های ایجاد محصورشدگی برای بتن می‌باشد که باعث افزایش ظرفیت باربری و شکل پذیری می‌شود. در ستون‌های دایره‌ای بتن مسلح به خودی خود از آرماتور مارپیچ دایره‌ای به عنوان آرماتورگذاری عرضی و نقش خاموت استفاده می‌شود، بنابراین شکل آرماتورگذاری با شکل مقطع ستون هم خوانی دارد. در سال‌های اخیر نیز استفاده از آرماتور مارپیچ دایره‌ای در ستون بتن مسلح مستطیلی استفاده شده است که در این تحقیق آخرین تیپ ارائه شده آن معرفی و صحت سنجی شد. تا کنون از آرماتور مارپیچ هم شکل ستون بتنی مستطیلی استفاده نشده است. در این تیپ تنها از دورپیچ‌های مستطیلی درون پیکربندی ستون استفاده شده است، بدین صورت که در آن هیچگونه آرماتور طولی و خاموت مستطیلی وجود ندارد.

چنین پیکربندی نه تنها اینکه عملکرد شبیه به تیپ های قبلی استفاده از آرماتور مارپیچ دایره‌ای دارد و حتی در بعضی موارد بهتر از آنها نیز عمل می‌کند. قطعا هر ایده‌ای که ارائه می‌شود دارای مزیت‌هایی می‌باشد. یکی از مزیت‌های این طرح ساده شدن ساخت و ساز ستون می‌باشد، بدین صورت که تنها نیاز به ساختن چند آرماتور مارپیچ مستطیلی دارد که به راحتی با دستگاه های پیشرفته امروزی ساخته می‌شوند و به آسانی به محل حمل شده و سر هم می‌شوند. دیگر مزیت آن صرفه اقتصادی می‌باشد چرا که نه تنها در زمان ساخت

ستون صرفه جویی می‌شود بلکه با حذف آرماتورهای طولی و خاموت‌های مستطیلی، وزنمیلگردهای به کار رفته نیز نزدیک به طرح آزمایشگاهی می‌باشد. جزییات نمونه‌های مدلسازی شده در ادامه توضیح داده شده است.

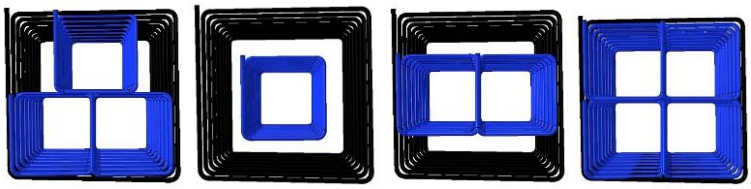
۴-۱- مشخصات طرح

همانطور که گفته شد ایده نوآورانه استفاده از آرماتور مارپیچ مستطیلی درون ستون بتن مسلح مستطیلی، تنها از آرماتور مارپیچ مستطیلی تشکیل شده است. در آرماتورگذاری این نوع ستون هیچگونه میلگرد طولی و خاموت مستطیلی به کار نرفته است. به جای خاموت‌های مستطیلی که وظیفه آنها احاطه کردن میلگردهای طولی به منظور جلوگیری از کمانش آنها می‌باشد، از خاموت‌های به هم پیوسته استفاده شده است که در این تحقیق با نام مارپیچ محیطی نام گذاری شد. نام آرماتورهای مارپیچی هم که در بین مارپیچ محیطی و مرکز ستون قرار می‌گیرند و نقش آرماتورهای طولی را دارند ، مارپیچ داخلی انتخاب شد. در کل ۱۶ مدل از ایده نوآورانه با ترکیب آرماتورهای مارپیچ مستطیلی ساخته شدند. ابعاد مارپیچ محیطی هم اندازه خاموت‌های مستطیلی نمونه‌های آزمایشگاهی صحت سنجی شده با ابعاد ۲۱۰*۲۱۰ میلی متر در محیط نرم افزار ساخته شدند همچنین ابعاد مارپیچ‌های داخلی به شکل مربع و به ضلع‌های ۱۰۰ میلی متر تهیه شدند. قطر هردو مارپیچ استفاده شده یکسان و برابر ۶ میلی متر می‌باشد ارتفاع آنها نیز هم اندازه مارپیچ‌های طرح قبلی در نظر گرفته شد. با توجه به مطالعات پارامتریک بر روی طرح‌های قبلی آرماتور مارپیچ و مشخص شدن تاثیر بسیار مهم گام مارپیچ بر روی بهبود عملکرد ستون، دو گام ۱۰۰ و ۴۰ میلی متر نیز برای مارپیچ‌های مستطیلی در نظر گرفته شد. نمایی از مارپیچ‌های ساخته شده و بکار برده شده در ایده جدید در شکل ۱۰ نشان داده شده است که توسط نرم افزار SOLIDWORK ساخته و به محیط آباکوس ایمپورت شدند. برای رسیدن به نتایج مطلوب و حتی عملکرد بهتر نسبت به نمونه‌های طرح آزمایشگاهی، تعداد مارپیچ‌های داخلی در هسته بتن از ۱ تا ۴ عدد در نظر گرفته شده است. نمونه‌های ساخته شده به ۴ گروه تقسیم شدند. در گروه اول گام هردو آرماتور مارپیچ محیطی و داخلی یکسان و برابر ۱۰۰ میلی متر انتخاب شد. گروه دوم گام آرماتور مارپیچ محیطی کمتر و برابر ۴۰ میلی متر و گام مارپیچ داخلی همان ۱۰۰ میلی متر در نظر گرفته شد. گروه سوم برعکس گروه دوم ساخته شدند، بدین صورت که گام آرماتورهای مارپیچ داخلی ۴۰ میلی متر و مارپیچ محیطی ۱۰۰ میلی متر انتخاب شد و درگروه آخر یعنی گروه چهارم گام هردو مارپیچ استفاده شده در طرح نوآورانه برابر ۴۰ میلی متر در نظر گرفته شدند. مقطع استفاده از ۱ تا ۴ عدد آرماتور مارپیچ داخلی درون پیکربندی ایده جدید در شکل ۱۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱۰ : آرماتورهای مارپیچ مستطیلی به کار برده شده در آرماتورگذاری ستون.

شرایطی از قبیل ابعاد مقطع و ارتفاع ستون و جنس مصالح به کار رفته در مدل‌های ایده جدید همانند نمونه‌های صحت سنجی شده آزمایشگاهی در نظر گرفته شد، به این صورت که بتن به کار رفته با مقاومت ۵۰ مگاپاسکال و با همان شرایط یکسان مدل آسیب-خمیری در نظرگرفته شد. جنس مارپیچ‌های محیطی همسان با خاموت‌های مستطیلی با مقاومت تسلیم ۳۴۴ مگاپاسکال و مارپیچ‌های داخلی همسان با آرماتورهای مارپیچ دایره‌ای با مقاومت ۱۱۹۷ مگاپاسکال درنظر گرفته شدند. اعمال بار و شرایط مرزی نیز مانند نمونه‌های تطابق یافته با نتایج آزمایشگاهی، انجام گرفت. بدین صورت که اعمال بار به سر ستون به روش کنترل جابجایی و شرایط مرزی به صورت بستن پایین ستون در تمام جهات و سر ستون فقط در جهت اعمال بار آزادانه حرکت کند، در نظر گرفته شد. مش بندی نیز یکسان در نظر گرفته شد. برای مقطع بتنی ستون و آرماتورهای مارپیچ محیطی و داخلی از المان هشت گره‌ای شش وجهی خطی (C3D8R) استفاده شد که اندازه مش بندی به ترتیب ۲۵ و ۲۰ در نظر گرفته شد. جزییات مدل‌های ایده جدید در جدول ۴ نشان داده شده است.



شکل۱۱ : مقطع طرح‌های استفاده از آرماتور مارپیچ مستطیلی.

جدول۴ : جزییات نمونه‌های دارای آرماتور مارپیچ مستطیلی.

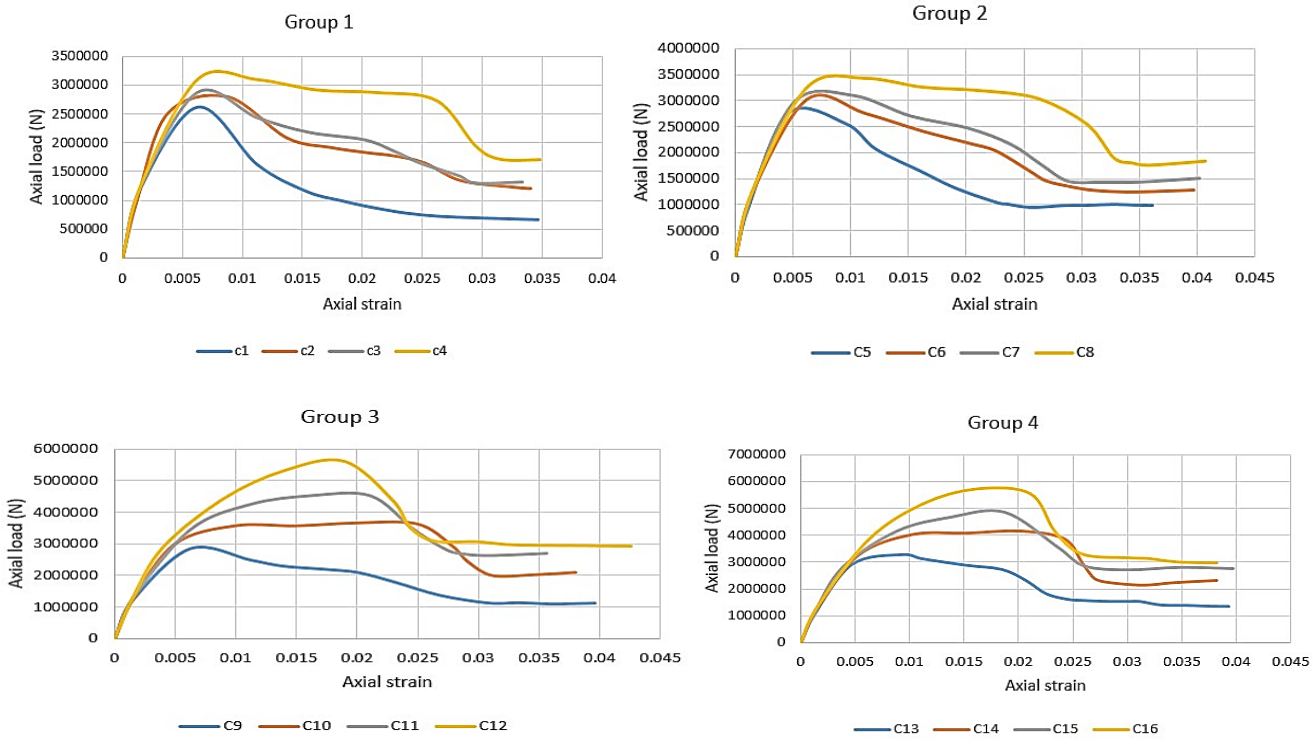
دسته بندی	نام ستون	گام مارپیچ محیطی میلی متر	گام مارپیچ داخلی میلی متر	تعداد مارپیچ داخلی
Group 1 C1-C4	C1	۱۰۰	۱۰۰	۱
	C2	۱۰۰	۱۰۰	۲
	C3	۱۰۰	۱۰۰	۳
	C4	۱۰۰	۱۰۰	٤
Group 2 C5-C8	C5	٤۰	۱۰۰	۱
	C6	٤۰	۱۰۰	۲
	C7	٤۰	۱۰۰	۳
	C8	٤۰	۱۰۰	٤
Group 3 C9-C12	C9	۱۰۰	٤۰	۱
	C10	۱۰۰	٤۰	۲
	C11	۱۰۰	٤۰	۳
	C12	۱۰۰	٤۰	٤
Group 4 C13-C16	C13	٤۰	٤۰	۱
	C14	٤۰	٤۰	۲
	C15	٤۰	٤۰	۳
	C16	٤۰	٤۰	٤

۴-۲- بحث در نتایج ایده‌ی جدید

در نهایت بعد از معرفی ایده نوآورانه استفاده از آرماتور مارپیچ مستطیلی در ستون بتن مسلح مستطیلی و ارائه جزییات ساخت مدل‌ها، نمودار بار – کرنش محوری نمونه‌ها از نرم افزار المان محدود استخراج شده است که در شکل ۱۲ به صورت جداگانه برای هر گروه قابل مشاهده می‌باشد.

مواردی از قبیل مقایسه با نمونه‌های طرح آزمایشگاهی از نظر ظرفیت باربری و شکل پذیری، اثر گام‌های متفاوت مارپیچ‌های داخلی و محیطی و اثر تعداد مارپیچ داخلی بر روی عملکرد ستون مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۵ خلاصه‌ای از نتایج تحلیل این ایده جدید را نشان می‌دهد. در این جدول، pc بار نهایی نمونه‌های ایده جدید، εcc کرنش محوری مطابق بار نهایی می‌باشد.

مقاومت باقیمانده ستون‌های بتن مسلح پس از زلزله، فاکتور مهمی است که بر روی نشست طبقات بالایی ستون و بازسازی ساختمان اثر می‌گذارد. میزان مقاومت باقیمانده نمونه‌ها را بر حسب کرنش‌های مختلفی می‌توان از روی نمودار بار – کرنش محوری آنها محاسبه کرد. مقاومت باقیمانده مطابق با کرنش ۲٪ (p0.02) برای تمام نمونه‌ها محاسبه شد که به غیر از ستون‌های C1، C2 و C5 که مقدار آرماتور مارپیچ آنها نسبت به بقیه کمتر بود، بقیه نمونه‌ها مقاومت بالای ۷۰٪ را بدست آوردند.



شکل۱۲: منحنی‌های بار – کرنش محوری نمونه‌های دارای آرماتور مارپیچ مستطیلی.

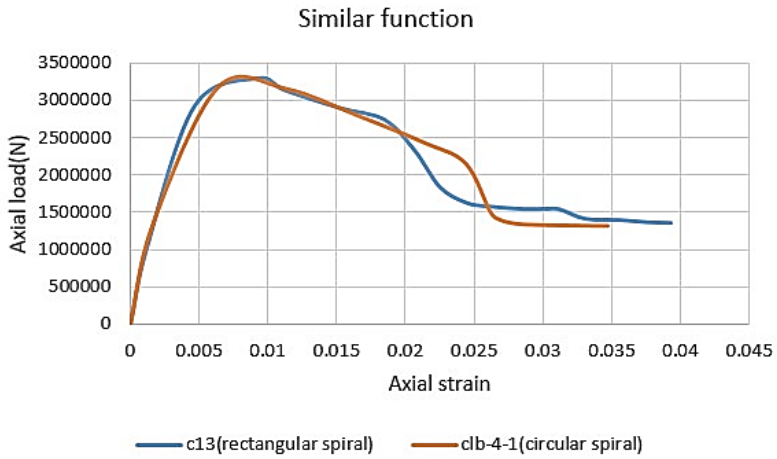
جدول۵ : نتایج ایده استفاده از آرماتور مارپیچ مستطیلی.

نمونه	p_c (kn)	ε_{cc}	$p_{0.02}$ (kn)
C1	2620	0.00623	**916**
C2	2810	0.00869	**1843**
C3	2870	0.00623	**2053**
C4	3100	0.01120	**2883**
C5	2770	0.00460	**1246**
C6	3030	0.00623	**2196**
C7	3100	0.01087	**2481**
C8	3420	0.01122	**3198**
C9	2850	0.00623	**2100**
C10	3650	0.01993	**3600**
C11	4540	0.01616	**4500**
C12	5610	0.01890	**5278**
C13	3130	0.01122	**2455**
C14	4160	0.01521	**4150**
C15	4840	0.01874	**4509**
C16	5710	0.01617	**5576**

۴-۳- مقایسه با طرح‌های پیشین

۴-۳-۱- عملکرد معادل نسبت به نمونه‌های دارای آرماتور مارپیچ دایره‌ای

همانطور که گفته شد ارائه ایده استفاده از مارپیچ‌های مستطیلی نسبت به تمامی طرح های قبلی استفاده از آرماتور مارپیچ دایره-ای ساخت و سازآسان تری دارد و از لحاظ عملکردی نیز باید نتایج مشابه و یا حتی بهتری از خود نشان بدهد. در این بخش سعی بر آن شده است که مزیت‌های ذکر شده نشان داده شود و از میان ۱۶ مدل ساخته شده، مدلی با عملکرد مشابه با یکی از نمونه‌های دارای آرماتور مارپیچ دایره‌ای بدست آید. از میان نمونه‌های آزمایشگاهی طرح استفاده از آرماتور مارپیچ دایره‌ای، مدل کالیبره شده CLB-4-1که در شکل ۶ مقطع آن نشان داده شد به عنوان نمونه مبنا برای مقایسه با ایده نوآورانه انتخاب شد. دلیل این امر این بود که علاوه بر وجه شباهت‌هایی که بین دو نمونه در نظر گرفته شد و قبلا توضیح داده شد، قطر آرماتورهای مارپیچ دایره‌ای و ابعاد مارپیچ‌های مربعی داخلی یکسان و برابر ۱۰۰ میلی متر می‌باشد. از میان ۱۶ مدل ساخته شده، ستون C13 عملکرد مشابه نمونه CLB-4-1 رادارد. همانطور که منحنی بار-کرنش محوری هردو مدل در شکل ۱۳ نشان داده شده است، بار نهایی و روند منحنی هردو یکسان می‌باشد با این تفاوت که ساخت ستون بتن مسلح با آرماتورهای مارپیچ مستطیلی ساده تر شده است و تنها از یک آرماتور مارپیچ محیطی و یک آرماتور مارپیچ داخلی تشکیل شده است. همچنین وزن آرماتورهای به‌کار رفته در هردو مدل نیز در جدول ۶ آمده است که ستون ایده جدید مقدار آرماتور بیشتری را دارد که این تفاوت اندک می‌باشد و نمونه‌های جدید در ۱ متر طول تقریبا ۶۰۰ گرم سنگین تر می‌باشد.



شکل۱۳ : عملکرد مشابه ستون دارای آرماتور مارپیچ مستطیلی نسبت به ستون دارای آرماتور مارپیچ دایره‌ای.

وزن واحد طول میلگرد

طول به کار رفته

جدول۶ : مقایسه وزن بین نمونه دارای مارپیچ مستطیلی با نمونه ی دارای مارپیچ دایره‌ای.

CLB-4-1(circular spiral)	تعداد	C13(rectangular spiral)
Rebar = 0.22 * 0.9 * 4 = 0.8 kg		Peripheral rec.spiral = 0.22 * 17 = 3.74 kg
Stirrup = 0.22 * 0.84 * 8 = 1.5 kg		Internal rec.spiral = 0.22 * 8 = 1.76 kg
Circular spiral = 0.1 * 6.33 * 4 = 2.53 kg		
Total = 4.84 kg		Total = 5.5 kg

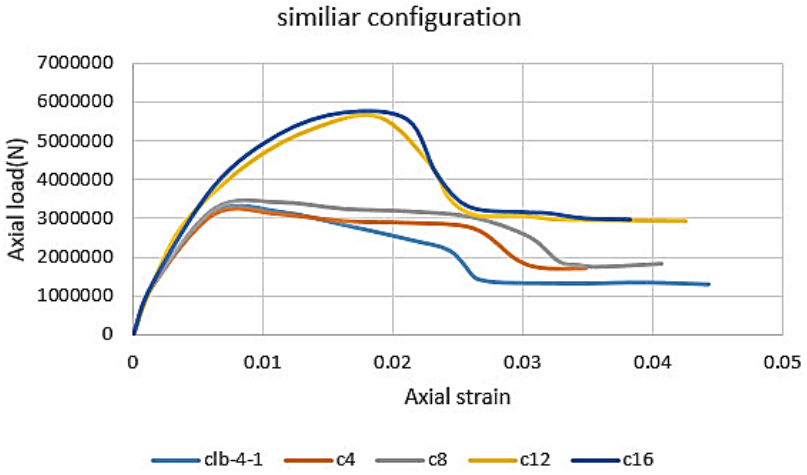
۴-۳-۲- پیکربندی معادل نسبت به نمونه‌های دارای آرماتور مارپیچ دایره‌ای

در بخش قبل ستون C13 که به عنوان عملکرد مشابه نسبت به نمونه دارای آرماتور مارپیچ دایره‌ای CLB-4-1 معرفی شد، تنها از یک عدد آرماتور مارپیچ داخلی تشکیل شده بود در صورتی‌که نمونه دارای آرماتور مارپیچ دایره‌ای، علاوه بر خاموت‌های مستطیلی و میلگردهای طولی از ۴ عدد مارپیچ دایره‌ای تشکیل شده است. بنابراین در این بخش برخی از نمونه‌های ایده نوآورانه که در ان از ۴ عدد مارپیچ داخلی تشکیل شده است به عنوان پیکربندی معادل با نمونه CLB-4-1 در نظر گرفته شد و به بررسی و مقایسه رفتار آنها پرداخته شده است. ظرفیت باربری (P_c) و کرنش مطابق بار نهایی (ε_{cc}) نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت که در جدول ۷ این نتایج نشان داده شده است. P_0 به عنوان بار نمونه CLB-4-1 با مقدار ۳۱۰۰ کیلو نیوتن و همچنین ε_{c0} به عنوان کرنش مطابق بار پیک به میزان ۰،۰۱۱ به عنوان ستون مبنا در نظر گرفته شده است. افزایش ظرفیت باربری تا ۸۴٪ و کرنش مطابق بار نهایی تا ۷۱٪، نشان دهنده عملکرد بسیار مناسب در ظرفیت باربری و شکل پذیری بسیار خوب این نمونه‌های ایده نوآورانه با پیکربندی معادل در مقایسه با نمونه طرح‌های استفاده از آرماتور مارپیچ دایره‌ای می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان اینگونه بیان کرد که: قسمت‌های محصور شده بتن توسط آرماتورهای مارپیچ مستطیلی و خاموت‌های مستطیلی به هم پیوسته ایجاد می‌شوند، بدین صورت که هریک از این قسمت‌های منفرد درون این پیکربندی با یکدیگر ترکیب شده و همکاری آنها باعث تشکیل یک پیکربندی بسیار موثر در ایجاد کردن محصور شدگی برای بتن درون ستون می‌شود. بتن درون هریک از آرماتورهای مارپیچ به شدت محصورشدگی جانبی دریافت می‌کنند که باعث بالا رفتن شکل پذیری آن می‌شود. درواقع هریک از

این آرماتورهای مارپیچ و بتن درون آنها همانند یک ستون عمل می‌کنند. اما خاموت‌های مستطیلی دو عملکرد را ایفا می‌کنند، از یک طرف با محاصره کردن آرماتورهای مارپیچ، با یکپارچه کردن و متحد کردن آنها باعث می‌شوند که بتن درون آرماتورهای مارپیچ علاوه بر محصورشدگی که توسط مارپیچ‌ها دریافت می‌کنند، از وجود خاموت‌ها نیز بهره به برند و تنش جانبی محصورشدگی دریافت کنند. از طرف دیگر خاموت‌های مستطیلی نقش مهمی در محصور کردن بتن هسته (بتن خارج از درون آرماتورهای مارپیچ اما بین خاموت‌های مستطیلی) ستون ایفا می‌کنند. همانطور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، ستون C12 نسبت به ستون C8 جهش ناگهانی در افزایش ظرفیت باربری دارد که تفاوت نمونه‌ها در کمتر شدن گام مارپیچ‌های محیطی می‌باشد و بیانگر نقش مهم پارامتر گام در این نوع از ستون‌ها است.

جدول۷ : مقایسه نمونه‌های دارای پیکربندی معادل از ایده نوآورانه با نمونه دارای مارپیچ دایره‌ای.

نمونه	p_c (kn)	P_c/P_0	ε_{cc}	$\varepsilon_{cc}/\varepsilon_{c0}$
C4	3100	1	0.01120	1.18
C8	3420	1.10	0.01122	1.2
C12	5610	1.8	0.01890	1.71
C16	5710	1.84	0.01617	1.47



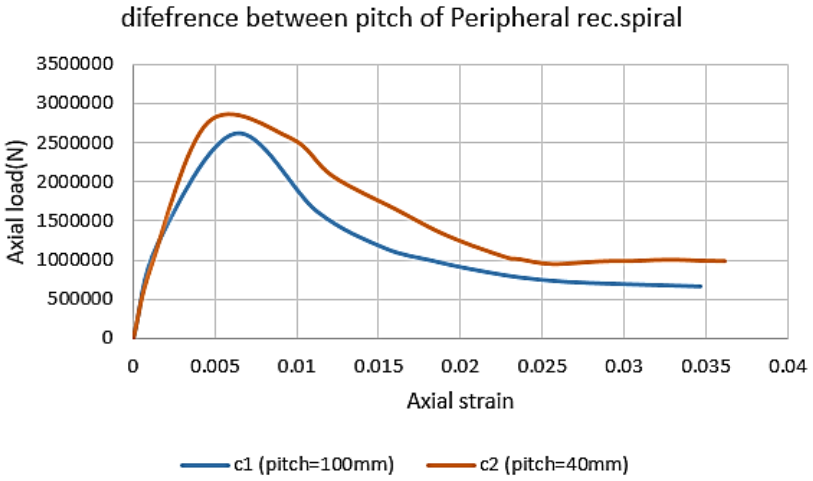
شکل۱۴ : پیکربندی مشابه ستون دارای آرماتور مارپیچ مستطیلی نسبت به ستون دارای آرماتور مارپیچ دایره‌ای.

۴-۴-اثر گام‌های متفاوت

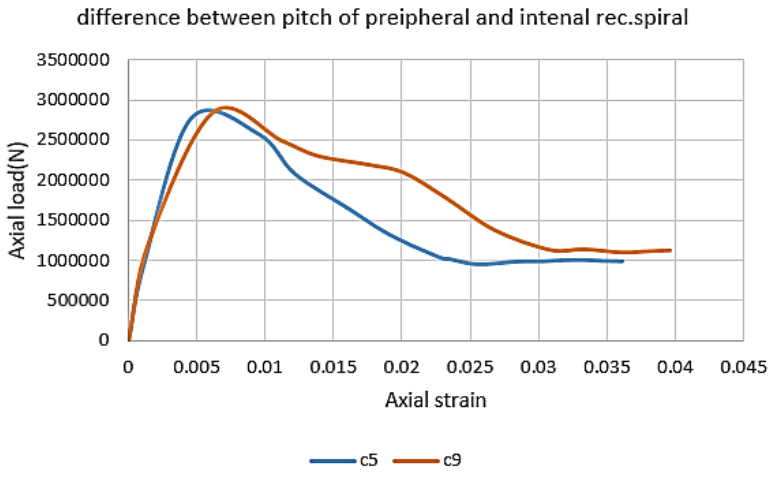
در گروه بندی نمونه‌ها از ترکیب متفاوت گام ۱۰۰ و ۴۰ میلی متر برای مارپیچ‌های محیطی و داخلی استفاده شده است که نتایج متفاوتی نیز بدست آمده است. یکی دیگر از مزایای استفاده از مارپیچ مستطیلی در آرماتورگذاری ستون، در تفاوت گام مارپیچ‌های محیطی خود را نشان می‌دهد. این قضیه در طرح آرماتورهای مارپیچ دایره‌ای در مقاله [۱۰] به شکل دیگری است، بدین صورت که طبق مشاهدات و گفته نویسندگان برای دو نمونه کاملا یکسان که تنها تفاوت آنها فاصله‌ی بین خاموت‌های مستطیلی می‌باشد که برای یک نمونه ۲۰۰ و

دیگری ۱۰۰ میلی متر می‌باشد. کمتر شدن فاصله خاموت‌ها تاثیری بر روی رفتار این تیپ از ستون‌ها نداشته و تنها مقدار اندکی باعث بهتر شده ظرفیت باربری می‌شود. اما در ایده نوآورانه در استفاده از آرماتورهای مارپیچ محیطی به جای خاموت‌های مستطیلی، کمتر شدن گام از ۱۰۰ به ۴۰ میلی متر باعث بهتر شدن رفتار ستون می‌شود. این امر برای ستون‌های C1 و C5که تنها تفاوت بین آنها در گام متفاوت مارپیچ محیطی است، در شکل ۱۵ قابل مشاهده می‌باشد که ظرفیت باربری و سطح زیر منحنی افزایش یافته است که باعث جذب انرژی بیشتری نیز می‌شود.

نکته دگری که قابل اهمیت می‌باشد تاثیر بیشتر محصور کردن هسته بتن می‌باشد. بدین صورت که با کمتر کردن گام مارپیچ داخلی نسبت به کمتر شدن مارپیچ محیطی، رفتار و عملکرد ستون بهتر می‌شود. این نکته در شکل ۱۶ نشان داده شده است. برای نمونه ی C5 گام مارپیچ محیطی کمتر از مارپیچ داخلی می‌باشد و برای ستون C9 این قضیه برعکس می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود رفتار ستون C9 که در آن هسته بتن بیشتر محصورشدگی دریافت کرده است، بهتر می‌باشد که ظرفیت باربری آن ۲۸۵۰ کیلو نیوتن نسبت به ۲۷۷۰ کیلو نیوتن برای ستون C5 می‌باشد همچنین سطح زیر منحنی آن نیز بیشتر است.



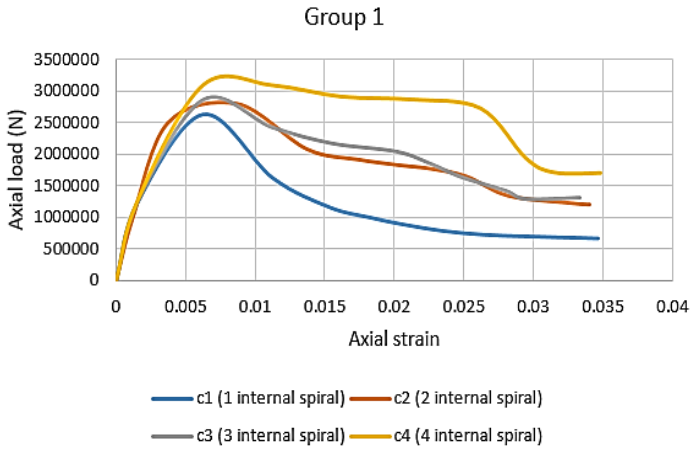
شکل۱۵ : تاثیر تفاوت گام در مارپیچ محیطی بر روی رفتار ستون.



شکل۱۶ :مقایسه عملکرد ستون بین محصور شدن بتن محیطی و بتن هسته.

۴-۵-اثر تعداد مارپیچ داخلی

در هر گروه از ایده نوآورانه استفاده از آرماتور مارپیچ مستطیلی درون ستون، علاوه بر قرار گرفتن یک عدد مارپیچ محیطی در نقش خاموت‌های مستطیلی، از ۱ تا ۴ عدد مارپیچ داخلی استفاده شده است. در هر گروه با افزایش تعداد مارپیچ‌های داخلی باعث افزایش ظرفیت باربری، شکل پذیری و سطح زیر منحنی می‌شود. به عنوان نمونه، منحنی‌های بار – کرنش محوری گروه ۱ در شکل ۱۷ نشان داده شده است. بطوری‌که ظرفیت باربری برای ستون C4 با ۴ عدد مارپیچ داخلی برابر ۳۱۰۰ کیلو نیوتن نسبت به ۲۶۲۰ کیلو نیوتن برای ستون C1 با یک عدد مارپیچ داخلی، افزایش ۱۸٪ داشته است. گروه‌های بعدی نیز با افزایش تعداد مارپیچ داخلی همین روند را دنبال می‌کنند. دلیل این امر را می‌توان در محصورشدگی بیشتر بتن دانست. بدین صورت که افزایش تعداد مارپیچ داخلی باعث ایجاد محصورشدگی بالا برای بتن هسته می‌شود و از آنجایی که محصورشدگی بتن هسته نقش مهمی در تحمل ظرفیت باربری دارد، نتیجه آن افزایش ظرفیت باربری و شکل پذیری ستون را دنبال دارد. البته برای نمونه‌هایی که از ۲ و ۳ عدد مارپیچ داخلی استفاده شده است، رفتار نزدیک و مشابه به هم را دارند.



شکل۱۷ : تاثیر تعداد مارپیچ داخلی بر رفتار ستون.

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق ۱۶ مدل جدید ستون بتن مسلح با ترکیب آرماتورهای مارپیچ مستطیلی و خاموت‌های به هم پیوسته ارائه شدند. ایده‌ی جدیدی که علاوه بر ساده تر شدن ساخت و ساز ستون‌ها، صرفه جویی اقتصادی، باعث بهبود عملکرد ستون نظیر افزایش ظرفیت باربری و شکل پذیری نیز می‌شود. با بررسی نمودار بار-کرنش محوری نمونه‌ها نتایج زیر حاصل شدند:

– از میان ۱۶ مدل ساخته شده، ستون C_{13} عملکرد مشابه نمونه CLB-4-1 (از نمونه‌های آزمایشگاهی کالیبره شده که در آن از آرماتور مارپیچ دایره‌ای استفاده شده است.) دارد. منحنی بار-کرنش محوری هردو مدل با یکدیگر مقایسه گردید، بار نهایی و روند عملکردی هردو یکسان می‌باشد با این تفاوت که ساخت ستون بتن مسلح با آرماتورهای مارپیچ مستطیلی ساده تر شده است و تنها از یک آرماتور مارپیچ محیطی (خاموت به هم پیوسته) و یک آرماتور مارپیچ داخلی تشکیل شده است.

– از نمونه‌های ایده نوآورانه که در آن از ۴ عدد مارپیچ داخلی تشکیل شده است به عنوان پیکربندی معادل با نمونه CLB-4-1 در نظر گرفته شد و به بررسی و مقایسه رفتار آنها پرداخته شد. افزایش ظرفیت باربری تا ۸۴٪ و کرنش مطابق بار نهایی تا ۷۱٪، نشان دهنده عملکرد بسیار مناسب در ظرفیت باربری و شکل پذیری بسیار خوب این نمونه‌های ایده نوآورانه با پیکربندی معادل در مقایسه با نمونه طرح‌های استفاده از آرماتور مارپیچ دایره‌ای می‌باشد.

– کمتر شدن فاصله خاموت‌های مستطیلی تاثیری بر روی رفتار این تیپ از ستون‌های دارای آرماتور مارپیچ دایره‌ای نداشته و تنها مقدار اندکی باعث بهتر شده ظرفیت باربری می‌شود. اما در ایده نوآورانه در استفاده از آرماتورهای مارپیچ محیطی به جای خاموت‌های مستطیلی، کمتر شدن گام از ۱۰۰ به ۴۰ میلی‌متر باعث بهتر شدن رفتار ستون می‌شود. ظرفیت باربری و سطح زیر منحنی افزایش یافته است که باعث جذب انرژی بیشتری نیز می‌شود.

– با افزایش تعداد مارپیچ‌های داخلی باعث افزایش ظرفیت باربری، شکل پذیری و سطح زیر منحنی می‌شود. بطوری‌که ظرفیت باربری برای ستون C_4 با ۴ عدد مارپیچ داخلی برابر ۳۱۰۰ کیلو نیوتن نسبت به ۲۶۲۰ کیلو نیوتن برای ستون C_1 با یک عدد مارپیچ داخلی، افزایش ۱۸٪ داشته است.

در تحقیق حاضر از روش شبیه سازی توسط نرم افزار اجزا محدود برای معرفی ایده‌ی جدید استفاده شد که برای تایید نتایج نیاز به انجام تحقیقات آزمایشگاهی بسیاری می‌باشد. همچنین پیشنهاداتی در زمینه بررسی این تیپ از پیکربندی با در نظر گرفتن اثر لاغری و یا تحت ترکیب بارگذاری‌های محوری و لرزه‌ای داده می‌شود.

مراجع

[1] Tanaka H, Park R. (1992) Strength and ductility of reinforced concrete columns with interlocking spirals. *Earthquake Engineering, Tenth World Conference*, Balkema, Rotterdam. p. 4371–76.

[2] Kim JK, Park CK. (1999). The behavior of concrete columns with interlocking spirals. *Eng Struct*, 945–53.

[3] Correal JF, Saiidi MS, Sanders D, El-Azazy S. (2007) Analytical evaluation of bridge columns with double interlocking spirals. *ACI Struct J*, 104(3):314–23.

[4] Li Q, Belarbi A. (2011). Seismic behavior of RC columns with interlocking spirals under combined loadings including torsion. The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. *Procedia Eng*, 14:1281–91.

[5] Ou YC, Ngo SH, Roh H et al. (2015) Seismic performance of concrete columns with innovative seven-and eleven-spiral reinforcement. *ACI Structural Journal* 112(5): 579–591.

[6] Yin S. (2004). Researches and developments of alternative confinements for rectangular concrete columns (I). *China Civ Eng J*, 37(8):1–11 [in Chinese].

[7] Yin S. (2004). Researches and developments of alternative confinements for rectangular concrete columns (II). *China Civ Eng J*, 37(10):1–12 [in Chinese].

[8] Weng C-C, Yin Y-L, Wang J-C, Shi T-H, Lu C-R. (2010) Axial and cyclic loading tests on the seismic performance of precast SRC columns confined with star spiral. *Process Steel Build Struct*, 12(1):1–9.

[9] Wu T-L, Ou Y-C, Yin SY-L, Wang J-C, Wang P-H, Ngo S-H. (2013) Behavior of oblong and rectangular bridge columns with conventional tie and multi-spiral transverse reinforcement under combined axial and flexural loads. *J Chin Instit Eng*, 36(8):980–93.

[10] D.H. Jing, T. Yu, X.D. Liu, (2016) New configuration of transverse reinforcement for improved seismic resistance of rectangular RC columns: Concept and axial compressive behavior, *Eng Struct*, 111:383–393.

[11] Yizhu Li, Denghu Jing, Shuangyin Cao. (2017) Axial compressive behavior of RC columns with high strength MTS transverse reinforcement. *Magazine of Concrete Research* http://dx.doi.org/10.1680/jmacr.16.00328.

[12] Karayannis CG, Sirkelis GM. (2005). Response of columns and joints with spiral shearreinforcement. *WIT Trans Modell Simul*. 41:455–63.

[13] Chalioris CE, Karayannis CG. (2013). Experimental investigation of RC beams withrectangular spiral reinforcement in torsion. *Eng Struct*. 56:286–97.

[14] Tae-Sung Eom, Su-Min Kang, Hong-Gun Park, Tae-Woo Choi, Jong-Min Jin. (2014). Cyclic loading test for reinforced concrete columns with continuousrectangular and polygonal hoops. *Engineering Structures* 67: 39–49.

[15] Nasim Shatarat, Hasan Katkhuda, Mu'tasim Abdel-Jaber, Maha Alqam. (2016). Experimental investigation of reinforced concrete beams with spiralreinforcement in shear. *Construction and Building Materials* 125:585–594.

[16] Mojtaba Labibzadeh, Mohammad Dadak. (2018). Determining of Load Bearing Capacity of Rectangular Concrete Columns Reinforced with Longitudinal Spirals Using FEM and ANN Methods. *Jsce*. (DOI): 10.22065/JSCE.2018.101469.1351