مدل سازی ستون بتنی استوانه ای مسلح شده با میلگرد ها و دورپیچ های الیاف پلیمری شیشه ای(GFRP)

مهدی دژانگاه[۱] ، حمید اسکندری نداف[۲*]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه پردیس دانشگاه حکیم سبزواری
[۲] استادیار دانشکده فنی و مهندسی گروه عمران، دانشگاه حکیم سبزواری
[1] Eng.dezhangah@gmail.com
[2*] Hamidiisc@yahoo.com

کد موضوع مقاله: B

چکیده:

در چند دهه اخیر ، استفاده از میلگردهای پلیمری فشرده شده (FRP) به عنوان آرماتور اصلی و یا دورپیچ نمودن ستون‌های بتنی با مواد مرکب، برای ترمیم سازه‌ها، از جمله بخش های اصلی می باشد، رفتار اینگونه مواد کامپوزیتی بخصوص در تقویت ستون ها به طور کامل شناخته نشده است. و همچنین پاسخ ستونهای با مقاطع استوانه ای تحت اثر بارهای واقعی توسط استانداردهای معتبر به طور مشخصی مورد بررسی قرار نگرفته‌است.

در این تحقیق ضمن ارائه و بررسی نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های ستون های استوانه ای تقویت شده با پلیمرهای مسلح به الیاف شیشه‌ای، موسوم به کامپوزیت (GFRP) که در پژوهشهای قبلی توسط محققین انجام گرفته‌است، سپس به آنالیز ستون‌های بتنی مسلح کوچک مقیاس تقویت‌شده با میلگردهای (GFRP) و دورپیچ‌ها، تحت بار محوری متمرکز پرداخته می‌شود. در آنالیز به روش المان محدود از نرم افزار ABAQUSE استفاده شده و با کنترل صحت نتایج آزمایشگاهی، به مدل سازی و بررسی و مقایسه عملکرد مدل پیشنهاد شده پرداخته و همچنین در این پژوهش به منظور ارزیابی دقت مدل های تجربی ستون‌های محصور شده با میلگرد های FRP این مدل‌ها را با نتایج مدل پیشنهاد شده المان محدود مقایسه شده‌است.

نتایج نشان می‌دهد که ستون‌های استوانه ای تقویت شده با میلگرد های FRP رفتاری مشابه با ستون‌های فلزی دارند و همچنین استفاده از اینگونه میلگردها در سازه‌های بتنی می‌تواند موجب حفظ مقاومت تسلیم بتن پس از متلاشی شدن سازه بتنی نیز باشد، یعنی سازه بتنی ترک خورده می‌تواند، مقداری مقاومت فشاری را تحمل نماید، که این مورد در حالاتی که باری بیش از مقدار حدی بر پل ها وارد شود می تواند عملکرد بالایی از خود در مقابل تسلیم تیر ها نشان دهد، که میزان این مقاومت بستگی به جنس و فواصل میلگرد های اصلی و دورپیچ ها FRP از هم دارد.

واژگان کلیدی: ستون های بتنی استوانه ای، روش المان محدود، مقاوم سازی، میلگرد های FRP، دورپیچ

.

[۱] نویسنده ارائه دهنده در همایش

Finite Element Model of Circular Concrete Column Reinforced with GFRP bars and stirrups

Mehdi Dezhangah; Hamid Eskandari [2*]

[1] M.Tech. Student of Structural Engineering, pardis of Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran
[*2] Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

[1] Eng.dezhangah@gmail.com
[2] Hamidiisc@yahoo.com
09155246728
Subject Code: A

Abstract

In the past decade the use of FRP bars as the main reinforcement and or stirrups of concrete columns with composite materials, for repair of structures,. Only four corner sections have been obtained under axial compressive force and the response of a circular cross section columns under realistic loads by specified standards have not been the certain instance discussion.

in This study presents and investigate the results of laboratory cylindrical columns reinforced with carbon and glass fiber reinforced polymers specimens, called composite (GFRP) In previous studies conducted by researchers, so the analysis of columns reinforced scale small with bars CFRP and GFRP and stirrups, this specimens have been conducted to under concentric axial load.

The finite element method of analysis be used to software ABAQUSE and by controlling the accuracy of laboratory results, we have covered To evaluate and compare the performance of the proposed model and also in this paper, to reason evaluate the accuracy of experimental models the columns confined with FRP bars, these models are compared with the results have been proposed of finite element models.

Based on the findings of experimental investigation, the GFRP RC columns behaved similar to the columns reinforced with steel and It was found that, GFRP bars were effective in resisting compression until after crushing of concrete, in other words the cracked concrete structure can to withstand of quantitative the compression strength, the amount of this the strength to depends of GFRP material and distances from there the main bar and stirrups.

Keywords: Circular concrete columns, Finite element method, Retrofitting, FRP bars, stirrups

۱. مقدمه

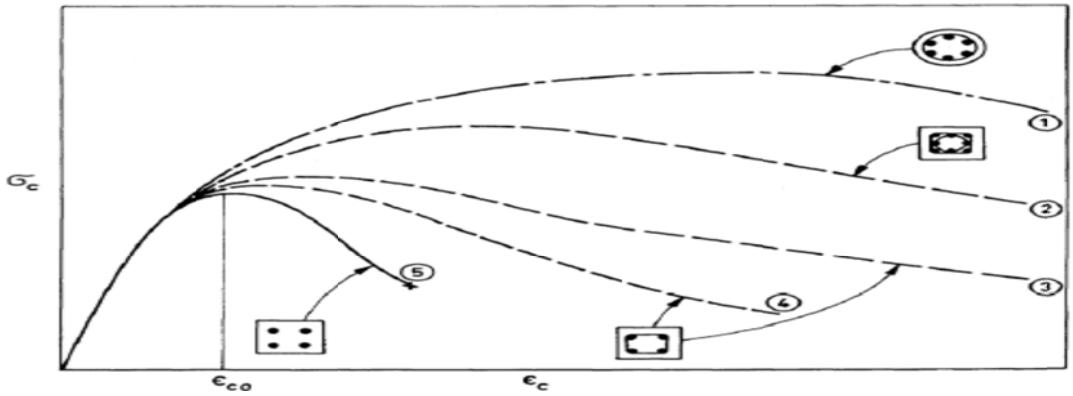
در سال های اخیر ، یکی از مباحث قابل بحث در زمینه سازه های بتنی که از حساسیت قابل قبولی در سازه ها بهره برده است، تقویت سازه ها و همچنین افزایش عمر سازه ها در برابر بارهای سنگین احتمالی بوده است، در همین باره می توان بیان نمود ستون های تقویت شده بتنی با مقطع استوانه ای نقش حائز اهمیتی در باربری سازه ها از خود نشان میدهند که اغلب اینگونه ازسازه ها را برای ایجاد پایه ی پل ها، اسکله ها و یا سازه های دریایی و همچنین در بخش هایی از سازه که به علت محدودیت های معماری که در هنگام اجرای پروژه ممکن است با آن روبرو شویم می توانیم از ستون های دایروی استفاده نماییم، علت اینکه سعی بر تقویت و تعمیر اینگونه از ستون ها می پردازیم این است که اینگونه از سازه ها از مقاومت فشاری بالایی برخوردار می باشند و بع عنوان یکی از اجزای بحرانی در سازه ها معرفی می شوند به صورتی که با متلاشی شدن یکی از این اعضا ممکن است تمام سازه دچار گسیختگی شود [۱]، به همین دلیل از دیر باز برای تقویت ستون ها از میلگرد های طولی و خاموت فولادی معمولی استفاده شده که فرسایش و خوردگی فولاد داخل بتن توسط عوامل شیمیایی مخرب واقع در محیط به یک مشکل اساسی منجر شده است که بر سر راه اجرا کنندگان قرار گرفته است که این عامل باعث کاهش عمر مفید خدمت رسانی سازه ها و همچنین منجر به شکست های ترد در بسیاری از سازه های بتنی می شود [۲]. امروزه با ظهور الیاف FRP به عنوان میلگرد تقویتی برای سازه های بتنی [۳] این میلگرد های FRP پیشنهاد شده مزیت های بسیار بهتری از نمونه فولاد معمولی را دارد، اگرچه میلگرد های FRP برای استفاده در مسیر هایی که نیاز به تقویت سازه در کشش و خمش می باشد از ویژگی های بسیاری بهره می برند اما بعضی از این خصوصیات را به عنوان تعریفی از برای استفاده در اعضای فشاری می توان معرفی کرد که براساس تحقیقاتی که ریزکالا[۳]و همکارانش، [۴]و همچنین، بنموکران[۴] انجام داده اند[۵]، می توان به چگالی ۱/۴ تا ۱/۵ برابر فولاد ، مقاومت کششی بسیار بالای فولاد و مقاوم در برابر فرسایش حتی در محیط های با خورندگی بالا اشاره نمود.

در سالهای اخیر، بیشتر رفتار برشی و خمشی اعضای تقویت شده با FRP مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است، با این حال تعریف خاصی برای تعیین رفتار فشاری ستون های تقویت شده با FRP معرفی نشده است و از طرف دیگر، نه تنها در پیشنهادی به منظور استفاده از میلگرد های FRP برای تقویتی های طولی و دورپیچ نشده بود بلکه تصمیم گیری در این زمینه را نیازمند تحقیقات آینده می دانستند، که[۳]، مشخص نمود که در آزمایش فشاری میلگرد های FRP به طور معمول حالت[microbuckling] که در فیبر ها ایجاد می شود ناشی از مواد ناهمگن و آن ایزوتروپی است که در FRP می باشد و همچنین حالت شکست و مقاومت فشاری میلگرد های FRP به نوع فیبر و رزین، مقدار فیبر، و نسبت طول به قطر میلگرد[۴]، بستگی دارد. به طور کلی تحقیقات گذشته نشان می دهد که مقاومت و مدول میلگرد های FRP در حالت فشاری بسیار کمتر است از کشش می باشد [۵]، از این رو مقاومت فشاری عضو در حالت استفاده از GFRP تقریبا می توان بیان نمود که ۵۵٪ مقاومت کششی گزارش شده است در همین باره تحقیقاتی در زمینه بررسی رفتار فشاری میلگرد های GFRP در ستون های استوانه ای در سه حالت و با قطر های متفاوت صورت پذیرفته است(۲۵,۴ , ۱۹,۱ و ۱۵,۹) که تمامی این اقطار به صورت میلی متر اندازه گیری می شود که توسط مطالعات به عمل آمده کشش بررسی ها حاکی از آن دارد که مقاومت فشاری میلگرد GFRP تقریبا ۷۷٪ مقاومت کششی میلگرد ها می باشد[۶].نتایج بدست آمده از تست کشش (Afifi) که با مورد آزمایش قرار دادن ۴۵ نمونه بدست آمده است حاکی از آن دارد که مقاومت کششی میلگرد ها ۴۰٪-۳۰٪ مقاومت فشاری آنها می باشد.

براساس مطالعات گذشته می توان بیان نمود که رفتار فشاری ستون بتنی تقویت شده با میلگردGFRP تقریبا شبیه به فولاد می باشد فقط با این تفاوت که میلگرد FRP سهم کمتری از ظرفیت مقاومت[۷،۸]، را در بر خواهد گرفت.نتایج نشان می دهد با صرفنظر کردن از نوع میلگرد با جایگزینی میلگرد فولادی با میلگرد GFRP ظرفیت فشاری ستون های استوانه ای را تا 13% کاهش می یابد و همچنین به طور مشابه دورپیچ فولادی به میزان 10% نسبت به دورپیچ GFRP ظرفیت فشاری ستون را کاهش خواهد داد، با این

[3] Rizkala
[4] Benmokrane

وجود شرما[5] و همکارانش تقویت فشاری اینگونه از ستون ها را با سه نسبت تقویت(نسبت میلگرد تقویتی در ستون استوانه ای)، $0.723,1.08,1.45$ می باشد که این نکته را باید مدنظر قرار داد که برای حداقل نسبت تقویت برای ستون های استوانه ای 0.6 می باشد، در این میان تحقیقات مشابه ای برای تقویت خمشی[۹]، با نسبت های گوناگونی را مورد بررسی قرار داده اند.(شکل ۱)



شکل ۱. نمودار تنش و کرنش مقاطع مختلف بتنی و با اشکال متفاوت براساس نظریه Saatcioglu and Razavi

هدف از تحقیق حاضر، انجام مقایسه و ارزیابی سیستماتیک بر روی عملکرد فشاری ستون های استوانه ای بتنی تقویت شده با میلگرد های GFRP می باشد.برای رسیدن به این مهم در ابتدا مدل های موجود در محصور شدگی میلگرد های FRP را مرور کرده و سپس نتایج بدست آمده از آزمایشات در این زمینه را با مدل پیشنهادی بیان شده مقایسه و ارزیابی نموده ایم.

۲. رفتار و فرضیات مورد نیاز برای مدل سازی اجزای محدود

رابطه تجربی ساده ای برای پیش بینی پیشرفت مقاومت فشاری بتن محصور شده در ستون های استوانه ای تقویت شده با میلگرد های طولی و عرضی وجود دارد، بر همین اساس مدل پیشنهادی که با سطح محصور شدگی یکنواخت دچار فشار های مختلفی می شود وابسته به نوع و محل قرار گیری میلگرد های طولی و عرضی در منطقه محصور شدگی بتن می باشد که در همین رابطه فرضیاتی به منظور توسعه این مدل بیان می شود که به صورت زیر می باشد:

I. تمام دور پیچ های عرضی در ارتفاع عضو در شزایط طولی یکسانی می باشد.
II. کرنش های جانبی بتن به مقدار دورپیچ های موجود در رتفاع عضو وابسته می باشد.
III. چسبندگی کامل بین بتن و میلگرد GFRP و دورپیچ ها در مقابل گسیختگی اعضای فشاری بسیار عملکرد بالایی از خود نشان می دهد.
IV. تنش در تقویت های عرضی هرگز از مقدار $0.004E_f$ نباید تجاوز نماید. (که در اینجا E_f، مدول الاستیسیته تقویت عرضی GFRP می باشد.

در همین رابطه معادله ای بر پایه اعمال بار فشاری توسط ساتکیوگلو[6] و همکارانش[2]، معرفی شده است که در این معادله با اعمال فرضیات وپارامتر های بیان شده در قسمت بالا می توان مقاومت فشاری نمونه را مورد بررسی قرار داد.

$$f'_{cc} = f'_{co} + 6.7[f_l]^{0.83} \qquad Saatcioglu\ and\ Razvi\ \ 1992 \qquad (1)$$

که در ادامه نتایج بدست آمده از این روش را در قالب نمودار با روش های معرفی شده مورد بررسی قرار می دهیم.

[5] Sherma
[6] Saatcioglu

۲,۱. نحوه استفاده از میلگرد های GFRP در ستون

چگونگی استفاده از میلگرد های GFRP به دلیل ویژگی های منحصر به فردی که در برخورد با شرایط مختلف از خود نشان می دهند بسیار حائز اهمیت می باشد.در تقویت اینگونه از سازه ها با میلگرد های GFRP باید سعی شود که حتی الامکان فاصله ۲۵ میلی متر را در اطراف ستون به عنوان کاور را رعایت نماییم، در همین رابطه بهتر است که میلگرد های طولی و دورپیچ ها را در محلی مناسب با سیم های فولادی به هم متصل نموده و سپس آنها را در غالب ستون استوانه ای که از قبل آماده نموده ایم قرار داده و همچنین بوسیله زایده هایی میزان حداقل پوشش را رعایت نماییم ئ پس از آن می توان عملیات بتن ریزی را انجام دهیم، باید به این نکته توجه نمود که میلگرد های عرضی باید به صورت دورپیچ در اطراف میلگرد های طولی نصب گردد.

۳. پارامتر های موثر در مدل سازی اجزای محدود

برای مدل سازی ستون استوانه ای در این قسمت از نرم افزار ABAQUS بهره گرفته و مدل بتن پیشنهادی به صورت پلاستیسیته آسیب دیده می باشد.این مدل قابلیت تحلیل رفتار بتن تحت بارگذاری فشاری تک محوره را دارا بوده و برا ی انواع بارگذاری های محوری و یکنواخت با توجه به عوامل تاثیر گذار در روند اعمال و تحلیل بار بر سازه برای تعیین مدل پیشنهادی بسیار مناسب است.در این مدل سازی، مدل رفتاری میلگرد های GFRP، به عنوان یک ماده الاستیک خطی تا گسیختگی کامل فرض شده است.در مدل سازی بخش بتنی مدل بررسی شده از نوع جسم جامد، و همچنین میلگرد های GFRP، از نوع سیمی و به شکل پنهان شده در المان بتن در نظر گرفته شده است و جهت مش بندی بخش بتنی از المان سه بعدی، و برای آرماتور های طولی و دورپیچ های GFRP، از المان خرپایی T3D2، استفاده شده است.

جدول ۱. ویژگی های مکانیکی مصالح مورد استفاده

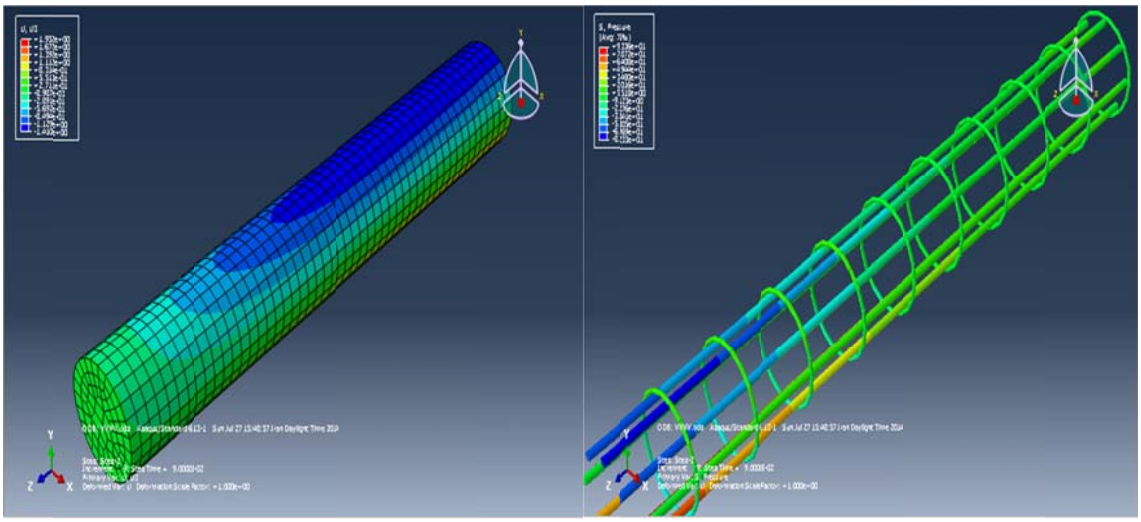
مواد	پارامتر	مقدار
بتن	مدول الاستیسیته	$\mathbf{18000\ [N/mm^2]}$
	ضریب پواسون	0.183
	چگالی	$\mathbf{2.4 \times 10^{-6}\ [\frac{kg}{mm^3}]}$
میلگرد GFRP	مدول الاستیسیته	44.8 [G pa]
	ضریب پواسون	0.245
	کرنش نهایی	1.78 [%]

۴. بررسی نتایج مدل سازی

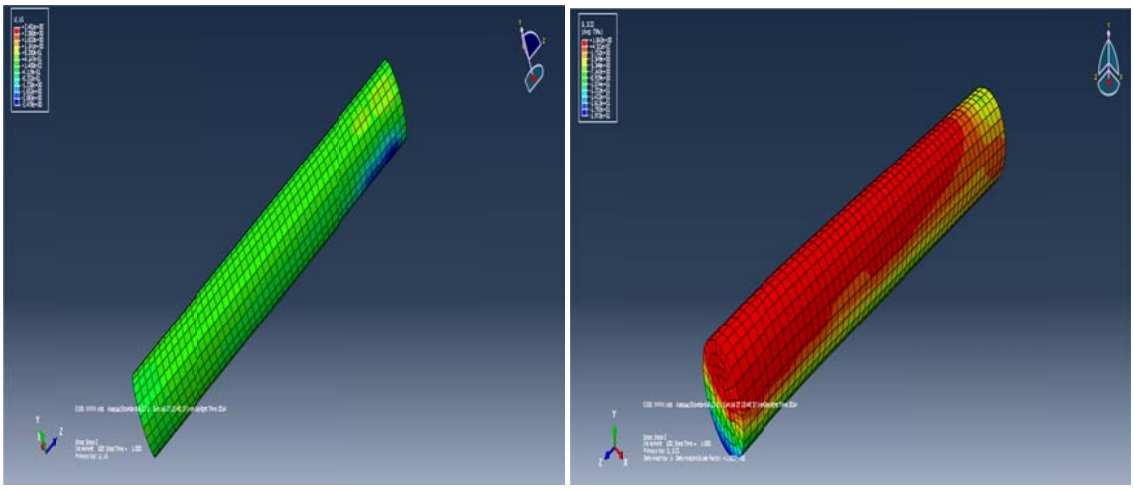
در این قسمت به منظور بررسی نتایج مدل عددی، توسط نرم افزار ABAQUS به مدل سازی یک مدل آزمایشگاهی از ستون استوانه ای تقویت شده با میلگرد ها و دورپیچ های GFRP که توسط Mohammad Z .Afifi و همکاران[۱]، با استفاده از آنالیز استاتیکی غیر خطی، صورت پذیرفته است. بر این اساس، نمونه آزمایشگاهی مذکور یک ستون استوانه ای شکل که به قطر ۱۵۰ و ارتفاع ۲۰۰۰، می باشد، که این ستون همچنین تحت اثر بار یکنواخت و به صورت قائم بر روی سطح بالای ستون قرار گرفته است.که سمت دیگر ستون تکیه گاهی که به صورت گیر دار می باشد، قرار داده ایم. تحلیل مدل مذکور بمنظور بدست آوردن نمودار بار-جابجایی، تنش-کرنش محوری و تنش-کرنش پلاستیک، ستون جهت تطبیق با نتایج آزمایشگاهی انجام پذیرفته است(شکل ۳،۲، ۴)، با این تفاوت که به دلایلی همچون اینکه پایه ستون آزمایشگاهی به صورت تمام گیر دار نبوده که در مدل مذکور این پایه به صورت گیر دار کامل عمل می نماید و همچنین در واقعیت به دلیل هندسه شکل فاصله بین میلگرد ها و همچنین کاور بین آنها به صورت

صحیح جایگذاری نشده است و همچنین در مدل معرفی شده میلگرد به صورت کامل در بتن مدفون شده و اتصال بین بتن و میلگرد به صورت سر تاسر بوده است.

در شکل ۱، مدل تغییر شکل سه بعدی ستون را در راستای بار فشاری اعمالی را نشان می دهد همانطور که مشاهده می شود تغییر شکل در قسمت های میانی نمونه بیشتر ، خواهد بود، که این خود منجر به تخریب سازه از این نواحی خواهد شد. در ستون های تقویت شده با GFRP گسیختگی ستون در نواحی دورپیچ ها ظاهر شده است[۲]، که این عمل خود در محل تقاطع میلگرد طولی و دورپیچ بسیار مشهود می باشد، در این محدوده شکست های به وجود آمده در اثر کمانش میلگرد های طولی و شکست دورپیچ به وجود می آید،که در (شکل ۲،۵) صحت این موارد را می توان مشاهده نمود در این مدل ها تمرکز تنش های فراوان را در جهت اعمال بار در مناطق میانی بیان می نماید اما در مدل سایر جهات اعمال بار هیچگونه تمرکز تنشی دیده نمی شود.



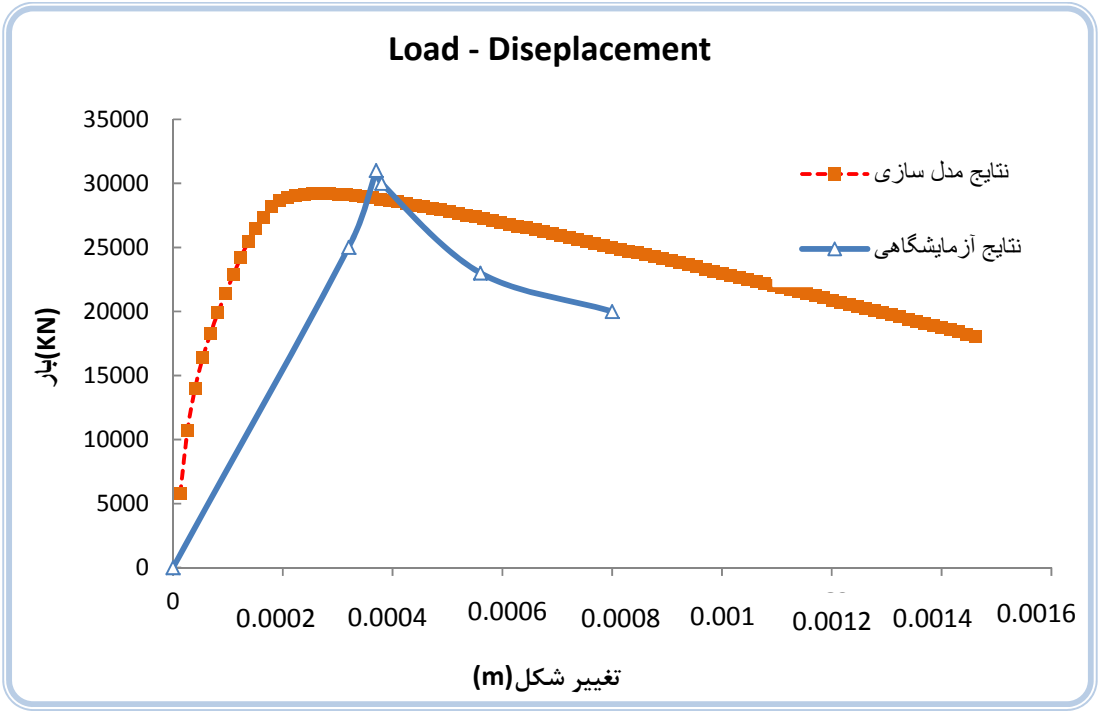
شکل ۱. مدل اجزای محدود تغییر شکل ستون استوانه ای تقویت شده با میلگرد و دورپیچ GFRP



شکل ۲. مدل سمت راست بررسی تنش در راستای اعمال بار، مدل سمت چپ بررسی تنش عمود بر راستای اعمال بار

۵ . مقایسه و ارزیابی مدل های موجود

همانطور که از نمودارهای بار-تغییر شکل (شکل ۲)، آشکار است که با اعمال بار فشاری محوری به عضو بتنی باعث افزایش نقطه تسلیم ومقاومت نهایی آن گردیده است، اما این افزایش مقاومت نهایی عضو تنها تا میزان مشخصی صورت گرفته است و پس از آن با افزایش تغییر شکل کاهش مقادیر بار را شاهد هستیم.این در حالی است که برای تمامی مدل های انجام شده مقاومت نهایی و تسلیم سازه همواره در حال افزایش بوده است، بنابراین بکارگیری روش تقویت ستون استوانه ای با میلگرد و دورپیچ GFRP بمنظور تحمل بار فشاری محوری اعمال شده بر سازه بسیار موثر می باشد، با مقایسه نمودار با-جابجایی سازه مشخص است که تحت نیروی فشاری اعمالی و به دلیل دارا بودن این میلگرد ها به مقاومت کششی بالا عملکرد خوبی در ابتدا بارگذاری از نمونه شاهد هستیم(شکل ۲).

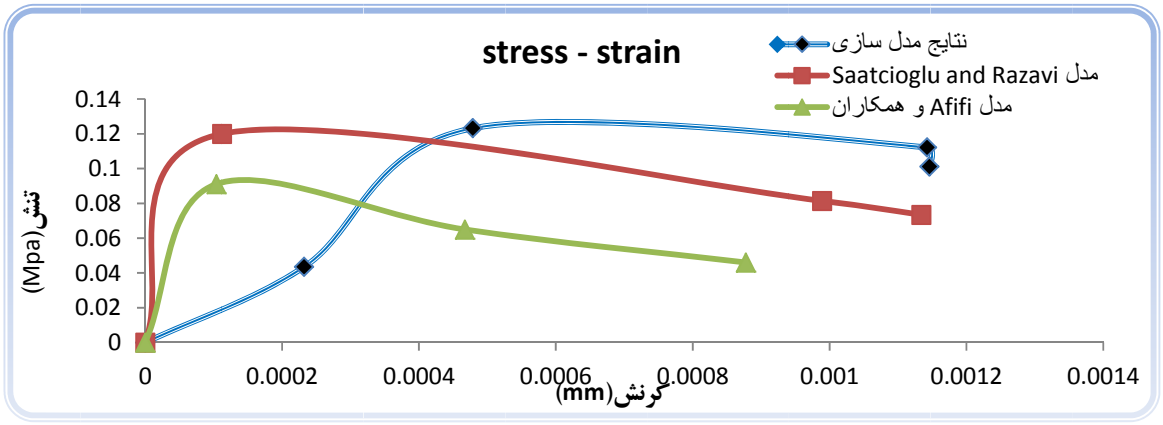


شکل۳. مقایسه نمودارهای بار-جابجایی حاصل از مدل آزمایشگاهی Mohammad Z Afifi و مدل اجزا محدود

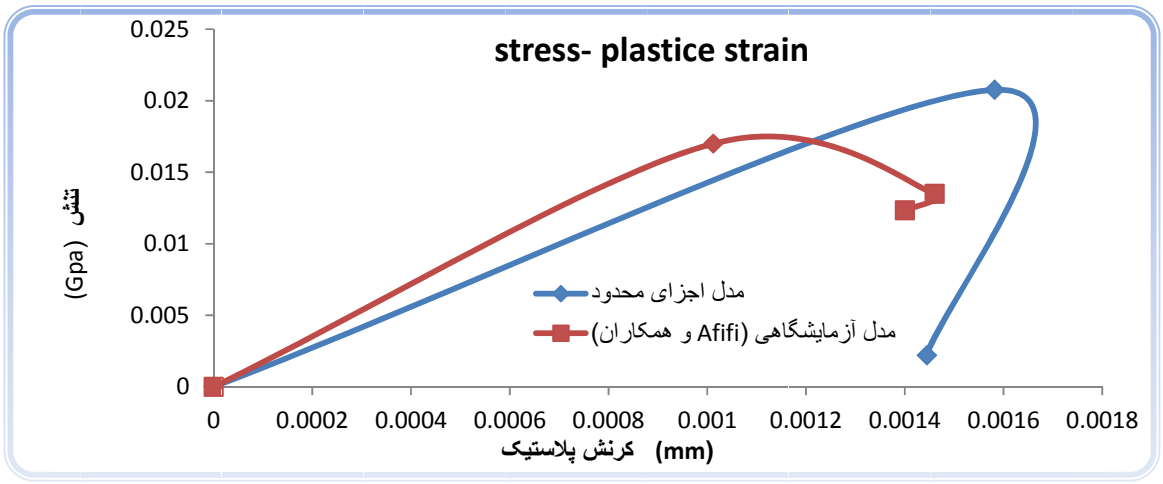
همچنین با مراجعه به نمودار های تنش-کرنش سازه می توان نتیجه گرفت که اعمال بار فشاری بر سازه تا حدی باعث بالا رفتن تنش وارده بر سازه شده و از آن به بعد در جهت کاهش محدوده تنش های وارده بر سازه تاثیر بسزایی از خود در مقابل بار های فشاری سنگین در تحمل کمانش در عمود بر راستای اعمال بار از خود نشان می دهد(شکل۵) و با افزایش بارگذاری محوری کاهش چشمگیری در تنش فشاری آنها مشاهده می شود(شکل۳، ۴، ۵). بعلاوه، شکل پذیری سازه تقویت شده بدلیل مقاومت کششی بالای میلگرد های GFRP در اثر اعمال بار فشاری در حال افزایش بوده است اما بمانند سایر مدل ها با افزایش مقاومت فشاری شاهد کاهش تدریجی تغییر شکل هستیم و همچنین نتایج بدست آمده از مدل ها نشان دهنده عملکرد تقریبا یکسان مدل ها در حین اعمال بار بر سازه و همچنین بار های فشاری محوری و جلوگیری از تغییر شکل های غیر متعارف برسازه خبر می دهد(جدول ۲).

در همین رابطه می توان بیان نمود که در مدل نشان داده شده در شکل۱ میزان بار اعمالی را تعیین نموده و در مقابل تغییر شکل ایجاد شده در این مدل را بدست آورده ایم که نتایج را در شکل۳ نشان داده ایم و به همین ترتیب براساس شکل۲ میزان تنش و کرنش الاستیک و پلاستیک ایجاد شده در مدل نمودار های آنها هم ترسیم نموده و نتایج را با هم مقایسه پرداخته ایم.

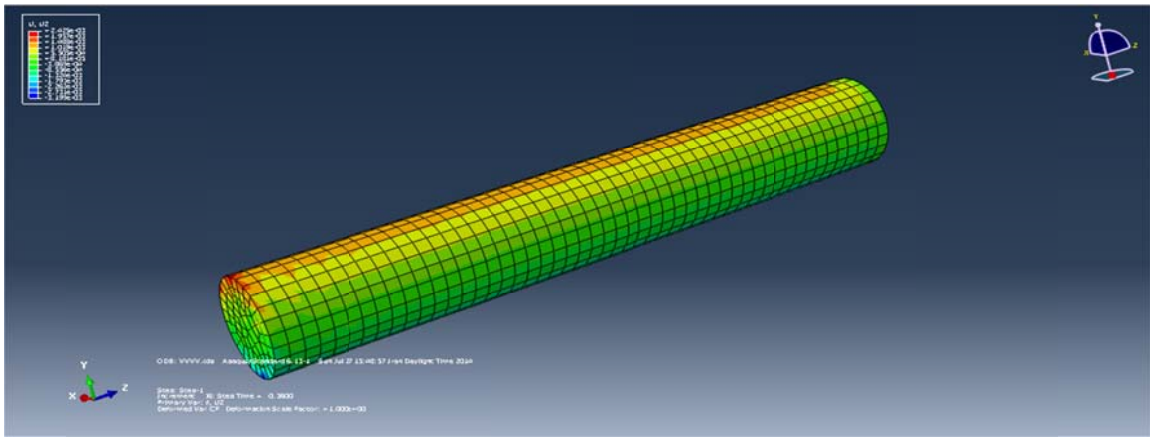
به طور معمول در اکثر نمونه ها ترک ها پس از گسیختگی سازه ظاهر می شود که اصولا ترک ها در این باره زمانی که ۹۵٪-۸۵٪ از بار نهایی بر سازه وارد شود ظاهر می شود.به طور کلی سه نوع حالت گسیختگی بر ستون در هنگام اعمال بار وارد می شود: ۱. در این حالت فقط دورپیچ های ستون گسیخته می شوند(شکل ۱). ۲.در این حالت از خرابی فقط میلگرد های طولی گسیخته می شوند که این عامل به دلیل وجود بار محوری-فشاری ایجاد می شوند(شکل ۲، سمت چپ). ۳.در این حالت از گسیختگی علاوه بر میلگرد های دورپیچ میلگرد های طولی نیز گسیخته می شوند(شکل ۲، سمت راست).



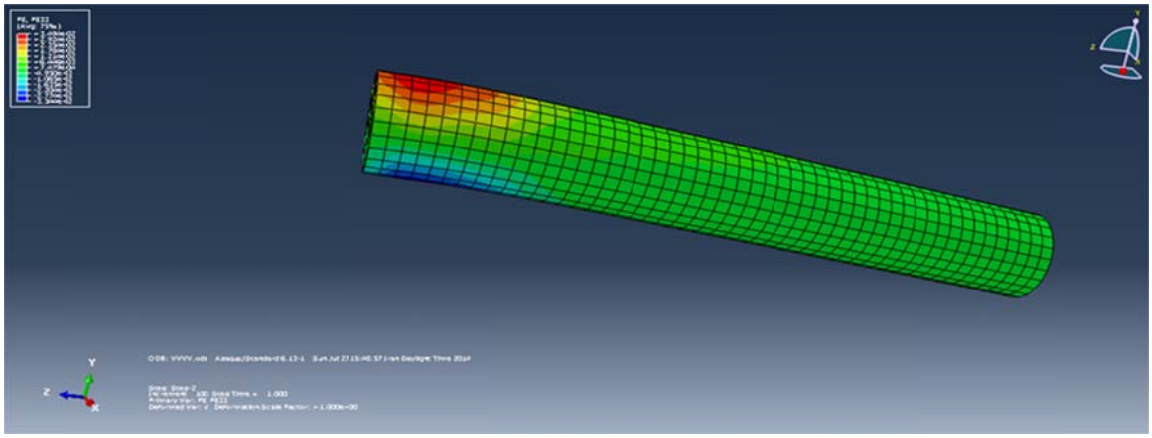
شکل ۴. مقایسه نمودار تنش –کرنش بین مدل اجزای محدود، مدل Razaviو همکاران و مدل Afifi و همکاران



شکل ۵. نمودار تنش- کرنش در حالت پلاستیک ستون استوانه ای



شکل ۶ . تغییر شکل ایجاد شده به صورت عمود بر راستای اعمال بار



شکل۷. مدل اجزای محدود در راستای کرنش اعمالی

پس از مقایسه و بررسی های به عمل آمده در جدول ۲، میزان تقریبا دقیقی از پرامتر های مختلف از جمله ماکزیمم بار اعمالی و در این شرایط مقدار کنش وارد شده بر سازه بدست آمده و نتایج را بیان نموده ایم از این نتایج این چنین بر می آید که تقریبا مقادیر بدست آمده از نمونه مدل شده بمراتب نزدیک به مقادیر نتایج آزمایشگاهی که توسط دو نمونه انجام شده است ، می باشد و همچنین ماکزییمم تغییر شکل در نواحی میانی ستون صورت میگیرد که در این مناطق حداکثر تنش و تغییر شکل ظاهر شده است(شکل۵).

	G8V-3H40	G8V-3H120	مدل Saatcioglu and Razavi	مدل اجزای محدود
$P_{max}(KN)$	۲۹۶۴	۲۸۰۴	-	۲۹۸۳
$\varepsilon(\mu m)$	۲۷۴۰	۲۳۵۸	۱۸۸۵	۲۱۶۷
f'_{cc} (Mpa)	۶۸,۹	۴۸,۲	۳۲,۲۵	۴۳,۳۵
D_{max}	-	-	۱۸۳۴	۱۹۸۸

جدول۲- جزئیات نمونه های آزمایشگاهی و مدل های مختلف

۶. نتیجه گیری

با توجه به مقادیر بدست آمده از نمودار بار-تغییر شکل حاصل از مدل سازی اجزا محدود ستون استوانه ای تقویت شده با میلگرد های GFRP و تحت بارگذاری گسترده و استفاده از تحلیل استاتیکی غیر خطی نتایج زیر قابل ارائه می باشد:

I. تقویت ستون استوانه ای توسط میلگرد های GFRP بخصوص برای سازه هایی که تغییر شکل های فراوانی داشته و همچنین برای ستون هایی که در معرض بار های متناوب که دوره زمانی اعمال بار آن نسبتا بیشتر از سازه های دیگر می باشد و یا ستون هایی که احتمال آسیب دیدگی بر جداره خارجی آن در نواحی میانی ستون بیشتر باشد و نیز در نقاطی که تمرکز تنش کمی را از آن شاهد هستیم بسیار موثر می باشد(شکل۱).

II. تقویت اینگونه از ستون ها با GFRP نسبت به نمونه های فولادی به دلیل مقاومت کششی بالا و همچنین سختی بالایی که اینگونه مصالح از خود نشان می دهند توانایی تغییر شکل سازه بالا رفته و در نتیجه شکل پذیری ستون با روندی تدریجی رو به کاهش می باشد که نتایج نزدیک نمونه آزمایشگاهی و مدل حاکی از ا صحت این موضوع دارد.

III. با توجه به اینکه مقاومت خستگی میلگرد GFRP، نسبت به نمونه فولادی از اختلاف شایانی برخوردار می باشد برای اینگونه از سازه ها که دارای اشکال خاصی می باشد استفاده از اینگونه مصالح در بالا بردن مقاومت نهایی و کاهش تغییر شکل از جایگاه منحصر به فردی برخوردار می باشد.

در این باره رفتار ستون های تقویت شده با GFRP تقریبا بمانند هم بوده فقط با این اختلاف که در سازه ای که دچار تخریب سطحی نیز شده باشد اینگونه از میلگرد ها تا مدت زمان اندکی مانع از متلاشی شدن سازه در لحظه بارگذاری بحرانی شده که این امر نشان دهنده عملکرد بالای ستون در شرایط اعمال بار فشاری می باشد.

۷. مراجع

[1] Afifi, Mohammad Z., Hamdy M. Mohamed, and Brahim Benmokrane. "Axial Capacity of Circular Concrete Columns Reinforced with GFRP Bars and Spirals." Journal of Composites for Construction 18, no.

[2] Afifi, Mohammad Z., Hamdy M. Mohamed, and Brahim Benmokrane. "Strength and Axial Behavior of Circular Concrete Columns Reinforced with CFRP Bars and Spirals." Journal of Composites for Construction 18, no. 2 (2013).

[3]Amarican Concrete Institute (ACI). "Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bar."ACI 440.IR-06,Farmington Hills, (2006).

[4] De Luca, Antonio, Fabio Matta, and Antonio Nanni. "Behavior of Full-Scale Concrete Columns Internally Reinforced with Glass FRP Bars under Pure Axial Load." Proceedings of Composites and Polycon (2009): 15-17.

[5]Chaallal, O., and B. Benmokrane. "Physical and mechanical performance of an innovative glass-fiber-reinforced plastic rod for concrete and grouted anchorages." Canadian Journal of Civil Engineering 20, no. 2 (1993): 254-268.

.[6] Mallick, Pankar K. Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design. CRC press, 1993

[7]Deitz, D. H., I. E. Harik, and H. Gesund. "Physical properties of glass fiber reinforced polymer rebars in compression." Journal of Composites for Construction 7, no. 4 (2003): 363-366.

[8]Lotfy, Ehab M. "Behavior of reinforced concrete short columns with Fiber Reinforced polymers bars." International Journal of Civil and Structural Engineering 1, no. 3 (2010): 545-557.

[9] Attard, T. L., C. M. Abela, and K. Dhiradhamvit. "Seismic FRP retrofit of circular single-column bents using a ductility wrap envelope to alter failure modes." Engineering Structures 33, no. 5 (2011): 1553-1564.

[۱۰] شربتدار، محمد کاظم. عباس زاده، مهدی."مقایسه مدل های پیش بینی رفتار ستون های دایروی بتنی محصور شده با الیاف FRP" چهارمین کنفرانس سالیانه ملی بتن_تهران_۱۵ مهرماه _۱۳۹۱.