

## مقایسه رفتار ستون های بتن آرمه مربع شکل تحت اثر بار محوری، مقاوم سازی شده با FRP و پوشش فولادی

آرش عمید<sup>۱</sup>، اکبر حسنی پور<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

<sup>۲</sup> استادیار دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول

نام و نشانی ایمیل نویسنده مسئول:

آرش عمید

[arash\\_amid@yahoo.com](mailto:arash_amid@yahoo.com)

### چکیده

با توجه به احتمال انهدام در ساختمانهایی که در آنها ضعف مقاومت دیده می شود ضروری است جهت مقاوم سازی لرزه ای، تمهیدات لازم برای افزایش سختی در طراحی اندیشیده شود. به دلیل هزینه بالای انجام مطالعات آزمایشگاهی در این مطالعه قصد بر آن است تا با استفاده از ابزارهای کامپیوتری و استفاده از تحلیل به روش اجزای محدود به بررسی و مقایسه رفتار ستون های تقویت شده با پوشش فولادی و FRP بپردازیم. از مهمترین نتایج مقاله می توان به موارد زیر اشاره داشت، با استفاده از سیستم های مقاوم سازی، مقاومت ستون ها افزایش پیدا کرده است. اما مقایسه بین دو روش در این تحقیق نشان می دهد که پوشش فولادی بهتر از سیستم FRP می باشد. اما این بدان معنا نیست که FRP دارای ضعف است. با توجه به این که جاکت فلزی ضخامتی بیشتر از FRP دارا بوده است، لذا این تفاوت می تواند قابل توجیه باشد. همچنین با توجه به هزینه ها و مقایسه اقتصادی می توان روش مورد نیاز را در صنعت برگزید.

**واژگان کلیدی:** عملکرد لرزه ای، ستون بتن آرمه، انواع FRP

### مقدمه

زلزله یکی از پدیده های مخرب طبیعی است که تنها طی نیمه قرن اخیر خسارات جانی و مالی زیادی را به جا گذاشته است. کشور ایران به عنوان یکی از کشورهای لرزه خیز جهان، طی این دوره دچار خسارات ناشی از این پدیده و عواقب ناشی از آن گردیده است. امکان وقوع زلزله های شدید به دلیل شرایط طبیعی زمین ساختاری ایران از یک طرف و همچنین طراحی و ساخت ساختمان های بتنی زیادی که ضوابط بارگذاری لرزه ای در آنها رعایت نشده است یا به دلیل تغییر این ضوابط، بارهای لرزه ای آنها دست پایین برآورد شده از طرف دیگر، ارزیابی لرزه ای ساختمان های موجود و نیز بهسازی آنها را ضروری می سازد [۱]. امروزه باید مقاومت و شکل پذیری ستون های بتنی در مواردی که نیاز به مقاوم سازی در سازه وجود دارد افزایش یابد. مقاوم سازی هنگامی لازم است که ستون یا تحت اثر شرایط محیطی دچار خوردگی و فرسایش شده باشد و یا به دلایل دیگری مقاومت آن کمتر مقدار مورد انتظار باشد و یا اینکه تحت بارهای بیشتر از

حد مورد انتظار دچار آسیب گردد[۲] در چنین مواردی اضافه ظرفیت باربری مورد انتظار ستون های موجود را می توان از طریق اعمال شرایط محصور کنندگی فراهم نمود. چنین شرایطی را به روش های مختلف می توان به سازه اعمال نمود که عبارتند از:

#### ۱) استفاده از میلگرد دورپیچ

۲) پوشش بتنی ۳) پوشش فولادی و ۴) پوشش کامپوزیت FRP. اگرچه استفاده از بتن هزینه کمتری نسبت به روش های دیگر دارد؛ اما به دلیل افزایش قابل توجه وزن و سطح مقطع اعضای سازه معمولاً کاربرد ندارد. فولاد از دیرباز به عنوان مصالح معمول در ساخت و ساز استفاده می شده است؛ اما به دلیل امکان خوردگی، این مصالح نیاز به مراقبت دارد[۳]. پوشش کامپوزیت که در ابتدا در صنایع هوافضا و اتومبیل به کار گرفته شد، در سال های اخیر به دلیل نسبت مقاومت به وزن بالا، مقاومت در برابر خوردگی، سهولت نصب و هزینه نگهداری اندک مورد توجه سازندگان ساختمان قرار گرفته است. در دهه اخیر تحقیقات عملی و تحلیلی متعددی در جهت شناخت عملکرد پوشش های از جنس FRP و فولاد به عنوان روشهای غیر فعال بهسازی لرزه ای ستونهای بتنی صورت گرفته است[۴]. روزاکیس و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۱) آزمایش هایی را به منظور درک رفتار ستون های بتنی تقویت شده با FRP انجام دادند. ستون ها تحت بارگذاری محوری به صورت مونوتونیک و چرخه ای قرار گرفتند. این تحقیق روی ستون هایی تمرکز می نماید که میلگردهای طولی آن مستعد کماتش زودهنگام می باشد. در این تحقیق همچنین دو مدل کنترلی ستون بدون میلگرد طولی و ستون با خاموت کافی به منظور انجام مقایسه ساخته شده اند. نقش وجود پوشش FRP حتی با ضخامت های کم، چه در بارگذاری مونوتونیک و چه چرخه ای در مورد ستون هایی که میلگردهای طولی آنها در برابر کماتش مقید نشده اند بسیار آشکارتر از ستون هایی که میلگرد عرضی کافی دارند گزارش شده است.

هارون و همکارانش<sup>۲</sup> (۱۹۹۹) مطالعه جامعی روی ستون های دایره ای تقویت شده با مصالح FRP انجام دادند. ۷ ستون دایره ای به قطر ۶۱ cm، نسبت آرماتور طولی ۲ درصد و نسبت آرماتور عرضی ۰/۱۶ درصد مورد آزمایش قرار گرفتند. ستون های تقویت شده در مقایسه با ستون های بدون تقویت رفتار مناسب تری از خود نشان دادند و در تغییر شکل هایی تا ۴ برابر نمونه کنترلی دچار شکست شدند. تمامی ستون ها از ناحیه همپوشانی میلگردها دچار شکست شدند. کرنش شعاعی پوشش FRP به حداکثر مقدار ۶-۱۰×۸۰۰ رسید که از میزان کرنش طراحی ۶-۱۰×۱۰۰ کمتر بوده است. میلگردهای طولی مشابه با میلگردهای موجود در نمونه کنترلی بدون تقویت مقدار ۶-۱۰×۶۰۰ گزارش شده است. جینوبلی<sup>۳</sup> و همکارانش (۲۰۰۹) تحقیقاتی را به منظور درک اثر کاربرد همزمان پوشش FRP و پوشش فولادی به منظور ارتقای ستون های بتن مسلحی که دچار خوردگی شده بودند انجام دادند. جمعا تعداد ۱۴ ستون بتنی تحت بار محوری و بارگذاری سیکلی قرار گرفتند. متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق شامل تأثیر روش های مختلف مقاوم سازی، میزان خوردگی میلگردها و مقدار بار محوری بوده اند. مشخص شده است که تقویت ستون های بتنی با میلگردهای آسیب دیده از اثر خوردگی موجب بهبود چشمگیر رفتار این اعضا و افزایش پایداری منحنی های هیستریزس و کم کردن پدیده کاهش مقاومت آنها در مقایسه با نمونه های تقویت نشده گردیده است. همچنین مشخص گردید که ستون های تقویت شده با ترکیبی از پوشش فولادی و پوشش FRP رفتار مناسب تری از خود بروز می دهند. در انتها نیز مطالعاتی تحلیلی بر روی نمونه ها صورت گرفت که خبر از تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی می داد.

همچنین مدلهایی که برای محاسبه اثر مقاوم سازی این روش ها پیشنهاد شده اند از دو دیدگاه قادر به ارائه نتایج واقعی نیستند: (۱) کرنش نهایی در پوشش های FRP عملا به طور میانگین تنها به اندازه ۵۰ تا ۸۰ درصد مقادیر به دست آمده از تست های کشش آزمایشگاهی ظاهر می شوند و (۲) بهسازی لرزه ای ستون های با مقطع مستطیل و مربع با گوشه های تیز با استفاده از پوشش فولادی و FRP در مقایسه با مقاطع دایروی عملکرد ضعیف تری دارد. در مقاطع دایره ای تغییر شکل شعاعی ناشی از بارگذاری بار محوری به دو سر ستون موجب فعال شدن اثر محصور کنندگی پوشش و اعمال فشار پیرامونی به مقطع می گردد. این فشار منجر به ایجاد تنش هایی می شود که در تمامی نقاط مقطع به طور یکنواخت توزیع می شوند. در مقاطع مستطیلی و در شرایط یکسان، پوشش موجود سبب ایجاد تنش های فشاری غیر یکنواخت در مقطع می شود به طوری که تمرکز تنش در گوشه ها زیاد و در نواحی میانی کم می باشد که خود منجر به هر چه پیچیده تر شدن و خارج از کنترل شدن رفتار چنین ستون هایی می گردد[۵]. این اختلاف موجب شده که بهسازی با استفاده از پوشش فلزی یا

<sup>1</sup> Rozakis et al

<sup>2</sup> Haroun et. al

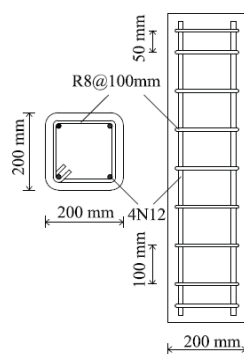
<sup>3</sup> Ginóbili et al

FRP در مورد ستون های با مقطع دایره ای کاربرد بیشتری داشته باشد. به نظر می رسد پوشش های محصور کننده از دو دیدگاه سبب بهبود رفتار ستون های بتنی می شوند. نخست اینکه پوشش اعمال شده باعث اعمال اثر محصور شدگی به بتن می گردد و تنش نهایی بتن را به میزان قابل ملاحظه ای نسبت به بتن محصور نشده افزایش می دهد. این عملکرد از تنش های متعامد ناشی از اثر الاستیک پواسون به همراه رفتار غیر خطی و اتساعی بتن به دلیل شکل گیری ترک های عرضی منتج می شود. دومین نقش پوشش های محصور کننده این است که شکل پذیری و مقاومت پس از شکست بتن را افزایش داده و نوعی رفتار شبه شکل پذیر در بتن ایجاد می کند. این رفتار به دلیل ایجاد فرایندی است که طی آن ذرات خرد شده بتن به واسطه وجود اثر محصورشدگی در مقابل حرکت و پراکنده شدن مقید گشته و در محل پیشین خود باقی می ماند [۶] مقاله حاضر به ارزیابی و مقایسه نقش پوشش های کامپوزیت و فولادی در بهبود شکل پذیری ستون های بتنی و تحلیل به روش اجزای محدود در شبیه سازی رفتار پیچیده محصورکنندگی خواهد پرداخت.

## ۲- مدل سازی

مدل سازی بتن از اهمیت بالایی برخوردار است، به این دلیل که در اثر تنش های کششی بتن دچار ترک خوردگی می شود. به همین دلیل هنگامی که یک عضو بتنی تحت اثر خمش قرار می گیرد، در هر مقطع از عضو بخشی تحت فشار و بخشی تحت کشش خواهد بود. مقاومت فشاری بتن به مراتب بیشتر از مقاومت کششی بتن است و این امر سبب می گردد در بارهایی نظیر حد نهایی و یا حتی بارهایی در حد بهره برداری، بتن ناحیه کششی ترک خورده و مقاومت آن کاهش می یابد. ولی بتن ناحیه فشاری ظرفیت باربری خود را حفظ می کند. به همین دلیل می بایست مقاومت کششی و فشاری بتن به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گیرد. در این مقاله به منظور مدل سازی رفتار بتن از مدل پلاستیک آسیب دیده بتن<sup>۴</sup> استفاده شده که توسط لوبلینر<sup>۵</sup> ارائه گردید [۱] و در ادامه توسط محققین دیگر<sup>۶</sup> کامل شد [۱]. این مدل به صورت پیش فرض در نرم افزار المان محدود آباکوس نیز موجود می باشد.

این مطالعه شامل بررسی رفتار ۹ ستون بتن آرمه می باشد. هر یک از این ستون ها با پوشش فولادی و یا با سیستم FRP مقاوم سازی شده اند و رفتار آنها مورد بررسی قرار گرفته است. در واقع سعی شده است تا با حالت های مختلف مقاوم سازی به روش های پوشش فولادی و FRP مقایسه بهتری بین این دو روش ایجاد گردد. در این تحقیق، با توجه به مقایسه روشهای مقاوم سازی برای یک ستون بتن آرمه می باشد. لذا از پارامترهای تغییر هندسه و میلگرد خود داری شده است و تنها پارامتر تغییر در وضعیت مقاوم سازی است. شکل (۱) ابعاد و هندسه بتن و میلگرد تمام نمونه ها را نشان می دهد. در ابتدا مشخصات و ابعاد نمونه ها در جدول (۱) مشخص شده است. در ادامه به تشریح کامل هر نمونه به صورت کامل پرداخته می شود. چرا که شناخت کامل نمونه، درک بهتری نسبت به نتایج به خواهد داد. مدل شماره ۱ مدل مرجع است که بدون مقاوم سازی و استفاده از پوشش و یا FRP می باشد. این مدل جهت مقایسه رفتار سایر مدل های مقاوم سازی آورده شده است



شکل ۱- هندسه بتن و میلگرد

<sup>4</sup> Concrete damage plasticity

<sup>5</sup> Lubliner

<sup>6</sup> Lee and Fenves

جدول ۱- مشخصات مدل ها

| استفاده از FRP      | استفاده از جاکت فلزی        | میلگرد و خاموت                | مقطع ستون        | ارتفاع ستون | نمونه   |
|---------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|-------------|---------|
| .....               | .....                       | $4 \phi 12$<br>$\phi 8 @ 100$ | $200 \times 200$ | ۱۲۰۰        | نمونه ۱ |
| .....               | جاکت فولادی استفاده شده است | $4 \phi 12$<br>$\phi 8 @ 100$ | $200 \times 200$ | ۱۲۰۰        | نمونه ۲ |
| .....               | جاکت فولادی استفاده شده است | $4 \phi 12$<br>$\phi 8 @ 100$ | $200 \times 200$ | ۱۲۰۰        | نمونه ۳ |
| .....               | جاکت فولادی استفاده شده است | $4 \phi 12$<br>$\phi 8 @ 100$ | $200 \times 200$ | ۱۲۰۰        | نمونه ۴ |
| .....               | جاکت فولادی استفاده شده است | $4 \phi 12$<br>$\phi 8 @ 100$ | $200 \times 200$ | ۱۲۰۰        | نمونه ۵ |
| .....               | جاکت فولادی استفاده شده است | $4 \phi 12$<br>$\phi 8 @ 100$ | $200 \times 200$ | ۱۲۰۰        | نمونه ۶ |
| FRP استفاده شده است | .....                       | $4 \phi 12$<br>$\phi 8 @ 100$ | $200 \times 200$ | ۱۲۰۰        | نمونه ۷ |
| FRP استفاده شده است | .....                       | $4 \phi 12$<br>$\phi 8 @ 100$ | $200 \times 200$ | ۱۲۰۰        | نمونه ۸ |
| FRP استفاده شده است | .....                       | $4 \phi 12$<br>$\phi 8 @ 100$ | $200 \times 200$ | ۱۲۰۰        | نمونه ۹ |

### ۳- تشریح نمونه ها

#### نمونه ۱، ستون بدون پوشش فلزی و FRP:

نمونه ۱ تنها از بتن و میلگرد تشکیل شده است و بدون هیچ پوشش فلزی و FRP است. این نمونه تنها برای مقایسه بهتر سایر نمونه ها همچنین دید کلی مسئله آورده شده است. بنابراین در این مدل به جز اندرکنش بین بتن و میلگرد، اندرکنش دیگری وجود ندارد. شرایط تکیه گاهی و همچنین نیروی وارد شده به نمونه ۱ در شکل (۲) مشخص شده است.

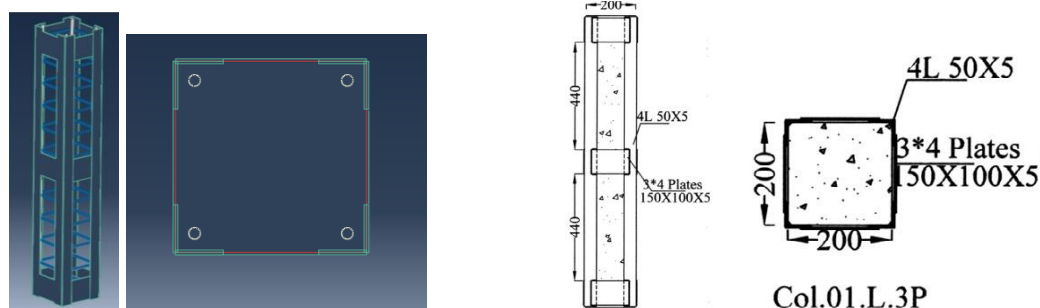


شکل ۲- الف) شرایط هندسی نمونه ۱

ب) مدل نمونه ۱ و شرایط مرزی و نحوه بارگذاری

#### نمونه ۲، ستون به همراه پوشش فلزی سوراخ دار :

نمونه ۲ از بتن و میلگرد و یک پوشش فلزی سوراخ دار تشکیل شده است. برای مدل سازی این پوشش از المان های shell در نرم افزار استفاده شده است. در این مدل علاوه بر اندرکنش بین میلگرد و بتن، اندرکنشی بین بتن و پوشش وجود دارد. شکل (۳) جزئیات کامل جاکت فولادی به همراه اندازه ها را نشان می دهد.

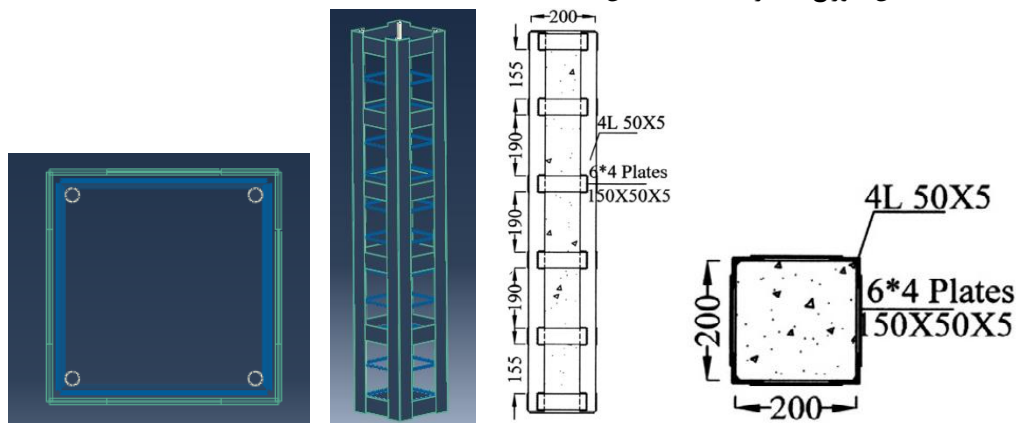


ب) بتن و جاکت فلزی برای نمونه ۲

شکل ۳- الف) شرایط هندسی جاکت در نمونه

### نمونه ۳: ستون به همراه پوشش فلزی سوراخ دار:

نمونه ۳ از بتن و میلگرد و یک پوشش فلزی سوراخ دار تشکیل شده است. در این مدل علاوه بر اندرکنش بین میلگرد و بتن، اندرکنشی بین بتن و پوشش وجود دارد. شکل (۴) شرایط واقعی پوشش استفاده شده را نشان می دهد. در این نمونه سوراخ در هر وجه وجود دارد و با استفاده از ۶ ورق در هر وجه متصل شده اند. هندسه کامل نمونه ۳ در شکل (۴) مشخص شده است. در این شکل مشخصات اتصالات بین سوراخ ها نیز به دقت مشخص شده است.

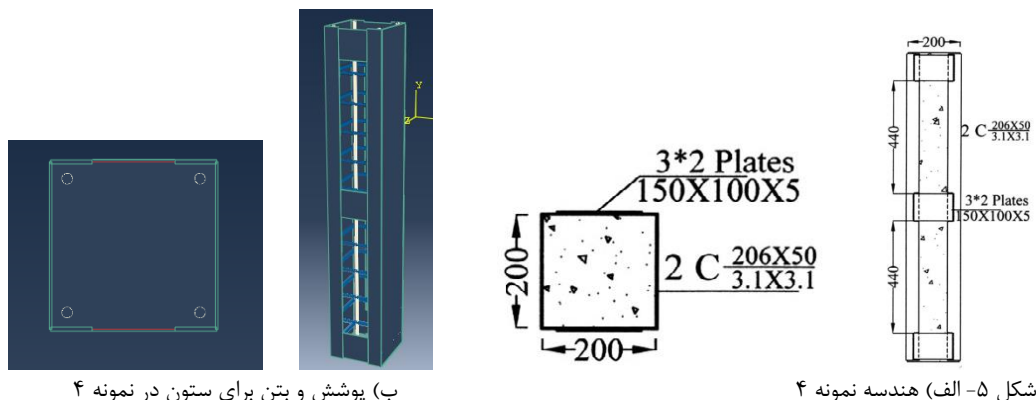


ب) پوشش به همراه مقطع بتنی ستون نمونه ۳

شکل ۴- الف) هندسه پوشش برای نمونه ۳

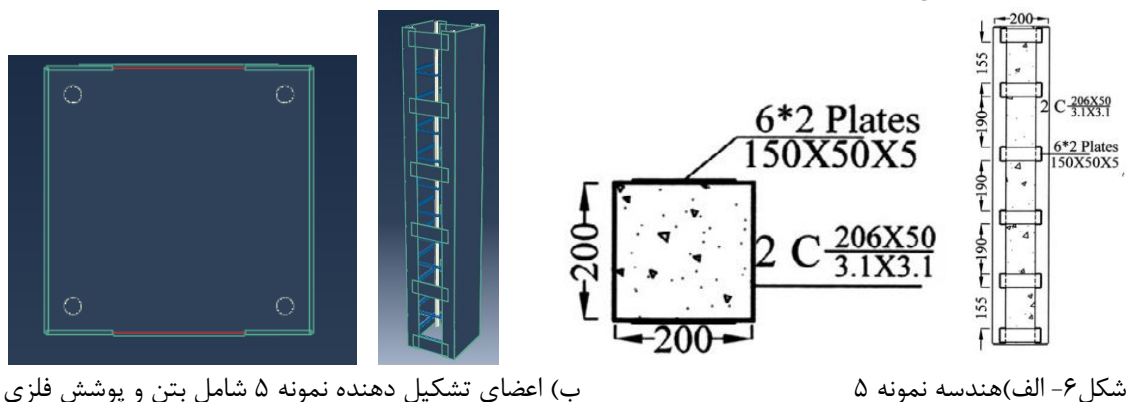
### نمونه ۴: ستون به همراه پوشش فلزی سوراخ دار:

نمونه ۴ از بتن و میلگرد و یک پوشش فلزی سوراخ دار تشکیل شده است. همانطور که از شکل مشخص است، از عنصر جاکت به صورت جداگانه جهت تحلیل استفاده شده است. در این مدل علاوه بر اندرکنش بین میلگرد و بتن، اندرکنشی بین بتن و پوشش وجود دارد. شکل (۱) شرایط واقعی پوشش استفاده شده را نشان می دهد. در این نمونه سوراخ در دو وجه وجود دارد و با استفاده از ۳ ورق در هر دو وجه متصل شده اند. هندسه کامل نمونه ۴ در شکل های (۱) مشخص شده است. در این شکل مشخصات اتصالات بین سوراخ ها نیز به دقت مشخص شده است.



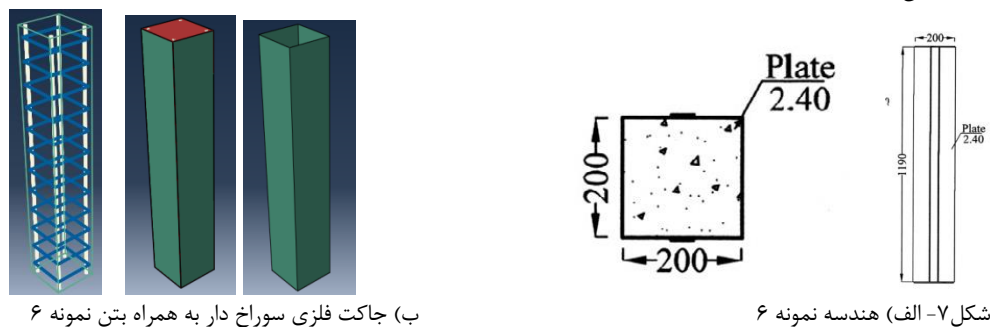
#### نمونه ۵، ستون به همراه پوشش فلزی سوراخ دار:

نمونه ۵ از بتن و میلگرد و یک پوشش فلزی سوراخ دار تشکیل شده است. در این مدل علاوه بر اندرکنش بین میلگرد و بتن، اندرکنشی بین بتن و پوشش وجود دارد. شکل (۶) شرایط واقعی پوشش استفاده شده را نشان می دهد. در این نمونه سوراخ در دو وجه وجود دارد و با استفاده از ۶ ورق در هر دو وجه متصل شده اند. هندسه کامل نمونه ۵ در شکل (۶) مشخص شده است. در این شکل مشخصات اتصالات بین سوراخ ها نیز به دقت مشخص شده است.



#### نمونه ۶، ستون به همراه پوشش فلزی سوراخ دار:

نمونه ۶ از بتن و میلگرد و یک پوشش فلزی سوراخ دار تشکیل شده است. همانطور که از شکل مشخص است، از عنصر پوشش به صورت جداگانه جهت تحلیل استفاده شده است. در این مدل علاوه بر اندرکنش بین میلگرد و بتن، اندرکنشی بین بتن و پوشش وجود دارد. شکل (۷) شرایط واقعی پوشش استفاده شده را نشان می دهد. در این نمونه سوراخ وجود ندارد و یک پوشش سر تا سری به صورت یک جعبه بر نمونه پوشیده می شود. هندسه کامل نمونه ۶ در شکل (۷) مشخص شده است. در این شکل مشخصات اتصالات بین سوراخ ها نیز به دقت مشخص شده است.



#### نمونه ۷، ستون به همراه سیستم FRP یک لایه :

نمونه ۷ از بتن و میلگرد و FRP یک لایه تشکیل شده است که به صورت سراسری در طول ستون پخش شده است. ضخامت FRP در این حالت 0.45 میلیمتر میباشد و در واقع تک لایه میباشد.

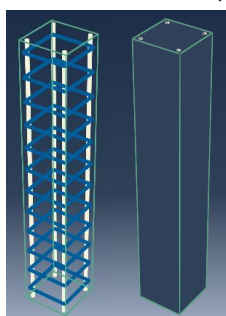
#### نمونه ۸، ستون به همراه سیستم FRP دو لایه :

نمونه ۸ از بتن و میلگرد و FRP سه لایه تشکیل شده است که به صورت سراسری در طول ستون پخش شده است. ضخامت FRP در این حالت 0.90 میلیمتر میباشد و در واقع دو لایه میباشد.

#### نمونه ۹، ستون به همراه سیستم FRP سه لایه :

نمونه ۹ از بتن و میلگرد و FRP سه لایه تشکیل شده است که به صورت سراسری در طول ستون پخش شده است. ضخامت FRP در این حالت 1.35 میلیمتر می باشد و در واقع سه لایه می باشد.

با توجه به این شماتیک هریک از روش های FRP شبیه به یکدیگر است، لذا شکل (۸) نحوه مدل سازی هر یک از این سه روش را نشان می دهد که تنها تفاوت آنها در ضخامت لایه FRP می باشد.



شکل ۸- مدل ترکیب شده بتن، میلگرد و FRP برای نمونه های ۷ و ۹

## ۴- ویژگی مصالح

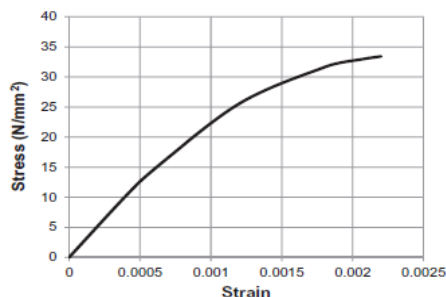
مشخصات استاتیکی مصالح شامل مدول الاستیسیته، تنش تسلیم، تنش نهایی و کرنش شکست برای فولاد می باشد. که در جدول (۲) آورده شده است. کرنش شکست در اینجا، کرنش معادل با تنش کششی نهایی فولاد می باشد. با توجه به این که برنامه آباکوس برای مشخص کردن مصالح نیازمند منحنی تنش کرنش مصالح است، منحنی های تنش کرنش برای میلگردها و جاکت فلزی به صورت جداگانه آورده شده است.

مقاومت فشاری بتن ۳۴ مگا پاسکال است که برای همه نمونه ها یکسان می باشد.

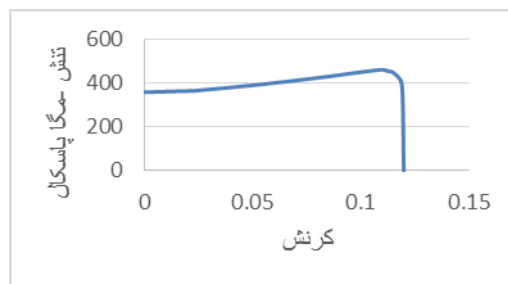
همچنین تنش تسلیم ورقه های FRP برابر ۱۴۰۰ مگا پاسکال و مدول الاستیسیته آن برابر ۷۵,۴ مگا پاسکال و کرنش تسلیم آن برابر ۱,۸۶ درصد می باشد. این مشخصات برای همه نمونه های ۷ و ۸ و ۹ یکسان است.

جدول ۲- جزئیات مصالح استفاده شده در مدل سازی

| کرنش شکست | تنش نهایی (مگا پاسکال) | تنش تسلیم (مگا پاسکال) | مدول الاستیسیته بر اساس آزمایش (مگا پاسکال) | قطر اسمی (میلی متر) | مصالح       |
|-----------|------------------------|------------------------|---------------------------------------------|---------------------|-------------|
| ۱۱        | ۴۶۳                    | ۳۶۰                    | ۲۰۰۰۰                                       | ۱۲                  | میلگرد طولی |
| ۱۴        | ۳۴۰                    | ۲۴۰                    | ۲۰۰۰۰                                       | ۸                   | خاموت       |



شکل ۱۰- منحنی تنش کرنش بتن



شکل ۹- منحنی تنش کرنش فولاد میلگرد

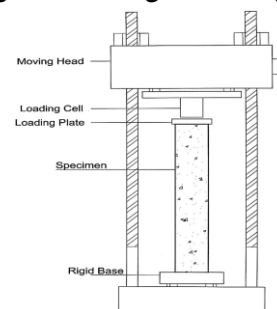
## ۵- جزئیات مدل سازی نرم افزار آباکوس

### ۵-۱- شرایط مرزی:

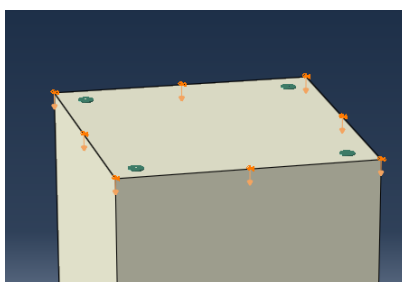
شرایط مرزی در تمام نمونه ها یکسان است به صورتی که بارگذاری به صورت جابجایی کنترل بر یک راس ستون میباشد. این بارگذاری همانند شکل (۱۱) بر تمام نمونه ها در حالت شماتیک نیز نشان داده شده است. شکل مدل سازی بارگذاری در نمونه های با FRP نیز در شکل (۱۲) مشخص شده است. مدل سازی بارگذاری در نرم افزار نیز در شکل (۱۳) آورده شده است.



شکل ۱۲- بارگذاری بر نمونه های با FRP



شکل ۱۱- شرایط مرزی و نوع بارگذاری نمونه ها



شکل ۱۳- مدل سازی بارگذاری در نرم افزار

## ۶- نتایج تحلیل :

نتایج تحلیل در ۱۰ بخش طبقه بندی شده است. ۹ بخش مربوط به نتیجه تحلیل ۹ نمونه است و بخش ۱۰ ام نتیجه تحلیل هر ۹ نمونه را به صورت کلی با یکدیگر مقایسه کرده است. به ترتیب بخش های مختلف ارزیابی شده است. نتایج هم به صورت گرافیکی و هم به صورت عددی ارائه شده است. تنش های فن میزز، شاخص خرابی، کرنش پلاستیک و همچنین نتایج عددی شامل مقاومت ستون نسبت به جابجایی، کرنش مرکز ستون، جابجایی افقی مرکز ستون میباشد.

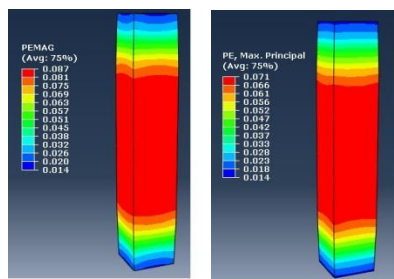


### نتایج تحلیل نمونه ۱:

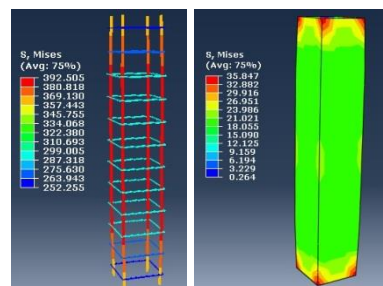
نتایج گرافیکی برای نمونه ۱ در شکل های (۱) آورده شده است. شکل (۱۴) تنش فن میز را برای نمونه ۱ در بتن و میلگرد نشان میدهد. شکل (۱۵) کرنش پلاستیک و همچنین معیار شاخص خرابی را برای نمونه ۱ نشان میدهد. در ادامه در شکل (۱) جابجایی افقی ستون با استفاده از کانتورها بررسی شده است. همانطور که مشخص است، بیشترین خرابی در مرکز ستون به دلیل بادشدگی میباشد و همچنین نمونه حالت خمیده ای شکل به خود گرفته است.

PEMAG شاخص خرابی و PE کرنش پلاستیک می باشد که با توجه به این که شاخص خرابی از روی کرنش پلاستیک محاسبه می گردد و توسط نرم افزار این کار صورت می گیرد، بنابراین مقادیر تقریباً برابر است.

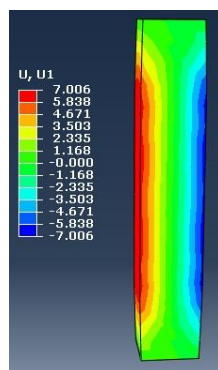
جابجایی U1 نیز کانتورهای جابجایی افقی را نشان می دهد و بیانگر این است که ستون در مرکز بیشترین جابجایی در حالت افقی را داشته است.



شکل ۱۵- کرنش پلاستیک و معیار شاخص خرابی

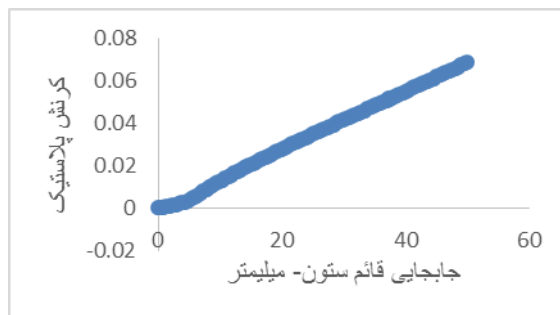


شکل ۱۴- تنش فن میز در بتن و میلگرد

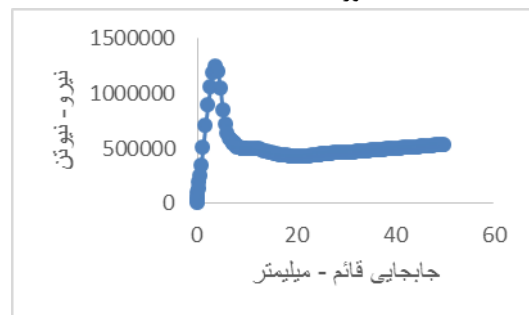


شکل ۱۶- جابجایی افقی ستون

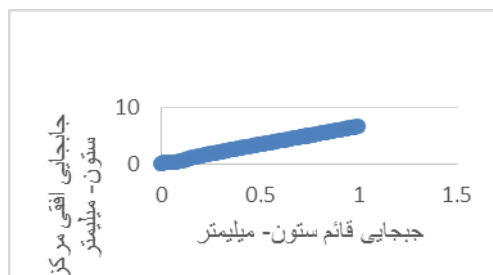
منحنی های نیروی اعمالی- جابجایی قائم اتصال مرکزی، جابجایی افقی مرکز ستون، و همچنین کرنش پلاستیک در مرکز ستون در شکل های (۱۷) تا (۱۹) آورده شده است.



شکل ۱۸- کرنش پلاستیک در مرکز ستون



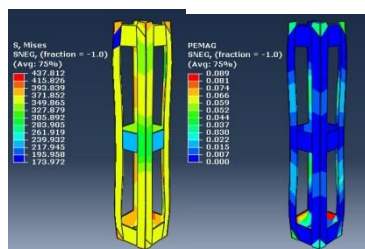
شکل ۱۷- منحنی نیرو جابجایی تاج ستون



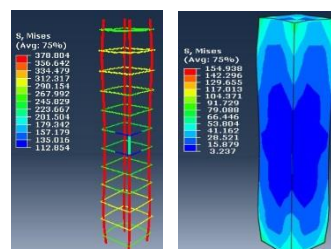
شکل ۱۹- جابجایی افقی مرکز ستون

## نتایج تحلیل نمونه ۲:

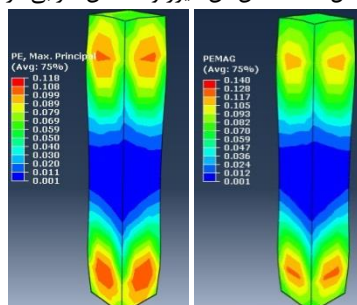
نتایج گرافیکی برای نمونه ۲ در شکل های (۱) آورده شده است. شکل (۲۰) تنش فن میز را برای نمونه ۲ در بتن و میلگرد نشان می دهد. شکل (۲۱) تنش فن میز و شاخص خرابی را در جاکت فلزی را نشان می دهد. شکل (۲۳) کرنش پلاستیک و همچنین معیار شاخص خرابی را برای نمونه ۲ نشان می دهد. در ادامه در شکل (۲۴) جابجایی افقی ستون با استفاده از کانتورها بررسی شده است. همانطور که مشخص است، بیشترین خرابی در دو انتهای ستون می باشد. مرکز ستون به دلیل ورقه های فولادی تقریباً تغییر شکل نداده است و بیشترین تغییرات در دو انتها می باشد. همچنین پارامتر خرابی و کرنش پلاستیک نشان می دهد که در دو انتها وضعیت نسبت به مرکز بحرانی تر می باشد.



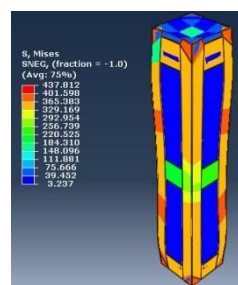
شکل (۲۱) تنش فن میز و شاخص خرابی در پوشش فلزی



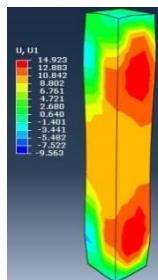
شکل (۲۰) تنش فن میز در بتن و میلگرد



شکل (۲۳) کرنش پلاستیک و معیار شاخص خرابی در بتن

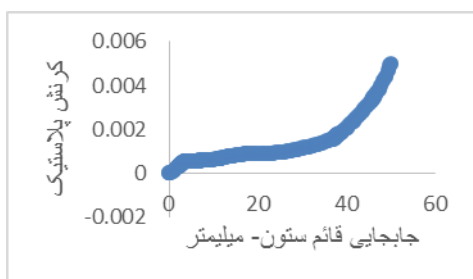


شکل (۲۲) تنش فن میز در حال بتن و پوشش فولادی

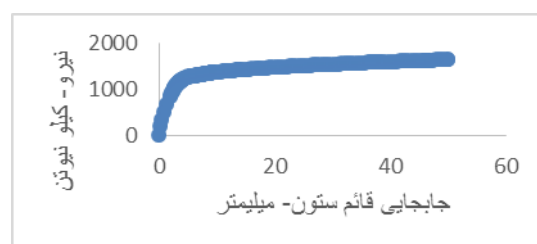


شکل (۲۴) جابجایی افقی ستون

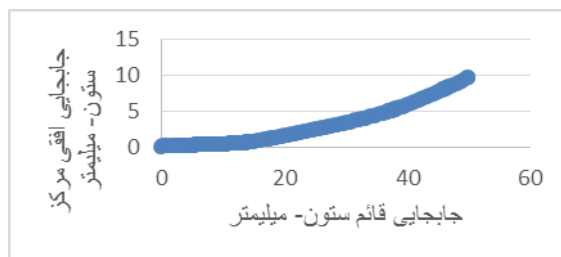
منحنی های نیروی اعمالی- جابجایی قائم اتصال مرکزی، جابجایی افقی مرکز ستون، و همچنین کرنش پلاستیک در مرکز ستون در شکل های (۲۵) تا (۲۷) آورده شده است.



شکل ۲۶- کرنش پلاستیک در مرکز ستون



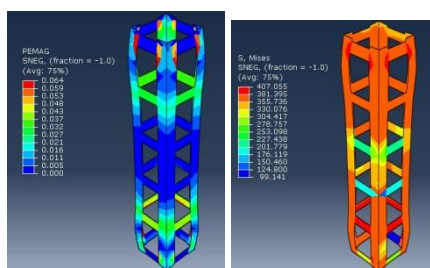
شکل ۲۵- منحنی نیرو جابجایی تاج ستون



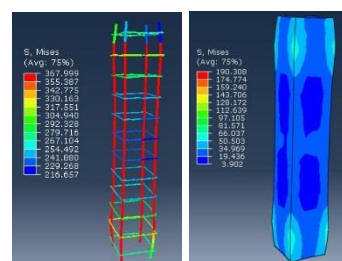
شکل ۲۷- جابجایی افقی مرکز ستون

### نتایج تحلیل نمونه ۳ :

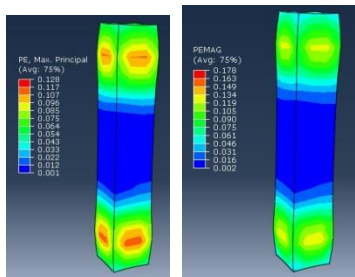
نتایج گرافیکی برای نمونه ۳ در شکل های (۲۸) آورده شده است. شکل (۲۸) تنش فن میز را برای نمونه ۳ در بتن و میلگرد نشان می دهد. شکل (۲۹) تنش فن میز و شاخص خرابی را در جاکت فلزی را نشان می دهد. شکل (۳۱) کرنش پلاستیک و همچنین معیار شاخص خرابی را برای نمونه ۳ نشان می دهد. در ادامه در شکل (۳۲) جابجایی افقی ستون با استفاده از کانتورها بررسی شده است. همانطور که مشخص است، بیشترین خرابی در دو انتهای ستون می باشد. همچنین پارامتر خرابی و کرنش پلاستیک نشان می دهد که در دو انتها وضعیت نسبت به مرکز بحرانی تر می باشد.



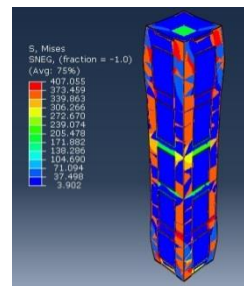
شکل ۲۹- تنش فن میز و شاخص خرابی در پوشش فلزی



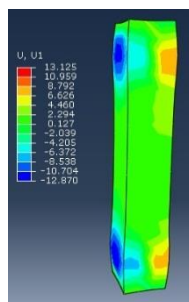
شکل ۲۸- تنش فن میز در بتن و میلگرد



شکل ۳۱- کرنش پلاستیک و معیار شاخص خرابی در بتن

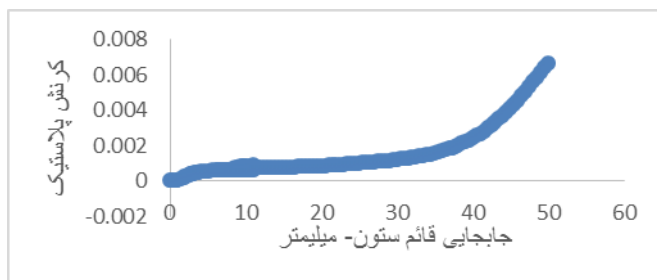


شکل ۳۰- تنش فن میزز در کل نمونه

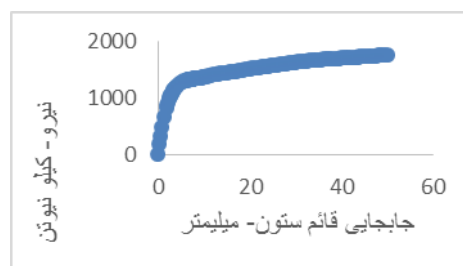


شکل ۳۲- جابجایی افقی ستون

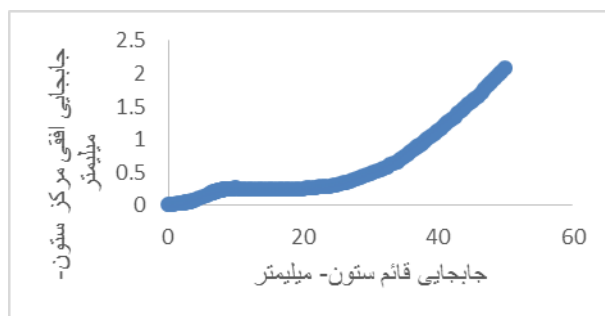
منحنی های نیروی اعمالی - جابجایی قائم اتصال مرکزی، جابجایی افقی مرکز ستون، و همچنین کرنش پلاستیک در مرکز ستون در شکل های ۳۳- تا ۳۴ آورده شده است.



شکل ۳۴- کرنش پلاستیک در مرکز ستون



شکل ۳۳- منحنی نیرو جابجایی تاج ستون



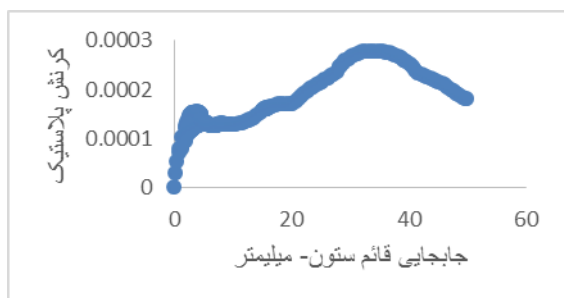
شکل ۳۵- جابجایی افقی مرکز ستون

#### نتایج تحلیل نمونه ۴:

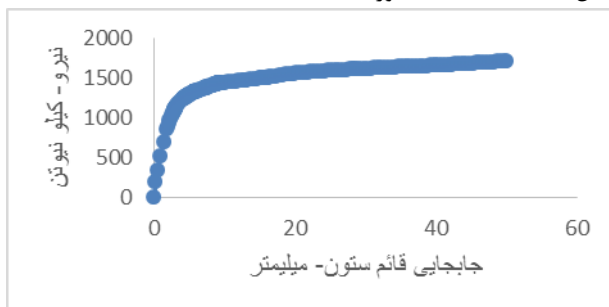
نتایج گرافیکی برای نمونه ۴ نشان می دهد که PEMAG شاخص خرابی و PE کرنش پلاستیک می باشد که با توجه به این که شاخص خرابی از روی کرنش پلاستیک محاسبه میگردد و توسط نرم افزار این کار صورت می گیرد، بنابراین مقدار ها تقریباً برابر است.

جابجایی U1 نیز کانتورهای جابجایی افقی را نشان می دهد و بیانگر این است که ستون در مرکز بیشترین جابجایی در حالت افقی را داشته است.

منحنی های نیروی اعمالی - جابجایی قائم اتصال مرکزی، جابجایی افقی مرکز ستون، و همچنین کرنش پلاستیک در مرکز ستون در شکل های (۳۶) تا (۳۷) آورده شده است.



شکل ۳۷- کرنش پلاستیک در مرکز ستون

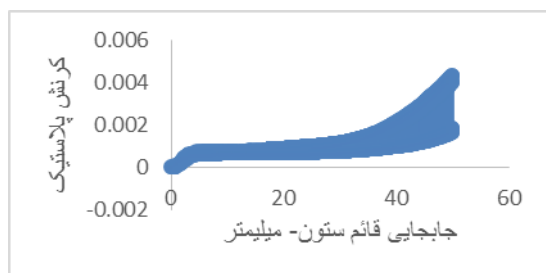


شکل ۳۶- منحنی نیرو جابجایی تاج ستون

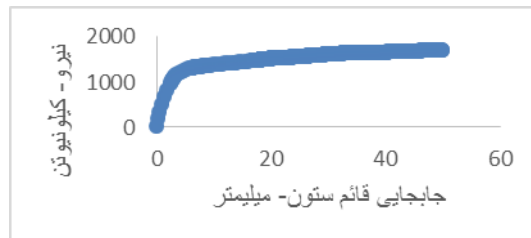
#### نتایج تحلیل نمونه ۵ :

نتایج گرافیکی نشان می دهد که، بیشترین خرابی در دو انتهای ستون میباشد. همچنین پارامتر خرابی و کرنش پلاستیک نشان میدهد که در دو انتها وضعیت نسبت به مرکز بحرانی تر می باشد.

منحنی های نیروی اعمالی - جابجایی قائم اتصال مرکزی، جابجایی افقی مرکز ستون، و همچنین کرنش پلاستیک در مرکز ستون در شکل های (۳۸) تا (۳۹) آورده شده است.



شکل ۳۹- کرنش پلاستیک در مرکز ستون



شکل ۳۸- منحنی نیرو جابجایی تاج ستون

#### نتایج تحلیل نمونه ۶ :

نتایج گرافیکی برای نمونه ۶ نشان می دهد که، تغییرات زیادی در جابجایی ستون رخ نداده است. PEMAG شاخص خرابی و PE کرنش پلاستیک میباشد که با توجه به این که شاخص خرابی از روی کرنش پلاستیک محاسبه میگردد و توسط نرم افزار این کار صورت میگیرد، بنابراین مقدارها تقریباً برابر است.

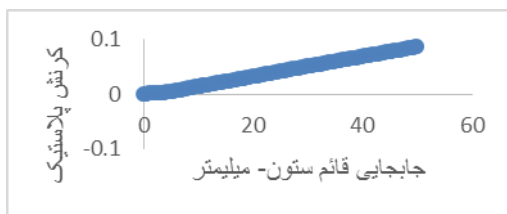
جابجایی U1 نیز کانتورهای جابجایی افقی را نشان میدهد و بیانگر این است که ستون در مرکز بیشترین جابجایی در حالت افقی را داشته است.

#### نتایج تحلیل نمونه ۷ و ۸ و ۹ :

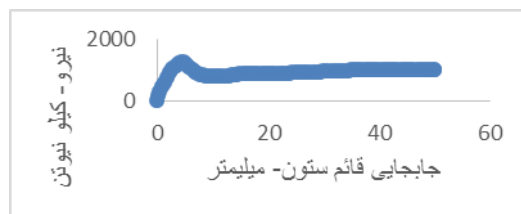
با توجه به این که نمونه های ۷ و ۸ و ۹ مربوط به ورقه FRP می باشند و نتایج گرافیکی برای آنها تقریباً یکسان است، لذا از آوردن نتایج برای هر سه نمونه خودداری شده است و نتایج یک مرتبه برای نمونه ۷ آورده شده است. در ابتدا نتایج گرافیکی ستون با ورقه FRP یک لایه را میبینیم و در ادامه منحنی های نتایج ناشی از این تحلیل.

نتایج تحلیل نمونه ۸ :

همانطور که ذکر شد نتایج گرافیکی برای این نمونه همانند نمونه ۷ میباشد و تنها نتایج عددی در شکل های ( ) تا ( ) برای این نمونه آورده شده است.



شکل ۴۱- کرنش پلاستیک در مرکز ستون

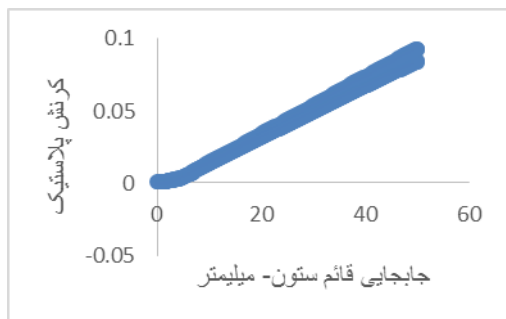


شکل ۴۰- منحنی نیرو جابجایی تاج ستون

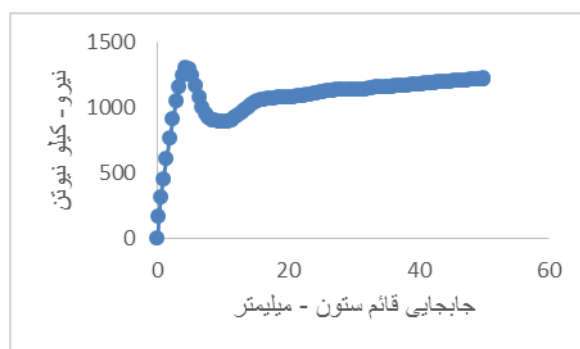
### نتایج تحلیل نمونه ۹ :

همانطور که ذکر شد نتایج گرافیکی برای این نمونه همانند نمونه ۷ می باشد و تنها نتایج عددی در شکل های (۴۲) تا (۴۳) برای این نمونه آورده شده است.

جابجایی U1 نیز کانتور های جابجایی افقی را نشان می دهد و بیانگر این است که ستون در مرکز بیشترین جابجایی در حالت افقی را داشته است.



شکل ۴۳ کرنش پلاستیک در مرکز ستون



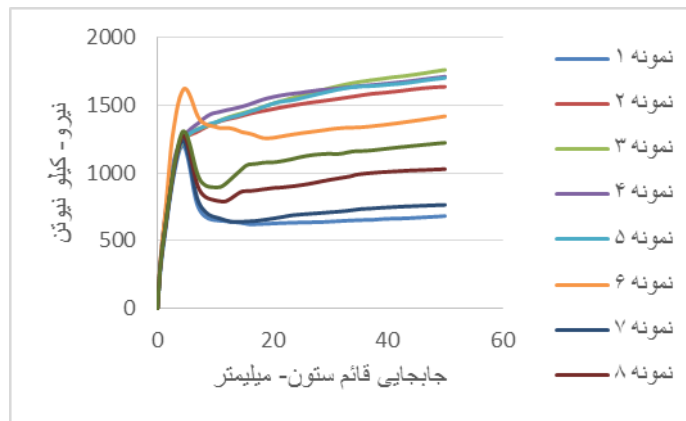
شکل ۴۲- منحنی نیرو جابجایی تاج ستون

### ۶-۱- مقایسه نمونه ها :

در این قسمت هر ۹ نمونه با یکدیگر مقایسه شده و منحنی های نیرو جابجایی همه آنها در کنار یکدیگر قرار گرفته است. قبل از توضیحات و تفسیر نتایج در کنار نمونه باید گفت که همه نمونه ها شرایط بتن و بارگذاری یکسان است. چون تنها بارگذاری بر روی بتن انجام گرفته است و پوشش فلزی و FRP در این بارگذاری شرکت نمی کنند. FRP و پوشش فلزی تنها با اتصالی به بتن متصل شده اند. آنچه از منحنی ها در کنار یکدیگر مشخص است این است منحنی ها دارای یک نقطه اوج اولیه می باشد. این نقطه اوج مقاومت بتن را نشان می دهد. شکل (۴۴) رفتار ۹ نمونه را به صورت شماتیک و در کنار یکدیگر نشان میدهد.

نمونه ۱ که نمونه مرجع و بدون مقاوم سازی است، در واقع کمترین مقاومت را در بین این ۹ نمونه دارا است. بنابراین در نمونه های ۲، ۳، ۴ و ۵ این نقطه اوج تقریباً برابر است. همچنین در نمونه های ۷ و ۸ و ۹ این نقطه اوج نیز برابر میباشد. واقع در نمونه های سوراخ دار با جاکت فولادی مقاومت اولیه تقریباً برابر است و در ادامه اثرات سوراخ و بازشدگی جاکت بر روی حالت پلاستیک میباشد. همچنین برای نمونه های FRP دار نقطه اولیه مقاومت تقریباً برابر است اما با تغییر اندکی حالت سه لایه بیشتر از حالت دو لایه و هر دو بیشتر از حالت تک لایه میباشد. در ادامه برای نمونه های دارای FRP حالت پلاستیک برای نمونه سه لایه ای بسیار بهتر است و درصد جذب انرژی بیشتری داشته است. این مقدار درصد جذب انرژی برای نمونه یک لایه کمتر میباشد.

همانطور که در منحنی ها مشخص است، منحنی نمونه ۱ از تمام نمونه ها پایین تر است چرا که هم پوشش فلزی ندارد و هم FRP در گیر ندارد. آنچه از منحنی ها مشخص است می توان با بررسی دقیق آنها در کنار یکدیگر دریافت که ستون با جاکت فلزی کامل مقاومت بیشتری نسبت به سوراخ شده دارد اما حالت پلاستیک خوبی را ایجاد نکرده است. در واقع درصد جذب انرژی پایین تری نسبت به حالت سوراخ دار در آن مشاهده می نمایم.



شکل ۴۴ - منحنی نیرو جابجایی ۹ نمونه در کنار یکدیگر

## ۷- نتیجه گیری

مهمترین نتایج بدست آمده ازین تحقیق به شرح زیر می باشد. اگرچه در این تحقیق سعی بر آن شده تا با کمک نرم افزار اجزا محدود ستون به همراه پوشش و یا FRP مورد بررسی قرار گیرد، اما این مطالعه نیاز مند نتایج آزمایشگاهی نیز می باشد.

۱. افزایش مقاومت ستون به همراه پوشش و یا FRP: با توجه به نتایج و بررسی منحنی ها مشخص گردید که با افزوده شدن پوشش به ستون فلزی و همچنین افزوده شدن FRP، ستون مقاومت بیشتری کسب کرده است. لذا استفاده از هردو موارد بالا موجب بهبود بخشیدن به ضعف کمبود مقاوم برخی ستون ها میشود و این فن آوری می تواند در مقاوم سازی ساختمان ها به کار رود.

۲. افزایش مقاومت ستون با FRP سه لایه نسبت به ستون با FRP تک لایه: آنچه مشخص است تاثیر اصلی لایه های FRP در افزایش مقاومت ستون می باشد. با مقایسه رفتار مقاومتی ستون به همراه FRP با لایه های مختلف این مسئله روشن گردید که منحنی مقاومتی ستون با سه لایه FRP بالاتر از ستون بادو لایه FRP قرار دارد. همچنین ستون با یک لایه FRP در پایین هر سه منحنی است. لذا اثر مثبت افزودن لایه های FRP در یک مقایسه مشخص گردید.

۳. اثر پوشش فلزی بدون سوراخ و همچنین پوشش FRP در تغییر شکل افقی: با توجه به نتایج فیزیکی مسئله مشخص میگردد که با در پوشش بدون سوراخ و همچنین سیستم FRP جابجایی افقی مرکز ستون بیشتر شده است. در واقع در این حالات نمونه حالتی خمره ای شکل به خود گرفته است. بنابراین این صلبیت و حفاظ مانع کمانش بیش از حد ستون بتنی شده است. از سویی این پوشش کامل نقشی همانند خاموت در ستون دارد و ستون را محکم فشرده کرده است. بنابراین هر گونه تغییر شکل زیاد با استفاده از این پوشش محدود می گردد.

۴. اثر پوشش فلزی باعث افزایش مقاومت بیشتری نسبت به حالت FRP دار شده است: با توجه به این که در این تحقیق پنج نوع پوشش مورد استفاده قرار گرفته است، هریک از آنها مورد بررسی قرار گرفت. جاکت های فولادی فلزی اثر مقاومتی بیشتری نسبت به سیستم FRP از خود نشان داده است. البته علت آن میتواند در ضخامت لایه های FRP باشد.

۵. به طور کل با استفاده از سیستم های مقاوم سازی، مقاومت ستون ها افزایش پیدا کرده است. اما مقایسه بین دو روش در این تحقیق نشان میدهد که پوشش فلزی بهتر از سیستم FRP می باشد. اما این بدان معنا نیست که FRP دارای ضعف است. با توجه به این که جاکت فلزی ضخامت بیشتری از FRP دارا بوده است، لذا این تفاوت می تواند قابل توجیه باشد. همچنین با توجه به هزینه ها و مقایسه اقتصادی می توان روش مورد نیاز را در صنعت برگزید.

## پیشنهادهای

با توجه به مطالعات گسترده انجام شده در این تحقیق، پیشنهادها در دو قسمت نرم افزاری و آزمایشگاهی ارائه می گردد. همچنین کلیه پیشنهادها بر اساس روش های مقاوم سازی جدید تهیه شده است.

پیشنهادهای نرم افزاری

- رفتار ستون با استفاده از روش های مقاوم سازی نظیر الیاف شیشه ای نیز مورد بررسی قرار گیرد.
- رفتار تیر ها نیز با استفاده از همین دو روش مقاوم سازی که بسیار مهم است نیز مورد بررسی قرار گیرد.
- رفتار اتصالات نیز با استفاده از پوشش و سیستم FRP بررسی گردد.
- اثرات مدل سازی های مختلف (شامل مش بندی یا اندرکنش مصالح در تحقیقی مجزا مورد بررسی قرار گیرد)
- پیشنهاد می گردد در تحقیقی جدید بارگذاری با سرعت بالا نیز بر ستون اعمال گردد و اثرات نرخ کرنش نیز بررسی شود.
- روش ملات منبسط شونده نیز برای ستون ها در تحقیقی جدید مورد بررسی قرار گیرد.

پیشنهادهای آزمایشگاهی

- تحقیق حاضر می تواند در ابعاد آزمایشگاهی نیز انجام شود.
- نمونه های آزمایشگاهی اتصال نیز به همراه روش FRP قابل استفاده است.



## منابع و مراجع

- ۱- رجایی، ب.، تقوی، ا.، و طاهری، ن.، آشنائی با نرم افزار های تعادلی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه، تهران، ۱۳۷۸.
- ۲- ابراهیمی، م.ح. و رحمانیان، م.، "تجزیه و تحلیل تئوری و شبیه سازی عددی شعله های پیش آمیخته"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس احتراق ایران، ۲۸-۲۹ بهمن، ۱۳۸۴.
- ۳- احمدی، م.ح.، حقیقت، ح. و سوری، ا.، "اندازه گیری آلاینده های نیروگاه ری و مقایسه با استانداردهای موجود"، مجله فنی مهندسی مدرس، سال چهارم، شماره ۲، زمستان ۱۳۸۰.
- ۴- حسامیان، م.ح.، "مقایسه شعله های پیش مخلوط آزاد با شعله های پیش مخلوط در محیط متخلخل"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۲.
- 5- Turns, S.R., and Mantel, S.J., *An Introduction to Combustion*, 2nd Edition, McGraw Hill, 2000.
- 6- Williams, A., "Experimental investigation of premixed combustion within highly porous media", *Proceeding of the ASME/JSME Thermal Engineering Joint Conference*, pp. 752-758, 1992.
- 7- Asemi, M.A., Rahimi, M.H., and Fathi, A., "Stochastic modeling of CO and NO in premixed methane combustion", *Combustion and Flame*, Vol. 113, pp. 135-146, 1998.
- 8- Holland, M. [2004], *Guide to citing Internet sources* [online]. Poole, Bournemouth University. Available from: [http://www.bournemouth.ac.uk/library/using/guide\\_to\\_citing\\_internet\\_sourc.html](http://www.bournemouth.ac.uk/library/using/guide_to_citing_internet_sourc.html) [Accessed 4 November 2004].