مقاوم سازی لرزه ای ستونهای بتنی با استفاده از FRP

عبد الرحیم جلالی ، استادیار دانشکده عمران ، دانشگاه تبریز *
ساناز مهدوی توکلی ، کارشناس ارشد سازه **
*تلفن :۰۴۱۱۳۳۹۲۳۹۸ ، پست الکترونیکی : jalaliabdolrahim@yahoo.com
**تلفن : ۰۹۱۴۳۱۴۶۰۹۱ ، پست الکترونیکی : smahdavit@yahoo.com

چکیده:

خرابی های مشاهده شده در ساختمانها وپلها طی زلزله های اتفاق افتاده در طول سالیان ، نیاز مبرم به مقاوم سازی لرزه ای سازه ها را نشان می دهد . ستون های بتنی مسلح اعضای کلیدی مقاوم در برابر بارهای افقی و قائم سازه های بتنی به شمار می آیند ، لذا مقاوم کردن ستون ها در برابر نیروهای زلزله می تواند نقش مهمی در مقاوم سازی کل سازه ایفا کند . در چند دهه اخیر استفاده از کامپوزیتهای FRPبرای مقاوم سازی ستون های بتنی مسلح ، در کل دنیا گسترش یافته است .

این مواد با اعمال یک فشار جانبی متغیردر طول بار گذاری باعث بهبود عملکرد سازه می شوند . استفاده از این مواد به دلیل خصوصیاتی چون مقاومت در برابر خوردگی ، وزن کم (نسبت مقاومت به وزن بالا در مقایسه با مصالح سنتی) و مقاومت کششی بالا، روز به روز بیشتر می شود.

در این تحقیق دو سری ستون بتنی مسلح بزرگ مقیاس توسط نرم افزار ABAQUS مدل شده و تاثیرپوشش FRP برمقاوم سازی این ستون ها بررسی شده است . مدل های سری(الف) تحت ترکیبی از بار محوری و جانبی یکنواخت ، و مدل های سری(ب) تحت ترکیبی از بار محوری و لرزه ای قرار گرفتند.

دردو سری ستون ها بار ثابت و ضخامت FRP متغیر در نظر گرفته شده و تاثیر افزایش ضخامت در کاهش جابجایی و افزایش مقاومت بررسی شده است . با توجه به مدل های ساخته شده ، با افزایش ضخامت پوشاننده در ستون بتنی دایره ای شکل ، تحت ترکیب بارمحور ی و جانبی یا ترکیب بار محوری و لرزه ای ، جابجایی ماکسیمم و تنش ها و کرنش های محوری در ستون کاهش می یابد .

کلیدواژه ها : *ستون بتنی مسلح , ضخامت, مقاوم سازی , نرم افزار ABAQUS, FRP*

۱- مقدمه :

امروزه در مقاوم سازی سازه ها پیشرفتهای فراوانی در مورد مواد ، روش ها و تکنیک ها به وجود آمده است . یکی از جدیدترین این تکنیک ها استفاده از کامپوزیتهای FRP است که به عقیده مهندسین سازه یکی از موادی است که قابلیت پیشرفت زیادی را در صنعت ساخت و ساز داراست.

مرجع مهندسی عمران
www.CIVILICA.com

در سالهای اخیر استفاده از پوشش FRP به جای پوشش های فولادی به منظور تقویت خارجی بسیار متداول گشته است . پوشش های FRP در مقایسه با پوشش های فولادی مقاومت بیشتری دربرابرخوردگی وخستگی از خود نشان می دهند . مقاومت بالای کششی و وزن سبک FRP را به یکی از مصالح ایده آل در صنعت ساخت و ساز تبدیل کرده است . مزیت مورد توجه دیگر FRP نسبت به فولاد در نقش تقویت کننده های خارجی ، جابجایی و کاربرد آسان آنهاست که باعث کاهش زمان ونیروی انسانی مورد نیاز برای اجرا و تکمیل آنها می گردد .

اگر چه تحقیقات انجام شده بر روی ستون های تقویت شده با FRPبیشتر روی بارهای وارد شده در جهت محوری ، متمرکز است ولی در عمل ستون های بتنی کمترتحت تاثیربار محوری تنها قرار می گیرند و بارهای جانبی همواره به عنوان عامل تعیین کننده در سازه ها وجود دارند . همچنین تحقیقات موجود در اکثر موارد برنتایج آزمایشگاهی استوار بوده و کمتر به مدل سازی به وسیله نرم افزارهای کامپیوتری پرداخته شده است. به این دلایل دراین تحقیق برآن شدیم تا تاثیرتقویت ستون را با FRP تحت اعمال ترکیبی ازبارهای محوری و جانبی ، به وسیله مدل سازی کامپیوتری بررسی کنیم.

برای بررسی تحلیلی تاثیر پوشش FRP در تقویت ستون های بتنی مسلح ، چندین مدل در محیط نرم افزار ABAQUS ساخته شده و نتایج به دست آمده ارائه گردیده است .

جهت اطمینان از مدل سازی انجام شده، مدل ساخته شده توسط wang و پروین به همین روش مدل سازی شد . نتایج حاصل ، حاکی از انطباق کامل منحنی به دست آمده به این روش با منحنی ارایه شده در مقاله مذکور می باشد .

۲- روند مطالعه

در این تحقیق دو سری ستون بتنی مسلح بزرگ مقیاس توسط نرم افزار ABAQUSمدل شده و تاثیرپوشش FRP بر مقاوم ساز ی این ستون ها بررسی شده است . مدل های سری(الف) تحت ترکیبی از بار محوری و جانبی یکنواخت ، و مدل های سری (ب) تحت ترکیبی از بار محوری و لرزه ای قرار گرفتند.

دردو سری ستون ها بار ثابت و ضخامت FRP متغیر در نظر گرفته شده و تاثیر افزایش ضخامت در کاهش جابجایی و افزایش مقاومت بررسی شده است .

۳ - سری (الف)

ستون بتنی مسلح تحت ترکیبی از بار محوری و جانبی یکنواخت .

مرجع مهندسی عمران
www.CIVILICA.com

مدل های بررسی شده در سری (الف) به شرح زیر است :

مدل کنترل : بدون پوشش FRP

مدل شماره یک : با پوشش به ضخامت ۱.۲۵ میلیمتر

مدل شماره دو : با پوشش به ضخامت ۲.۵ میلیمتر

مدل شماره سه : با پوشش به ضخامت ۵.۰ میلیمتر

۳-۱ ابعاد ستون

ستون بتنی دایره ای شکل و به قطر ۷۶۲ میلیمتر انتخاب شده است . طول این ستون ۴۹۷۸ میلیمتر می باشد و دارا ی۲.۵٪ تقویتی فولادی است .

برای مدل کردن ستون بتنی مسلح از آنالیز المان محدود غیر خطی در ABAQUS استفاده شده است .

۳-۲ مشخصات مصالح

مقاومت فشاری بتن ۲۷.۶ مگاپاسکال و مدول الاستیسیته آن برابر ۲۱۰۰۰ مگاپاسکال انتخاب شده است .

ضریب پواسون بتن از مقدار ۰.۱۵ تا ۰.۲۲ متغیر است . در این مدل $\nu_c = 0.17$ در نظر گرفته شده است.

برای مدل کردن رفتار بتن از مدل Mohr-Coulomb ، با در نظر گرفتن سخت شوندگی ایزوتروپیک ، استفاده شده است.

مقاومت نهایی فولاد ۴۱۳.۷ مگاپاسکال ، مدول الاستیسیته ۲۱۰۰۰۰ مگاپاسکال و ضریب پواسون ۰.۳ در نظر گرفته شده است .

FRP از نوع کربنی و به صورت ماده ارتوتروپیک و با مشخصات زیر در نظر گرفته شده است.

$$E_{11} = 141.3\ GPa \quad , \quad E_{33} = E_{22} = 14.5\ GPa \quad , \quad G_{23} = 5.81 GPa$$
$$G_{12} = G_{13} = 5.86\ GPa \quad , \quad \nu_{12} = 0.21$$

۳-۳ بارگذاری

بار محوری به صورت گسترده و یکنواخت به مقدار ۲.۷۶ مگا پاسکال و بار جانبی متمرکز به مقدار ۳۵۰ کیلو نیوتن ، در جهت ۲ محورهای مختصات و در ۲۰ مرتبه افزایش وارد شده است .

۳-٤ المان بندی

بتن با استفاده از المان continuum solid (C3D8R) (المان ۸ نقطه ای با انتگرال گیری کاهش یافته) ، وتقویتی های فولادی با المان shell (S4R) (المان ۴ نقطه ای با انتگرال گیری کاهش یافته) ، مدل شده

مرجع مهندسی عمران
www.CIVILICA.com

است . FRP به صورت پوسته تقویتی و با تعریف skin روی ستون بتنی مدل شده است .

۳-۵ نتایج سری (الف)

۳-۵-۱ جابجایی

ماکسیمم مقدار جابجایی در انتهای افزایش بیستم در هر مدل به شرح زیر می باشد :

جدول ۱ : *جابجایی : سری (الف)*

	مقدار جابجایی ماکسیمم(mm)	درصد کاهش جابجایی ماکسیمم
مدل کنترل	57.7183	
مدل شماره یک	42.5531	26.27
مدل شماره دو	37.3607	35.27
مدل شماره سه	31.5259	45.38

نتایج به دست آمده مؤید این مطلب است که مقاوم نمودن ستون با پوشش FRPتاثیر بسیار قابل توجهی در کاهش مقدار جابجایی ماکسیمم ستون دارد . تقویت ستون باعث کاهش ۴۵ ٪ درصدی جابجایی ستون می شود.

۳-۵-۲ تنش

با بررسی تنش های به وجود آمده در مدل ها به نتایج زیر می رسیم :

جدول۲ : *تنش محوری : سری (الف)*

	درصد کاهش تنش محوری	درصد کاهش کرنش محوری
مدل شماره یک	8.65	51.28
مدل شماره دو	13.84	61.53
مدل شماره سه	23.53	71.79

اعداد به دست آمده حاکی از کاهش ۸ تا ۲۳ درصدی تنش محوری در مدل است . با افزایش ضخامت لایه تنش بیشتر کاهش میابد و در نتیجه مقاومت فشاری افزایش بیشتری نشان می دهد. مقادیر کرنش محوری نیز

مرجع مهندسی عمران
www.CIVILICA.com

کاهش چشم گیری داشته است .
همانند بحث جابجایی با طراحی مناسب پوشش فقط برای ناحیه لنگر خمشی ماکسیمم می توان از مصرف غیر ضروری این ماده اجتناب کرد .

٤- سری (ب)

ستون بتنی مسلح تحت ترکیبی از بار محوری یکنواخت و بار لرزه ای .
در این سری چهار مدل ستونی تحت شرایط بار گذاری یکسان و با ضخامتهای مختلف پوشش مدل شده ونتایج بررسی گردیده است . در اینجا نیز متغیر ضخامت FRP است.

مدل ها به شرح زیر می باشند :
مدل کنترل : بدون پوشش FRP
مدل شماره یک : با پوشش به ضخامت ۸.۵ میلیمتر
مدل شماره دو : با پوشش به ضخامت ۱۳.۸ میلیمتر
مدل شماره سه : با پوشش به ضخامت ۸.۵ میلیمتر، در کل ستون و ۱۳.۸ میلیمتر در نواحی لنگر خمشی ماکسیمم (۹۱۵ میلیمتر ازابتدا و انتهای ستون)

برای بررسی بار زلزله بر روی ستون (مدل ساده ای از یک پایه پل) و تاثیر تقویت آن با FRP، مدل (ب) بعد از اعمال بار محوری یکنواخت ، تحت بار افقی زلزله koyna به بزرگی ۶.۵ درجه در مقیاس ریشتر قرار گرفت . بار زلزله به صورت درصدی از شتاب زمین اعمال شده است .
بار محوری گسترده یکنواخت به مقدار 1.693 MPa و بار زلزله به صورت درصدی از شتاب زمین در انتهای ستون و در جهت ۱ محورهای مختصات وارد شده است.

٤-١ نتایج سری (ب)

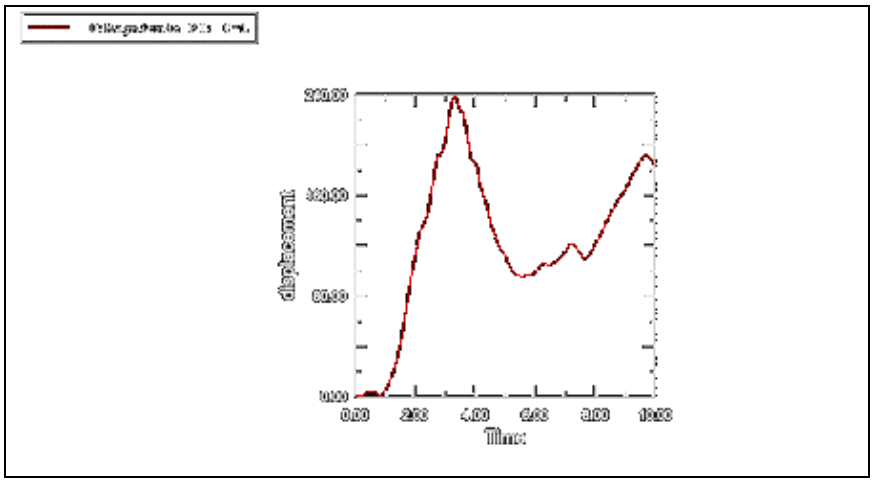
٤-١-١جابجایی

نمودار های صفحات بعد نشان می دهدجابجایی ماکسیمم در طی اعمال بار لرزه ای ، با تقویت ستون کاهش یافته است .

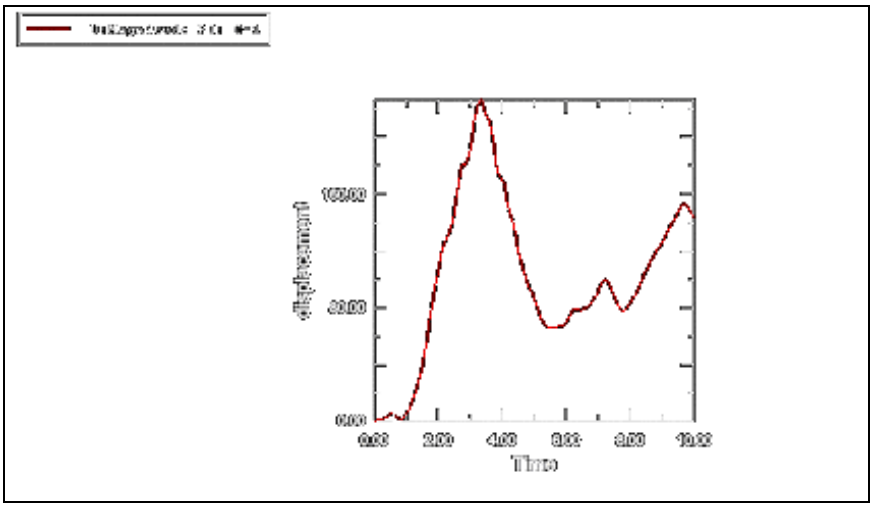
٤-١-٢ تنش

مرجع مهندسی عمران
www.CIVILICA.com

تنش ها نیز نسبت به مدل کنترل کمتر شده اند . همین امر تعداد المان هایی از ستون را که دچار کرنش های بیش از حد مجاز شده و یا جاری شده اند کاهش می دهد

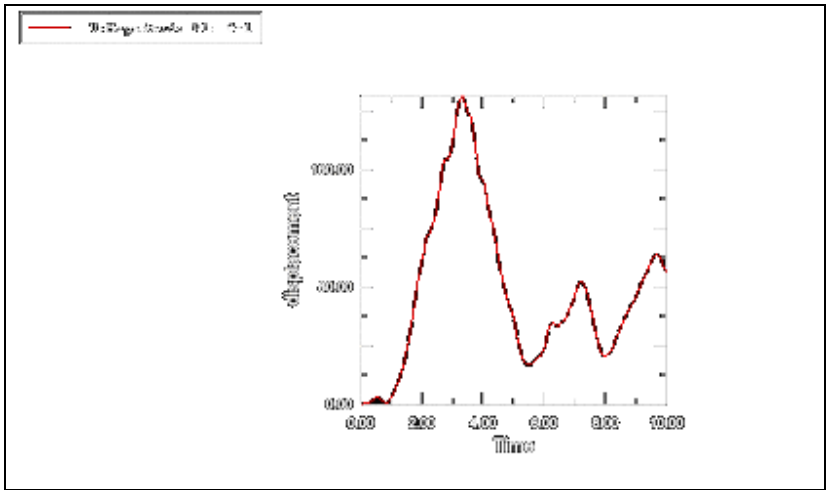


شکل ۱ : *منحنی جابجایی مدل کنترل*

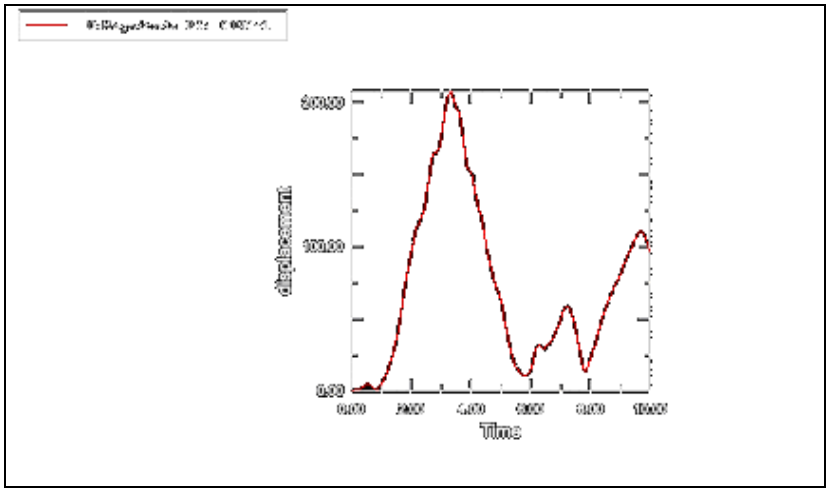


شکل ۲ : *منحنی جابجایی مدل شماره یک*

مرجع مهندسی عمران
www.CIVILICA.com



شکل ۳ : *منحنی جابجایی مدل شماره دو*



شکل ٤ : *منحنی جابجایی مدل شماره سه*

۵- نتیجه گیری

۱ – با پوشاندن ستون بتنی دایره ای شکل، تحت ترکیب بار محوری و جانبی یا ترکیب بار محوری ولرزه ای با FRP جابجایی ماکسیمم ستون کاهش میابد .این کاهش در جابجایی در مدلهای ساخته شده به ۴۵٪ هم می رسد .

۲ – در منحنی های بار–جابجایی در مدل های محصور با FRP ،با افزایش ضخامت پوشش (تحت بارثابت)، منحنی ها به سمت خطی بودن میل می کنند،این مطلب نشان می دهدظرفیت باربری ستون افزایش یافته است.

۳ –با پوشاندن ستون بتنی دایره ای شکل، تحت ترکیب بار محوری و جانبی یا ترکیب بار محوری ولرزه ای

مرجع مهندسی عمران
www.CIVILICA.com

با FRP تنش ها و کرنش ها در کل ستون کاهش میابد. پس ستون تحت بار مقاومت بیشتری از خود نشان می دهد .کاهش درتنشهای محوری از ۸ تا۲۳ ٪ متغیر است .

۴ – هر چه ضخامت FRP افزایش یابد ، جابجایی ماکسیمم و تنش ها و کرنش هاکاهش بیشتری نشان می دهند .

۵ –ضخیمتر نمودن پوشش در لنگرخمشی ماکسیمم(درستونهای سری ب)،نتایجی تقریبا مشابه با پوشاندن کل ستون می دهد.

۶ – درصد کاهش جابجایی ماکسیمم در ستون تحت بار لرزه ای کمتر از ستونهایی است که فقط تحت بار استاتیکی قرار دارند .

مراجع :

۱-مهدوی توکلی، ساناز، مقاوم سازی لرزه ای ستونهای بتنی با استفاده از FRP ، ۱۳۸۴، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه، دانشکده فنی، دانشگاه تبریز.

2-Agarwal and Broutman. 1990 .Analysis and performance of fiber composites , John Wiley & Sons.
3- Chai , Priestley and Seible.1991.Seismic retrofit of circular bridge columns for enhanced flexural performance.ACI structural J.88(5);572-584.
4-Hu ,Lin ,Jan . 2003 . Nonlinear finite element analysis of reinforced concrete beams strengthened by FRP.
5-J.G Teng. 2001. FRP strengthened RC structures.
6-Li , Hadi . 2003 . Behaviour of externally confined high-strength concrete columns under eccentric loading .
7-Li , Hedlund , Pang , Alaywan , Eggers . 2002 . Repair of RC columns using fast curing FRP composites
8-Mander , Priestley and Park . 1988 . Theoretical stress – strain model for confined concrete.ASCE J,114;1827-1849.
9-Parvin ,Wang. 2002. Concrete columns confined by fiber composite wraps under combined axial and cyclic lateral loads.

مرجع مهندسی عمران
www.CIVILICA.com