



بام خداوند جان آفرین کیم سخن در زبان آید

جناب آقای دکتر منصور قلعه نوی

ارائه دهنده محترم مقاله مدلسازی تیرهای بتن مسلح با مقاومت بالا (HSC) مسلح شده با AFRP تحت خمش

دومین کنفرانس مقاوم سازی با عنوان کنفرانس ملی مرمت و بهسازی لرزه ای ایران ، یادبود زلزله بم ، با هدف کشف استعداد های نهفته و بروز قابلیت های به بار نشسته جهت توسعه و رشد ایران اسلامی ، با برپایی سالگرد جانباختگان زلزله دلخراش بم در روز های ۳ و ۴ دی ماه ۱۳۸۶ برگزار گردید.

به پاس ارج نهادن به تلاش های علمی و پژوهشی جنابعالی در ارایه مقاله مذکور که توسط هیئت محترم علمی کنفرانس مورد پذیرش قرار گرفت ، این گواهینامه به شما اهداء می گردد. توفیق نامبرده را در توأم نمودن علم و عمل و خشیت و تقوی و کسب رضای خالق و تلاش در خدمت به خلق و سازندگی ایران عزیز آرزومند است.

دکتر ژوبین معتمد

دبیر علمی کنفرانس مقاوم سازی

دکتر مریم کاظمی پور

معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

کاظمی پور ۱۳۸۶/۱۰/۸۶

مدلسازی تیرهای بتن مسلح با مقاومت بالا (HSC) مسلح شده با AFRP تحت خمش

رضا رهگذر، استاد یار دانشگاه شهید باهنر کرمان

منصور قلعه نوی، استاد یار دانشگاه سیستان و بلوچستان

احسان عدیلی، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان

چکیده:

بعلت خواص بسیار مناسب پلیمرهای الیاف مصنوعی (FRP) استفاده از این کامپوزیت ها روز به روز گسترش می یابد. تا کنون غالب کاربرد FRP ها در تقویت و مقاوم سازی سازه ها بوده است. اما امروزه استفاده از FRP بعنوان مسلح کننده اصلی بتن (بجای میلگردهای فولادی) آغاز گردیده است. میلگردهای FRP بر میلگردهای فلزی برتریهای فراوان دارند. در تحقیق حاضر مجموعاً ۶ تیر بتنی با مقاومت بالا (HSC) که با فولاد و با AFRP مسلح شده اند توسط نرم افزار ANSYS مدلسازی و رفتار آنها تحت خمش مقایسه گردیده است. بعلاوه جهت کالیبراسیون نرم افزار، در مواردی نتایج نرم افزار با نتایج آزمایشگاهی مقایسه و صحت آنها مورد تأیید قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: تیر بتن مسلح با مقاومت بالا (HSC)، AFRP، ANSYS، رفتار خمشی

مقدمه:

پلیمرهای الیاف مصنوعی (FRP) غالباً به دو صورت ژاکت های دورپیچ و مسلح کننده اصلی برای مقاوم سازی و تسلیح بتنی بکار می روند. اگرچه در آغاز این پلیمرها فقط جهت مقاوم سازی و بصورت دورپیچ بکار می رفتند اما از زمانیکه برتری های خود را بر ژاکت های فولادی نشان دادند ذهنیت استفاده از آنها بعنوان مسلح کننده اصلی بتن شکل گرفت. اگرچه استفاده از پلیمر بعنوان مسلح کننده اصلی بتن هنوز کاملاً جایگاه اصلی خود را پیدا ننموده است ولی خواص فوق العاده مسلح کننده های پلیمری مانند مقاومت کششی بسیار بالا (حدود ۳ برابر فولاد) اشتیاق مهندسان را جهت استفاده روز افزون از آنها بیشتر نموده است. [۱] البته شایان ذکر است که میلگردهای FRP دارای رفتار خطی تا لحظه شکست می باشند که این مسئله باعث ترد شکنی تیر می شود [۲]. پلیمرهای الیاف مصنوعی چه بصورت ژاکت بکار بروند و چه به صورت میلگرد، شامل سه نوع CFRP (پلیمر الیاف کربن)، GFRP (پلیمر الیاف شیشه) و AFRP (پلیمر الیاف آرامید) می باشند.

پلیمرها چه بعنوان مسلح کننده اصلی به کار روند و چه به عنوان ترمیم کننده یا مقاوم ساز، دارای خواصی مانند وزن کم، مقاومت بالا، نسبت مقاومت به وزن بالا، سرعت عملیات اجرایی، عدم نیاز به عاشرین آلات و تجهیزات خاص، مقاوم بودن در برابر شرایط جوی و خوردگی، اقتصادی بودن مجموع عملیات و ساده بودن اجرای عملیات می باشد [۳]

تحقیقات انجام شده در تسلیح سازه های بتنی با FRP عمری کمتر از یک دهه دارند. Cosenza و دیگران در سال ۱۹۹۷ به تحقیق روی سازه های بتنی مسلح شده با FRP البته در بتن نرمال $f'_c \leq 4 \text{ Mpa}$ پرداختند [۴]

Masmoudi و Grace در سال ۱۹۹۸ بتن هایی با مقاومت 70 Mpa را با FRP مسلح نمودند و در نهایت Theriault و Benmokrane رفتار بتن های با مقاومت 100 Mpa مسلح شده با FRP تحت خمش را مورد بررسی قرار دادند [۵] اما تمامی این تحقیقات منحصر به مسلح کننده هایی از جنس CFRP و GFRP بودند. اما در سال ۲۰۰۵، Mansur، Rashid و Paramasivam [۲] این تسلیح را با پلیمر AFRP در بنتهای با مقاومت بالا انجام دادند و رفتار خمشی آنها را مورد بررسی قرار دادند. در این مقاله رفتار خمشی تیرهای مسلح شده با فولاد با رفتار خمشی تیرهای مسلح شده با AFRP مورد مقایسه قرار گرفته اند.

مدلسازی با نرم افزار ANSYS

نرم افزار ANSYS یک نرم افزار مناسب جهت تحلیل غیرخطی می باشد. مراحل طراحی به کمک نرم افزار ANSYS شامل سه قسمت پیش پردازنده (Preprocessor)، پردازنده (Solution) و پس پردازنده (Post processor) می باشد. [۶] در این تحقیق از نرم افزار ۹ ANSYS استفاده گردیده است. در نرم افزار ANSYS بیش از ۱۰۰ نوع المان جهت مدلسازی وجود دارد. در این تحقیق جهت مدل سازی بتن از المان Concrete ۶۵ که یک المان سه بعدی هشت گرهی می باشد و سه درجه آزادی در هر گره دارد استفاده شده است. همچنین جهت مدل سازی میلگرد ها از المان Link ۸ که یک المان دو گرهی و با سه درجه آزادی در هر گره می باشد استفاده شده است. [۷]

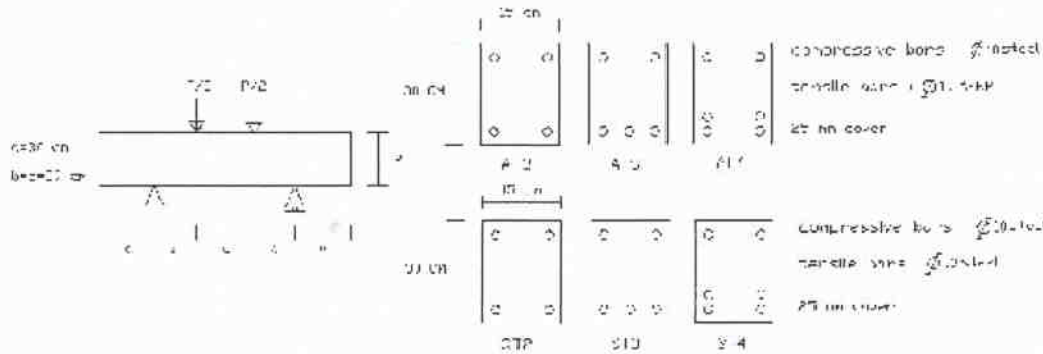


شکل ۱- المان های link ۸ و concrete ۶۵

نمونه های مدل سازی شده

۶ نمونه تیر بتنی با مقاومت بالا (HSC) همگی به طول ۳ متر مطابق شکل مورد مدل سازی قرار گرفته اند. در ۳ تیر اول میلگرد های کششی از جنس AFRP با مدول الاستیسیته 53 Gpa و مقاومت کششی 1760 Mpa می باشند. این تیرها $AF2$ ، $AF3$ و $AF4$ نام دارند که دو حرف اول از نام مسلح کننده کششی تیر یعنی AFRP گرفته شده اند و عدد بعد از آن تعداد مسلح کننده کششی می باشد. این میلگرد ها جاری نمی شوند و تا لحظه گسیختگی رفتاری کاملاً خطی خواهند داشت. در ۳ تیر دوم میلگردهای کششی از جنس فولاد با مدول الاستیسیته $21 \times 10^4 \text{ Mpa}$ و تنش تسلیم 533 Mpa می باشند. این تیرها مشابه تیرهای قبلی $ST2$ ، $ST3$ و $ST4$ نام دارند که دو حرف اول از نام مسلح کننده کششی یعنی STEEL گرفته شده اند و عدد بعد از آن تعداد مسلح کننده کششی می باشند.

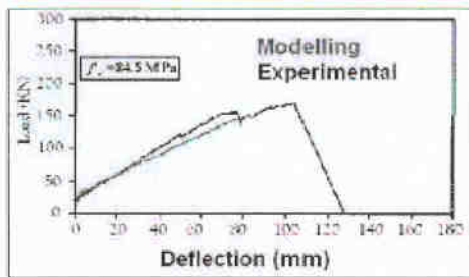
میگردد های فشاری در تمامی این تیرها فولادی می باشند. تعداد ۲۶ خاموت فولادی نمره ۱۰ در طول تیر به صورت یکنواخت توزیع شده اند. همچنین تمامی میگردهای فولادی و AFRP دارای قطر ۱۰ میلیتر می باشند. در تمامی تیرها مقاومت فشاری بتن (f'_c) برابر ۸۴/۵ Mpa منظور گردیده است. سایر مشخصات تیرها در شکل ۲ مشخص می باشند.



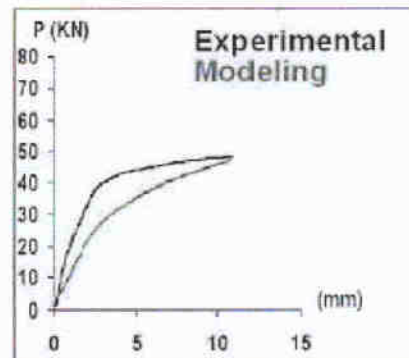
شکل ۲- مشخصات و نام تیرها

کالیبراسیون نرم افزار

پیش از اینکه ۶ تیر اصلی مورد مطالعه مدل گردند، جهت تعیین صحت عملکرد نرم افزار، نتایج تحلیل نرم افزار با نتایج آزمایشگاهی دو تیر تحت خمش مقایسه می گردد. (یک تیر با فولاد و دیگری با AFRP مسلح شده اند). تیر اول با نام ST-Control beam تیری است که با فولاد مسلح شده است و نتایج آزمایشگاهی آن توسط آقایان صدر ممتازی، رنجبر و پیراقوم [۸] (تحت عنوان کنترلی) ارائه شده است. شکل ۳ مقایسه نتایج مدل سازی با ANSYS و نتیجه آزمایشگاهی را نشان می دهد. تیر دوم با نام AF-Control beam تیری است که با AFRP مسلح شده و نتایج آزمایشگاهی آن توسط آقایان Mansur.Rashid و Paramasivam [۲] (تحت عنوان DF۳T۱) ارائه گردیده است. شکل ۴ مقایسه نتایج مدل سازی با ANSYS و نتیجه آزمایشگاهی را نشان می دهد.



شکل ۴- AF_Control Beam

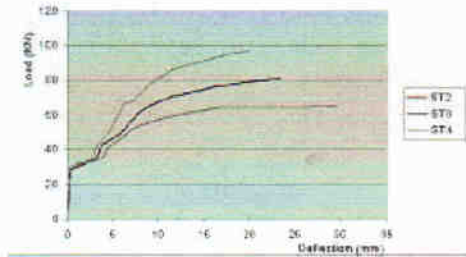


شکل ۳- ST_Control Beam

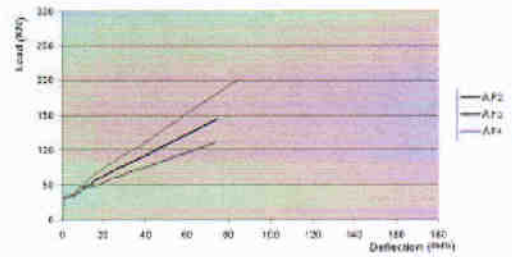
ملاحظه می شود که نرم افزار به خصوص در حصول مقاومت نهایی تیر دقیق عمل نموده است. البته در مورد تیرهای HSC مسلح شده با AFRP پس از ایجاد ترک های درشت در ناحیه کششی نرم افزار توان همگرا کردن معادلات را نداشته و قسمت انتهایی دیاگرام حاصل نشده است.

مقایسه رفتار ۶ نمونه اصلی

تیرهای بتنی با مقاومت بالا (HSC) که با AFRP مسلح شده اند تا لحظه گسیختگی رفتاری کاملاً خطی دارند شکل ۵ رفتار تیرهای AF۳، AF۲ و AF۴ را مقایسه می نماید. از طرفی تیرهایی که میلگرد های فولادی دارند، از مقطعی دارای رفتار غیر خطی می گردند. شکل ۶ رفتار تیرهای ST۲ و ST۴ را مقایسه می نماید.

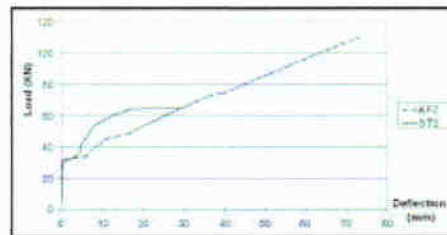


شکل ۶

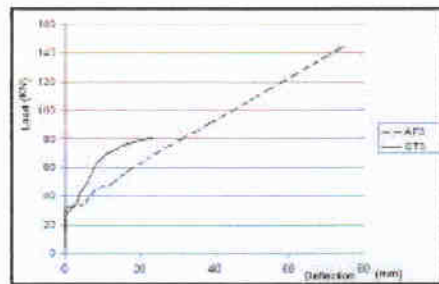


شکل ۵

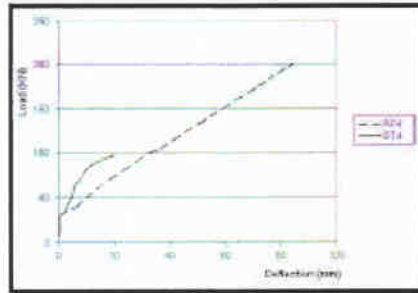
در شکل های ۷ و ۸ و ۹ رفتار هر تیر مسلح شده با AFRP با متناظر فلزی آن مقایسه گردیده است. در تمامی موارد ظرفیت باربری تیر های مسلح شده، با AFRP بیشتر می باشد و البته خیز آنها نیز بیشتر می باشد.



شکل ۷



شکل ۸



شکل ۹

جدول ۱ سایر مشخصات و نتایج تحلیل مدل ها را نشان می دهد.

جدول ۱

ردیف	نام تیر	جنس میلگرد های کششی	تعداد میلگرد های کششی	مقاومت فشاری بتن (f'_c) Mpa	مقاومت کششی مسلح کننده (Mpa)	خیز ماکزیمم تیر (mm)	نیروی گسیختگی تیر (kN)	درصد افزایش مقاومت در اثر افزایش میلگرد کششی
۱	ST۲	STEEL	۲	۸۴/۵	۵۳۳	۲۹/۶۹	۶۴/۶	-
۲	ST۳	STEEL	۳	۸۴/۵	۵۳۳	۲۳/۳۵	۸۰/۵	۲۴
۳	ST۴	STEEL	۴	۸۴/۵	۵۳۳	۱۹/۸۸	۹۶/۵	۲۰
۴	AF۲	AFRP	۲	۸۴/۵	۱۷۶۰	۷۳/۳۷	۱۱۰	-
۵	AF۳	AFRP	۳	۸۴/۵	۱۷۶۰	۷۴/۷۸	۱۴۴	۳۰
۶	AF۴	AFRP	۴	۸۴/۵	۱۷۶۰	۸۵	۲۰۰	۳۹

بحث و تحلیل نتایج

الف- تیرهای بتنی با مقاومت بالا (HSC) که با AFRP مسلح می شوند، تحت خمش تا لحظه شکست رفتار خطی از خود نشان می دهند. همچنین بعلافت رفتار خطی AFRP این تیرها بصورت ترد می شکنند که البته می تواند یک نقطه ضعف برای این تیرها محسوب گردد. اما از طرفی خیز زیاد این تیرها می تواند هشدار برای شکست باشد. (اما تیرهای بتنی با مقاومت بالا (HSC) که با فولاد مسلح شده اند رفتاری غیر خطی دارند).

ب- میزان خیز نهایی تیرهای (HSC) مسلح شده با AFRP تحت خمش در تمامی تیرها بسیار بیشتر از خیز نهایی (HSC) مسلح شده با فولاد است. در تیرهای مسلح شده با AFRP در اثر افزایش تعداد میلگردهای کششی مقدار خیز نهایی تیر افزایش می یابد اما در تیرهای مسلح شده با فولاد در اثر افزایش تعداد میلگرد های کششی مقدار خیز نهایی تیر کاهش می یابد.

ج- مقدار نیروی گسیختگی نهایی در تیرهای بتنی با مقاومت بالا (HSC) مسلح شده با AFRP بسیار بیشتر از مقدار نیروی گسیختگی نهایی در تیرهای بتنی با مقاومت بالا (HSC) مسلح شده با فولاد می باشد. همچنین درصد افزایش نیروی گسیختگی نهایی در اثر افزایش میلگرد کششی در تیرهای مسلح شده با AFRP بیش از تیرهای مسلح شده با فولاد است.

د- بعلافت مقاومت کششی بسیار بالای AFRP تیرهای بتنی (HSC) که با AFRP مسلح شده اند، در کرنشهای بالای مسلح کننده و در خیزهای بالای تیر کماکان کارایی خود را حفظ می نمایند و تا لحظه گسیختگی می توان بر نیروی وارده بر آنها افزود، اما تیرهای بتنی (HSC) که با فولاد مسلح می شوند، پس از تسلیم مسلح کننده کارایی ندارند و در اثر اعمال نیروی بسیار کم تیر خیز بسیار و مسلح کننده کرنش فراوان خواهد داشت و در واقع این تیرها فقط تا لحظه تسلیم مسلح کننده کارا می باشند.

ه- هرچه مقدار میلگرد کششی بیشتری گردد اختلاف مقاومت نهایی تیرهای بتنی HSC مسلح شده با AFRP با تیرهای بتنی HSC مسلح شده با فولاد بیشتر می گردد.

مراجع:

- حسینی، عبدالله و فدایی، سعید "بررسی معادلات تنش-کرنش بتن محصور شده توسط FRP" اولین همایش کاربرد کامپوزیت‌های FRP در بهسازی و ساخت سازه ها، اردیبهشت ۱۳۸۳.
- M.A.Rashid; M.A.Mansur & P.Paramasivam " Behavior of Aramid Fiber-Reinforced Polymer Reinforced High Strength Concrete Beams Under Bending" journal of Composites for construction, March / April ۲۰۰۵.
- وطنی اسکویی، اصغر "تأثیر FRP بر روی ترمیم و بهسازی اتصالات بتنی آسیب دیده از زمین لرزه" اولین همایش کاربرد کامپوزیت‌های FRP در بهسازی و ساخت سازه ها، اردیبهشت ۱۳۸۳
- Conseza, E. , Greco , C. , Manfredi, G. & Pecce, M. " Flexural Behavior of Concrete Beams Reinforced with Fiber Reinforced Plastic (FRP) Bars " Proc., ۳rd Int . RILEM Symp. On Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, RILEM , Bagnaux, France , ۴۶۳-۴۷۰.

د) The'riault , M. , & Benmokrane , B. " Effects of FRP Reinforcement Ratio and Concrete Strength on Flexural Behavior of Concrete Beams " J.Compos. Constr. , ۲ (۱)

۶) جمشیدی، تیما، و جوانبخت، بهاره " آموزش طراحی اجزا و مقاومت مصالح به کمک نرم افزار ANSYS " انتشارات سیمین دخت، ۱۳۸۴

۷) گرجی نژاد، سعید و زارعی نژاد، محمد " تحلیل به روش اجزاء محدود همراه با خودآموز کافل نرم افزار ANSYS " انتشارات ارس رایانه

۸) صدر ممتازی، علی، رنجبر، ملک محمد و مهدوی پیراقوم، قربان " بررسی رفتار خمشی تیرهای بتنی مسلح شده با الیاف CFRP و GFRP " سومین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۸۶.