

بررسی کاربرد ورق های FRP در افزایش ظرفیت پیچشی تیرهای بتنی

امیر ذهبیون

کارشناس ارشد زلزله

خلاصه

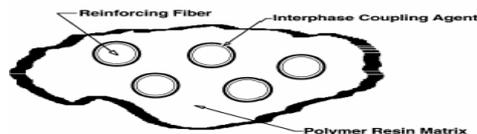
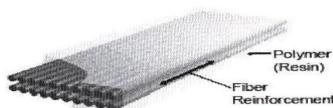
امروزه استفاده از الیاف های FRP در مقاوم سازی اعضای سازه های بتنی جایگاه ویژه ای دارد. در این مقاله با ارایه مدل های مختلفی از تیر بتنی با مقاطع مستطیلی و قوطی، در نمونه های مینا و تقویت شده، سعی در افزایش ظرفیت پیچشی تیر بوده است. این مدل ها با نرم افزار ANSYS ۹.۰ مدل سازی و آنالیز غیر خطی شده اند. برای تقویت مدل های مورد بحث، از الیاف شیشه استفاده شده، و با چیدمان های مختلف FRP معیارهای موثر در تقویت بررسی شده اند. برای هر آنالیز، منحنی پیچش - دوران ارائه شده است. در اثر آنالیزها در مدل های مستطیلی و قوطی، ظرفیت پیچشی به ترتیب تا ۴۵٪ و ۷۰٪ و دوران تا ۳۷٪ و ۴۱٪ نسبت به نمونه مینا افزایش یافت.

کلمات کلیدی: ورقه های FRP، ظرفیت پیچشی، دوران، الیاف شیشه

۱. مقدمه

زلزله هایی در طول ۳ دهه اخیر در نقاط مختلفی از جهان اتفاق افتاده که به دلایل مختلف، سبب آسیب رسیدن به ساختمان ها و نهایتاً ایجاد تلفات جانی و مالی زیادی بر انسان ها و اقتصاد کشورها شده است. وسعت این تلفات باعث شد جامعه مهندسی به فکر مساله مقاوم سازی سازه ها بیفتد و تحقیقات فراوانی در زمینه بهبود رفتار سازه ها در مقابل نیروهای جانبی مثل زلزله انجام گیرد. نتیجه این تحقیقات ابداع روش ها و محصولات جدیدی همچون FRP بود. [۶]

کامپوزیت ها مواد مرکبی هستند که از قرار دادن چندین ماده در کنار یکدیگر تشکیل می شوند و هر کدام از آنها وظیفه جداگانه ای را ایفا می کنند. [۱۰] سیستم FRP شامل الیاف، ورق های کامپوزیت و رزین می باشد. رزین ها جهت اتصال ورق ها به بتن زیرین و روکش های حفاظتی می باشد در یک ماده مرکب با توجه به خواص مورد نیاز می توان از چند نوع الیاف نیز استفاده کرد که به آنها مواد مرکب مخلوط (Hybrid) گویند. [۱۰] و [۱۲].



شکل ۲- اجزای تشکیل دهنده FRP [۱۲]

۲. خواص متداول کامپوزیت های FRP در مقایسه با مواد دیگر

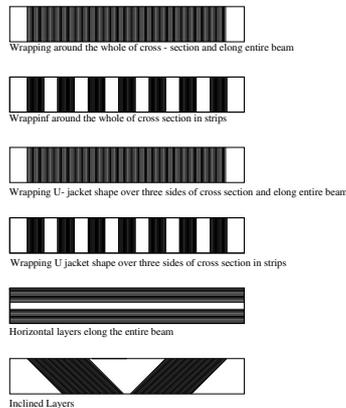
کامپوزیت های FRP در ۳ نوع کلی کربنی (CFRP)، شیشه ای (GFRP) و آرامیدی (AFRP) موجود است، که هر کدام از این موارد به انواع جزئی تری تقسیم می گردند. این مواد به علت استحکام کششی، مدول الاستیسیته بالا و مقاومت قابل توجه در برابر شرایط محیطی امروزه نقش بسیار مهمی در تقویت سازه های تضعیف شده ایفا می کنند. از مزیت های دیگر این سیستم وزن و ضخامت کم این ورق ها می باشد که تأثیر کمی در وزن سازه و ابعاد آن دارد. [۸] و [۹] جدول زیر انواع مختلف FRP با مواد دیگر را مقایسه می کند.

جدول ۱- خواص متداول کامپوزیت ها در مقایسه با مواد دیگر [۱۱]



نوع ماده	جرم حجمی (N/m^3)	مقاومت کششی	مدول الاستیسیته	کرنش شکست (%)	ضریب پواسون	ضریب انبساط حرارتی
فولاد معمولی	۷۶۷۸۶	۴۴۱,۳	۲۰۱	۰,۱۶	۰,۲۵	۱۱,۷
بتن معمولی	۲۴۶۴۴	۴,۶	۱۹,۲	۰,۰۰۳۵	۰,۱۸	۱۰,۸
آلومینیوم	۲۷۰۶۶	۲۵۶,۹	۶۹	۰,۲	...	۲۳,۲
چدن	۷۴۹۲۳	۲۸۴,۴	۸۸	۱۰,۴
S-GFRP	۱۹۵۱۵	۴۴۰,۹	۸۷	۵	۰,۲۷	۷,۵
E-GFRP	۱۹۵۱۵	۴۴۷,۳	۷۲,۴	۴,۸	۰,۲۸	۱۰
CFRP	۱۵۵۹۳	۳۶۵,۴	۲۳۱	۱,۴	۰,۲۷	۱,۵
ARAMID	۱۴۵۴۴	۳۹۲,۰	۱۴۰	۲,۸	۰,۴۴	۰,۵

۳. انواع مختلف پوشش الیاف FRP



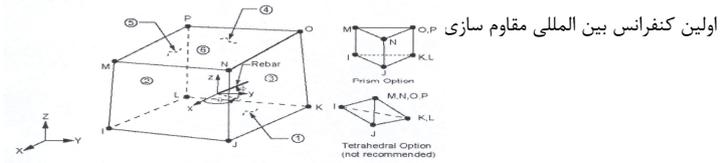
شکل ۳- انواع مختلف پوشش الیاف FRP [۴]

۴. روند مدل سازی بتن

مدل سازی بتن آرمه در برنامه اجزاء محدود و حصول یک نتیجه واقع بینانه، کاری بسیار مشکل و در برخی موارد غیرممکن است، چرا که به خاطر ایجاد ترک و ساختار حاکم بر شکست، از یک روند غیرخطی تبعیت می کند و پیش بینی رفتار آن مشکل می شود. از آنجا که در عمل، شکست بتن با ترک خوردگی و خردشدگی همراه است، مدل مورد استفاده در نرم افزار ANSYS باید قابلیت در نظر گرفتن هردو پدیده فوق را دارا باشد. در مدل سازی با ANSYS دو شیوه اصلی برای رفتار بتن می توان در نظر گرفت. (۱) با نمودار تنش - کرنش و جلوگیری از خرد شدگی فشاری با قرار دادن عدد (-۱) به جای تنش خرد شدگی تک محوره. (۲) تحلیل نمونه بدون نمودار تنش - کرنش و جایگذاری عدد اصلی تنش فشاری در قسمت مربوطه. [۲]

۴-۱. المان مورد استفاده برای بتن آرمه

برای مدل سازی بتن آرمه از المان SOLID 65 استفاده شد. این المان در ANSYS با عنوان برای مدل سازی احجام با یا بدون آرماتور به کار می رود. این المان به صورت ۸ گره ای با ۳ درجه آزادی در هر گره می باشد، و قابلیت مدل سازی ترک خوردگی در اثر کشش و نیز خرد شدگی در اثر فشار را دارد. [۷]



شکل ۴- المان ۶۵ SOLID [۷]

۵. المان مورد استفاده برای آرماتورهای طولی

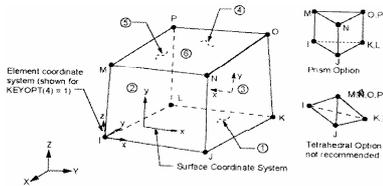
المان LINK۸ برای مدل سازی آرماتورهای طولی بکار رفت. این المان با قابلیت تحمل کشش و فشار در یک جهت است، و علاوه بر آرماتورها قابلیت مدل سازی اعضای با نیروی محوری همچون: خریاها، کابل ها، اتصالات، فنرها و ... را دارد. المان مذکور دارای دو گره و ۳ درجه آزادی در هر گره بوده و توانایی در نظر گرفتن: خزش، تورم، شکل پذیری (حالت خمیری) و تغییر شکل های زیاد را دارد.



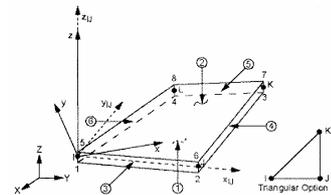
شکل ۵- المان Link8 [۷]

۶. المان مورد استفاده برای مدل سازی FRP

در این نمونه ها برای مصالح FRP از المان های Solid ۴۵ و Shell ۶۳ به تناوب استفاده شد. این ۲ المان در زیر نمایش داده شده اند.



شکل ۷-



شکل ۶- المان ۶۳ SHELL [۷]

المان ۴۵ SOLID [۷]

مطابق باشکل های بالا المان ۴۵ SOLID المانی ست غیرخطی با ۸ گره و ۳ درجه آزادی در هر گره. بنابراین همپوشانی خوبی با المان ۶۵ SOLID پیدا می کند. المان ۶۳ SHELL شامل ۴ گره و ۳ درجه آزادی انتقالی و ۳ درجه آزادی دورانی در هر گره می باشد. هر دو المان قابلیت تحمل تغییر شکل های بزرگ را نیز دارد.

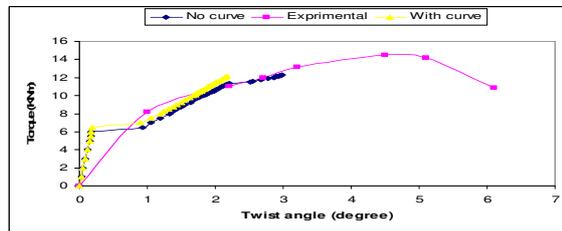
۷. آنالیز عددی یک تیر کنسول مستطیل شکل

۷-۱. تعریف نمونه تحلیلی

تیر مورد نظربه ابعاد: $1900 \times 350 \times 150$ mm در حالت بدون تقویت (نمونه شاهد) و گونه های مختلف تقویت شده با استفاده از الیاف شیشه مدل سازی انجام شد، و نمودارهای پیچش- دوران و تصاویر بدست آمده از تحلیل، ارایه شد. ابتدا اعداد آزمایشگاهی بیان می گردند. $E_c = 30000$, $f'_c = 36$, $f'_s = 251$, $f_r = 3/6$, $A_s = 201$, $F_y = 502$ و $F_{ys} = 251$ (واحدها نیوتن mm) و آرماتور مورد استفاده هم با قطر ۱۶ mm (سطح مقطع 201 mm^2) در نظر گرفته شد. [۳]



۲-۷. نمونه شاهد



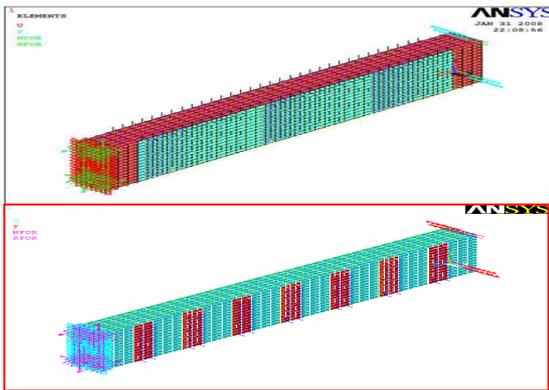
شکل ۸- نمودار مقایسه نمونه شاهد در حالت های با منحنی تنش - کرنش و بدون آن با نتیجه آزمایشگاهی [۱]

شکل ۸) نشان می دهد که تیر بتنی در حالت بدون منحنی تنش- کرنش ۸۲٪ و با منحنی، ۸۱٪ از لنگر وارده آزمایشگاهی را تحمل می کند، (۲/۳ در مقابل ۱۲/۱۷ KNm از لنگر آزمایشگاهی ۱۵ KNm)

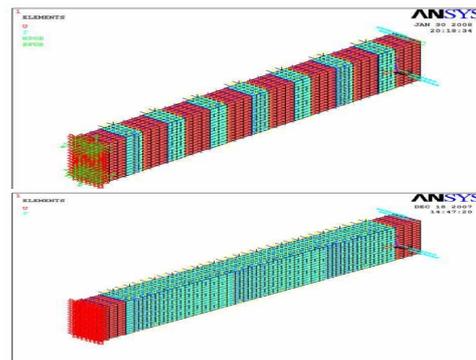
۳-۷. نمونه های تقویت شده

در نمونه های تقویت شده پوشش FRP (۱۶۰۰mm×۸۵٪ از کل طول) و در ورق FRP ضخامت ۱/۱mm، مدول الاستیسیته ۱۰۱۸۱Mpa و مقاومت کششی ۵۰۶Mpa بود. در لایه دور پیچ ضخامت ۲mm، مدول الاستیسیته ۱۱۱۹۹ و مقاومت کششی نیز ۵۵۷ Mpa جایگزین مقادیر قبلی شد. تمامی موارد نمودار پیچش- دوران (Torque-Twist)، و ترک ها بررسی شد؛ مدل ساخته شده در Strip با ۷ نوار به عرض ۱۰۰ mm و فاصله مرکز به مرکز ۲۵۰mm بود. [۳]

۳-۷-۱. ۴ گونه ابتدایی از شکل ۳ برای تقویت تیر مورد نظر مورد استفاده قرار گرفت.

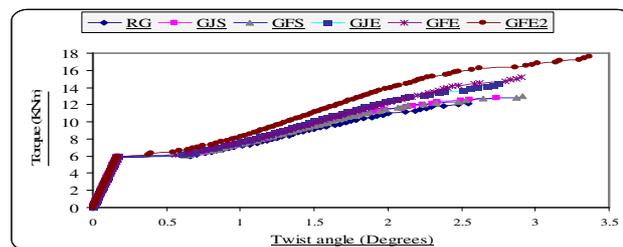


شکل ۹- های



گونه

مختلف تقویت شده [۱]



شکل ۱۰- مقایسه تمام حالت های تقویت شده [۱]

در زیر منظور از اختصارات در نمودار بالا آمده است.

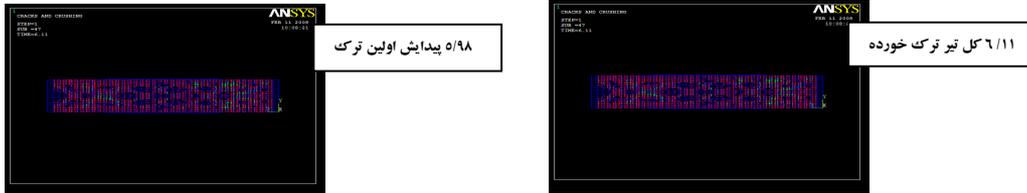
RG: نمونه شاهد، GJS: پوشش نواری در ۳ وجه (U Strip)، GES: پوشش دور پیچ نواری (Strip)، GJE: پوشش کلی تیر در سه وجه (U - Wrap)، GFE: پوشش دور پیچ در طول تیر (Wrap) و GFE2: پوشش دور پیچ در طول تیر با ۲ لایه FRP. در نمونه GJS ظرفیت پیچشی ۴٪ و دوران ۷٪ نسبت به



نمونه شاهد افزایش داشته است. در حالت GFS این افزایش به ترتیب ۵/۷٪ و ۱۴٪ بوده، در ۱۷٪ GJE و ۸٪ در: ۲۳٪ GFE و ۱۴٪ و در GFE۲ برابر با: ۴۵٪ و ۳۷٪ بدست آمده است، هم دوران وهم ظرفیت پیچشی از نمونه شاهد به سمت پوشش ۲ لایه دورپیچ با رو به افزایش است. [۱]

۸. بررسی چگونگی ترک های پیچشی ایجاد شده در تیر

شکل های زیر نشان می دهد که: همزمان با ایجاد اولین ترک های پیچشی در تیر به یکباره سختی المان ها از میان می رود و کل تیر ترک می خورد.

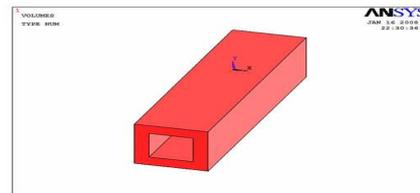
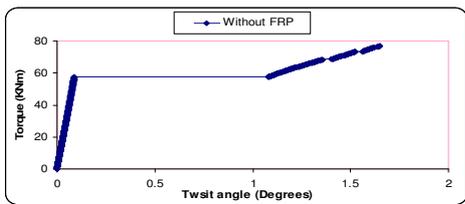


شکل ۱۱- به محض ایجاد اولین ترک های جزئی در تیر، سختی المان ها صفر شده و کل تیر ترک می خورد. [۱]

۹. آنالیز عددی یک تیر کنسول با مقطع قوطی

۹-۱. نمونه شاهد

این مدل به ابعاد ۵۰۰*۵۰۰*۱۰۰mm بوده که حجم آن ۳/۲ برابر تیر مستطیلی مورد بحث می باشد. تمامی مشخصات در نظر گرفته شده مانند حالت مستطیلی بوده، فقط سختی بتن کمتر و به مقدار ۲۵۰۰۰MPa می باشد. در زیر مدل ساخته شده و نمودار پیچش - دوران در حالت شاهد مشاهده می شود.



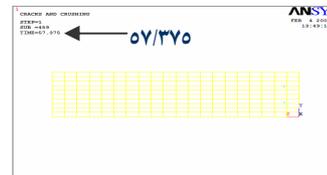
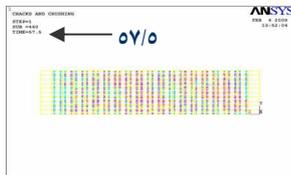
شکل ۱۲-

ساخته شده به شکل

مدل

قوطی و نمودار پیچش - دوران در نمونه شاهد [۱]

همانطور که در شکل بالا مشاهده می شود نمودار پیچش - دوران در مقطع قوطی با یک پرش افقی همراه است.



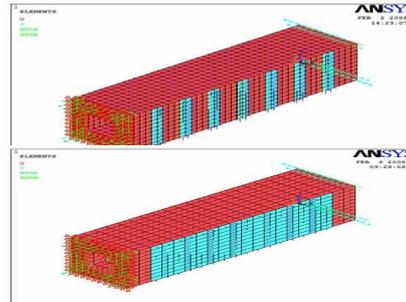
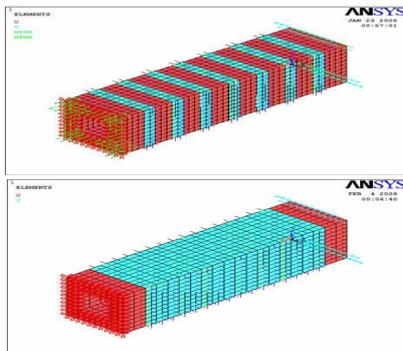
شکل ۱۴- نمایش ترک ها در یک زیر گام پس از شروع

شکل ۱۳- نمایش ترک ها در شروع پرش افقی [۱]

پرش افقی [۱]

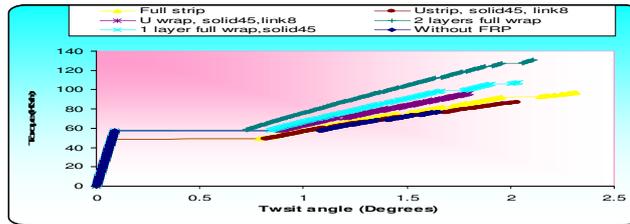
از دو شکل اخیر مشخص می شود که محل شروع پرش افقی در نمودار لنگر - دوران، همان محل آغاز ایجاد ترک در تیر است، و پس از ایجاد اولین ترک ها، کل طول تیر ترک می خورد.

۹-۲. نمونه های تقویت شده در مقطع قوطی





ساخته شده با مقطع



شکل ۱۵- مدل های قوطی در حالت تقویت شده [۱]

شکل ۱۶- مقایسه تمام حالت های تقویت شده در مقطع قوطی [۱]

جدول ۲) میزان افزایش دوران و ظرفیت پیچشی تیر با مقطع قوطی در حالت های مختلف تقویت [۱]

نوع نمونه	میزان دوران	ظرفیت پیچشی	افزایش دوران (%)	افزایش ظرفیت پیچشی (%)
شاهد	۱/۶۵	۷۷	-	-
U-Strip	۲/۰۳	۸۷	۲۳	۱۳
Full -Strip	۲/۳۲	۹۷/۲۵	۴۱	۲۶
U- wrap	۱/۸	۹۶,۶۷۵	۹	۲۵
۱ Layer Full Wrap	۲/۰۳	۱۰۷/۵۵	۲۳	۴۰
۲ Layers Full Wrap	۲/۱۱	۱۳۱	۲۸	۷۰

۱۰. بررسی مساله Debonding در تیر

۱-۱۰. نکته هایی درباره Debonding

عمل جدایش ورقه های FRP از سطح بتن را Debonding گویند. عوامل متعددی در Debonding موثرند. از جمله: مقاومت بتن و نوع پوشش FRP. با توجه به شواهد موجود در موارد دورپیچ مشکل Debonding به مراتب کمتر است، اما اگر FRP به صورت کامل دورپیچ نشود، (یعنی به صورت U-Jacket پوشیده شده باشد)؛ اولین مود گسیختگی: Debonding ورقه FRP از سطح بتن است. در این میان سهم FRP از تحمل نیروهای خمشی، برشی و پیچشی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در مورد نیروی پیچشی تنها منبع معتبر آیین نامه (۲۰۰۱) FIB است، که مطالب آن اکثراً بر اساس مطالعات (Taljsten ۱۹۹۸) می باشد. [۴]

انواع مودهای گسیختگی تیر بتنی تقویت شده با FRP:

۱- گسیختگی FRP (Triantafillou ۱۹۹۷)

۲- لایه لایه شدن ورق FRP از سطح بتن (Delamination)

گسیختگی FRP در سطحی از تنش تحت مقاومت نهایی ناشی از تمرکز تنش در ورق ایجاد می شود، که در این شرایط سطح کرنش در گسیختگی، سطح کرنش موثر نامیده می شود و با رابطه زیر محاسبه می شود.

$$f_{fe} = \epsilon_{fe} E_f \quad (1)$$

در رابطه (۱) f_{fe} تنش کششی موثر، ϵ_{fe} کرنش موثر و E_f مدول الاستیسیته FRP می باشد.

۱۰-۲. روابط مورد استفاده برای محاسبه کرنش موثر

(۱) محاسبه کرنش موثر با روابط Triantafillou

(Triantafillou (۱۹۹۸) مشاهده کرد که، کرنش موثر تابعی از صلبیت محوری ورقه FRP می باشد که با $\rho_f E_f$ بیان می شود. در این عبارت ρ_f

نسبت ارماتور FRP بوده و بسته به نوع پوشش محاسبه می شود.

$$\epsilon_{fe} = 0.0119 - 0.205(\rho_f E_f) + 0.0104(\rho_f E_f)^2 \quad \text{for} \quad 0 \leq \rho_f E_f \leq 1GPa \quad (2)$$

$$\epsilon_{fe} = 0.00245 - 0.00065(\rho_f E_f) \quad \text{for} \quad \rho_f E_f > 1GPa$$



(۲) محاسبه کرنش موثر باروابط Khalifa et al

$$\varepsilon_{fe} = R\varepsilon \quad R = 0.5622(\rho_f E_f)^2 - 1.2188(\rho_f E_f) + 0.778 \leq 0.5 \quad (۲)$$

(۳) محاسبه کرنش موثر باروابط آیین نامه FIB

(۱-۳) اگر الیاف مورد استفاده از نوع کربنی بوده و کاملاً دور پیچ باشند. با رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\varepsilon_{fe} = 0.17 \left(\frac{(f'_c)^{2/3}}{E_f \rho_f} \right)^{0.3} \varepsilon_{fu} \quad (۴)$$

(۲-۳) اگر الیاف مورد استفاده از نوع کربنی بوده و الیاف فقط ۳ وجه تیر را پوشانده باشند. (U-Jacket)

$$\varepsilon_{fe} = \min \left[0.65 \left(\frac{(f'_c)^{2/3}}{E_f \rho_f} \right)^{0.56} \times 10^{-3}, 0.17 \left(\frac{(f'_c)^{2/3}}{E_f \rho_f} \right)^{0.3} \varepsilon_{fu} \right] \quad (۵)$$

و یا شیشه باشد و همچنین نوع پوشش الیاف هم

(۳-۳) اگر الیاف مورد استفاده از نوع آرامید

به صورت دورپیچ باشد داریم:

$$\varepsilon_{fe} = 0.048 \left(\frac{(f'_c)^{2/3}}{E_f \rho_f} \right)^{0.47} \varepsilon_{fu} \quad (۶)$$

$$\varepsilon_{fe} = 8.23 \times 10^{-3}$$

برای حالت های مختلف Strip

برای حالت های مختلف Wrap (۱ لایه)

$$\varepsilon_{fe} = 2.73 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{fe} = 1.5 \times 10^{-3}$$

برای حالت Wrap (۲ لایه)

$$\varepsilon_{fe} = 1.5792 \times 10^{-4}$$

دو مورد اول از رابطه Triantafillou؛ و مورد Wrap (۲ لایه) به ترتیب: از رابطه Khalifa و همکاران و رابطه: آیین نامه FIB (مورد مربوط به الیاف

GFRP و AFRP با پوشش دور پیچ) استفاده شده است.

۳-۱۰ بررسی مسأله Debonding در حالت ۲ Layers Full Wrap

برای تقویت به صورت Full-Wrap دولایه بر اساس روابط: Khalifa و همکاران و آیین نامه: FIB به صورت زیر بدست آمد.

$$\varepsilon_{fe} = 1.5 \times 10^{-3} \quad \text{و} \quad \varepsilon_{fe} = 1.5792 \times 10^{-4}$$

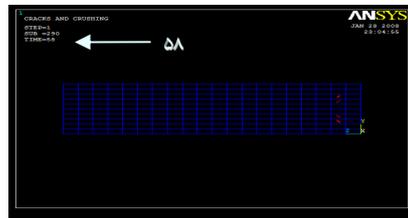
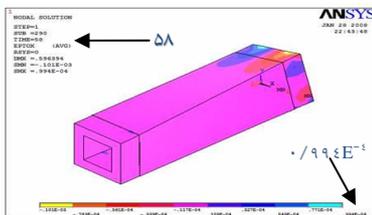
جالب این که: مقدار محاسبه شده برای کرنش موثر با وجود رابطه های مختلف و مقادیرهای متفاوت به دست آمده هر دو یک زیرگام را شامل

می شوند. (۵۸ KNm). اکنون با توجه به مقدار محاسبه شده آخرین زیرگام بارگذاری پیش از وقوع Debonding بدست می آید.

شکل های زیر ترک ها و مقدار کرنش در این زمان ($0.994E^{-6}$) را نمایش می دهند. نکته قابل توجه در شکل زیر آنست که: آخرین زیرگام زمانی

پیش از Debonding مطابق با نمودار پیچش - دوران، درست لحظه شروع پرش افقی در تیر (۵۸ KNm زیرگام ۲۹۰) است. نکته دیگر آن که در آخرین

زیرگام زمانی قابل قبول پیش از Debonding (مطابق باروابط: Khalifa et al و آیین نامه: FIB) تنها ترک هایی جزئی در تیر مشاهده می شود.

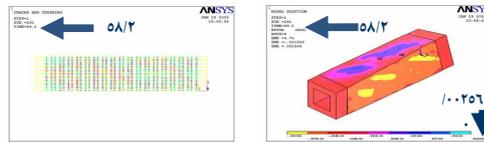


شکل ۱۷- یک زیر گام پیش از Debonding که شروع پرش افقی در نمودار پیچش - دوران است تیر ترک نخورده [۱]

۴-۱۰ کرنش ها و ترک ها در آغاز Debonding در حالت ۲ Layers Full Wrap



همانطور که در زیر ملاحظه می گردد، همزمان با شروع مساله Debonding کل طول تیر، ترک می خورد.



وقوع Debonding و ترک

شکل ۱۸- همزمانی

خوردن کل تیر [۱]

۱۱. خلاصه و نتیجه گیری

در این مقاله سعی بر مدل سازی و آنالیز تیر بتنی در ۲ مقطع مستطیلی و قوطی تحت پیچش خالص با استفاده از نرم افزار ANSYS برای بررسی میزان افزایش ظرفیت پیچشی تیر با الیاف FRP و نیز مساله Debonding بود.

(۱) در نتیجه آنالیزها در مدل های مستطیلی و قوطی، ظرفیت پیچشی به ترتیب تا ۴۵٪ و ۷۰٪ و دوران تا ۳۷٪ و ۴۱٪ نسبت به نمونه مینا افزایش یافت.

(۲) با وقوع اولین ترک های پیچشی در تیر، سختی المان ها به یکباره صفر شده و کل تیر ترک می خورد.

(۳) میزان ظرفیت پیچشی در حالتی که با ۲ لایه به صورت کامل پوشش داده شود، بیشترین افزایش را نشان می دهد.

(۴) با شروع مساله Debonding کل تیر ترک می خورد. این در حالیست که تا ۱ زیرگام پیش از آن تنها ترکهایی جزئی در تیر مشاهده می شود.

(۵) در تمام آنالیزهای انجام شده در تیر با مقطع قوطی یک پرش افقی در نمودار پیچش - دوران مشاهده می گردد که لحظه شروع این پرش همزمان است با لحظه آغاز Debonding

۱۲. قدردانی

اینجانب وظیفه خود می دانم که در راه این مقاله از زحمات آقایان: دکتر کیاچهر بهرنیا و دکتر سید بهزاد طلایی طباء تشکر و قدردانی بسیار نمایم.

۱۳. مراجع

۱. ذهبیون، امیر، بررسی کاربرد ورق های FRP در افزایش ظرفیت پیچشی تیرهای بتنی ، دانشگاه آزاد شهرکرد، پایان نامه کارشناسی ارشد عمران - زلزله زمستان ۱۳۸۶
۲. طلایی طباء، سیدبهرزاد، افزایش شکل پذیری اتصالات بتن آرمه با استفاده از ورقه های FRP، دانشگاه صنعتی اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد عمران - سازه بهار ۱۳۸۲
۳. Ameli, Mehran, Hamid R. Ronagh; and Peter F. Dux, Behavior of FRP Strengthening Reinforced Concrete Beams under Torsion "journal of composites for constructions Vol. ۱۱, NO. ۲, April ۱, ۲۰۰۷. ©ASC
۴. Ameli, Mehran, "" Torsional strengthening of Reinforced Concrete Beam with FRP Composites", PH.D. Thesis, University of Queenzland, ۲۰۰۵, (Supervisor: Ronagh, H. R.).
۵. A.C.I. 440.2R-02 "Guide for the design and construction of externally bonded FRP system for strengthening concrete structures" American Concrete Institute, MCP ۲۰۰۴
۶. Zahabioun, Amir "Different strengthening methods in existing structures base on different criteria's & explaining F.R.P wrapping methods" ۷-۸ march ۲۰۰۷ (Iran - Gorgan ۱st international congress on civil engineering in the promoting of quality
۷. ANSYS, User's Manual, 9th Ed., SAS IP, Inc., ۲۰۰۴
۸. ناطق الهی، فریبرز و ملکی؛ شهرام، مقام سازی سازه های بتنی با استفاده از FRP، انتشارات نوپردازان، ۱۳۸۵
۹. رهایی، علیرضا و زمردیان، آرش، تقویت و ترمیم سازه های بتن مسلح با الیاف پلیمری مرکب، انتشارات دانشگاه تفرش، ۱۳۸۴

اولین کنفرانس بین المللی مقاوم سازی لرزه ای ، تبریز- ایران ، ۲۹ مهر الی ۱ آبان ماه ۱۳۸۷



۱۰. متولی، مسعود جزوه درسی کامپوزیت های FRP، دانشگاه تهران

۱۱. هاشمی، سید حمید، مقاوم سازی ساختمانهای بتن مسلح به کمک الیاف پلیمری FRP، کنفرانس بین المللی زلزله، دانشگاه باهنر کرمان، دی ماه ۱۳۸۳

۱۲. الیاسیان، ایمان، روش های مقاوم سازی سازه های بتن آرمه و آشنایی با روش تقویت با ورقه های FRP www.Iran Civil Center.com