بررسی روش NSM برای تقویت تیرهای بتنی دوسر گیردار با میله‌های کامپوزیتCFRP

محمد کاظم شربتدار، عضو هیأت‌علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، سمنان، ایران
محمدرضا محمدیان، عضو هیأت‌علمی موسسه آموزش عالی رشد دانش، ایران

Msharbatdar@semnan.ac.ir
تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۲۸ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۴/۱۰/۸

چکیده:

کاشت سطحی میلگرد(NSM) یکی از روش‌های جدید مقاوم‌سازی بر اساس خاصیت چسبندگی پلیمرهای CFRP به صورت میلگرد درون شیارهایی در قسمت پوشش بتن می‌باشد. خوردگی و یا کمبود آرماتورها در المان‌های بتنی، موجب ضعف آن‌ها تحت بارهای سرویس و زلزله خواهد شد. این شرایط مستلزم مقاوم‌سازی سازه‌ها برای افزایش ظرفیت می‌باشد. استفاده از روش NSM CFRP Bar می‌تواند موجب افزایش ظرفیت خمشی و برشی المان‌های بتنی شود.

این مقاله شامل جزئیات و نتایج کار آزمایشگاهی و عددی می‌باشد. در قسمت کار آزمایشگاهی دو نمونه تیر بتنی طراحی و ساخته شد و سپس تحت بار متمرکز در وسط دهانه تست گردید. هر دو نمونه به صورت دوسرگیردار و با مشخصات یکسان بودند. یکی از نمونه‌ها به عنوان نمونه مرجع و دیگری به روش NSM مقاوم سازی شد. در این مقاله از میله‌های دست‌ساز CFRP استفاده شده است که ساخت آن سریع و آسان بوده و در صورت عدم دسترسی به میله‌های استاندارد FRP، با هزینه بسیار کم و با استفاده از نیروهای کم تجربه قابل تولید در محل می‌باشد. از نتایج تست آزمایشگاهی جهت کالیبراسیون نمونه‌های عددی در برنامه ABAQUS استفاده شده است. نتایج حاصل نشان داد که روش NSM یک روش راحت و اقتصادی جهت مقاوم‌سازی بوده و استفاده از آن در تقویت تیرها، موجب افزایش در ظرفیت باربری، توزیع مناسب ترک‌ها و کنترل تغییرشکل اعضای تقویت شده می‌گردد.

کلید واژگان: روش نصب در نزدیکی سطح(NSM)، میله های FRP، مقاوم‌سازی خمشی. تیر بتن آرمه

Archive of SID
www.SID.ir

۱-مقدمه

تعداد زیادی از ساختمان‌ها و پل‌ها در سراسر دنیا، تحت عواملی چون خوردگی، اشتباه در طراحی و ساخت و همچنین بارهای اضافی ناشی از تغییرات کاربری، نیاز به مقاوم‌سازی دارند. در سال‌های اخیر از FRP بطور گسترده جهت مقاوم‌سازی المان‌های بتنی استفاده شده است. روش کاشت سطحی میلگرد یکی از روش‌های مقاوم‌سازی با استفاده از FRP می‌باشد. استفاده از این روش نیازی به آماده‌سازی سطوح ندارد. مراحل نصب اصولی سیستم NSM به صورت زیر می-باشد:

- شیار زدن سطح بتن

شیار زدن بر روی سطح بتن با استفاده از دستگاه فرز انجام می‌شود. با مشخص بودن عمق و عرض شیار، برشکاری بر روی سطح بتن انجام می‌گیرد.

- آماده‌سازی شیار

تمیز بودن شیار می‌تواند بر خصوصیات پیوند بین بتن و چسب اپوکسی اثر بگذارد. بنابراین آماده‌سازی سطح یکی از پارامترهای بسیار مهم می‌باشد. بنابراین با استفاده از فشار هوا هر گونه گرد و خاک و یا هر آلاینده دیگر از داخل شیارها کاملا خارج می گردد.

- نصب میله های FRP

برای نصب میله‌های FRP در ابتدا هر شیار توسط اپوکسی با غلظت بالا به صورت نیمه، پر می‌شود. کلیه حباب‌های هوا باید حتما خارج شوند. اپوکسی مورد نظر باید با سیستم FRP سازگاری داشته باشد. غلظت بالای اپوکسی سبب تسهیل عملیات بالاسری می‌گردد. یک میله FRP در مرکز شیار قرار گرفته و به آرامی در محلش فشار داده می‌شود. این عمل سبب می‌شود که اپوکسی به محیط دور میله نفوذ کرده و به صورت پوششی، روی میله را بپوشاند. سپس بقیه فضاهای خالی شیار توسط اپوکسی کاملا پر می گردند. در نهایت اضافه اپوکسی از سطح برداشته شده و با سطح بتن همسطح می‌گردد. ابعاد شیار باید طوری باشد که در اطراف میله فضای کافی برای ایجاد چسبندگی مناسب وجود داشته باشد. روش NSM از میله‌های FRP در مقابل آسیب‌هایی مانند آتش، سایش و ضربه محافظت می‌نماید. این روش جهت مقاوم‌سازی نواحی ممان منفی تیر و دال‌ها بسیار مناسب می‌باشد. این مقاله بر روی جنبه‌های مقاوم‌سازی به روش NSM بر روی تیرها تمرکز دارد. تمامی نتایج تست‌های قبلی نشان داده است که این روش علاوه بر تغییر در نحوه گسترش ترک‌ها در مقطع، ظرفیت نهایی تیرها را افزایش داده است. بر اساس مدارک موجود از نتایج کار سایر محققین، بیشتر مودهای گسیختگی، به علت جدا شدن FRP از چسب بوده است. بر اساس مطالعات موجود، الگوی مدهای شکست که در آزمایش ها مشاهده شده اند عبارتند از خرد شدن بتن در فشار ، قبل یا بعد از تسلیم آرماتورهای کششی، گسیختگی لایه‌های FRP بعد از تسلیم فولاد در کشش، جداشدن پوشش بتن در انتهای FRP، جداشدن FRP از سطح بتن و همچنین گسیختگی برشی می‌باشد.

ابعاد شیار باید طوری باشد که در اطراف میله فضای کافی برای ایجاد چسبندگی مناسب وجود داشته باشد. دلورنزیز به منظور افزایش چسبندگی و تأخیر در جداشدگی چسب، پیشنهاد کرده است که ابعاد شیار ۲ برابر قطر میله FRP باشد [۱]. چسب اپوکسی پر شده در اطراف میله FRP باید مناسب باشد. نکته قابل توجه این است که ایجاد شیارها فقط برای سازه‌هایی امکان‌پذیر است که دارای پوشش کافی باشند. دلورنزیز بر روی ۸ نمونه با GFRP وCFRP تست خمشی انجام داد و مشاهده کرد که به ترتیب ۳۰٪ و ۴۴٪ نسبت به نمونه مبنا، افزایش ظرفیت ایجاد شد. در آزمایشات انجام شده توسط نانی و دلورنزیز مشاهده شد که بکارگیری میله CFRP با طول مهاری ۸۰۰ میلیمتر، مقاومت خمشی تیر T شکل با تکیه‌گاه ساده حداقل ۳۰ درصد افزایش می‌یابد [۲]. بر اساس آزمایشات انجام شده توسط آسپلاند (۱۹۴۹)، ظرفیت و رفتار نمونه‌ای که با میلگردهای فولادی و با روش NSM توسط گروت مقاوم‌سازی شده است، تفاوت چندانی با نمونه عادی استاندارد ندارد[۳]. در سوئیس برای تقویت پلی که آرماتورهای منفی آن در هنگام ساخت بیش از حد پایین رفته بود، از روش NSM استفاده گردید که منجر به افزایش ۲۷ درصدی ظرفیت ممان‌ها در مقایسه با عرشه تقویت نشده بود[۴]. تحقیقات نشان داده که استفاده از نوارهای کامپوزیت بجای میله کامپوزیتی می‌تواند سودمندتر باشد زیرا ممان اینرسی بالاتری دارد. بر اساس آزمایشات باروس (۲۰۰۳)، میله‌های CFRP باعث افزایش ۳۰ درصدی مقاومت شدند درحالیکه نوارهای CFRP باعث افزایش ۴۳ درصدی مقاومت شدند[۵]. همچنین نوردین و همکارانش (۲۰۰۱) نشان دادند که در صورتی که از NSM به صورت پیش‌تنیده استفاده گردد، مقاومت مقطع در برابر ترک‌خوردگی می‌تواند تا ۱۰۰ درصد افزایش یابد[۶].

۲-کار آزمایشگاهی

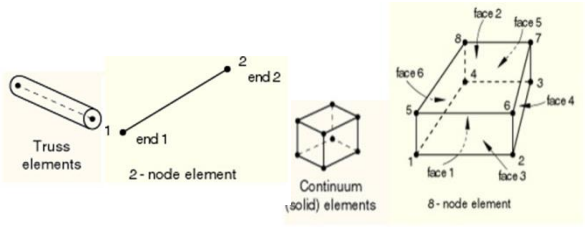
جهت بررسی اثر مقاوم‌سازی با میله‌های CFRP به روش NSM بر روی افزایش ظرفیت خمشی تیرهای بتن‌آرمه، دو نمونه آزمایشگاهی ساخته شد. و جهت شبیه‌سازی حالت واقعی هر دو نمونه دارای آرماتورهای طولی محدود در حالت ضعف خمشی به صورت دو سرگیردار اجرا در نظرگرفته شد.

۳-کار تحلیلی

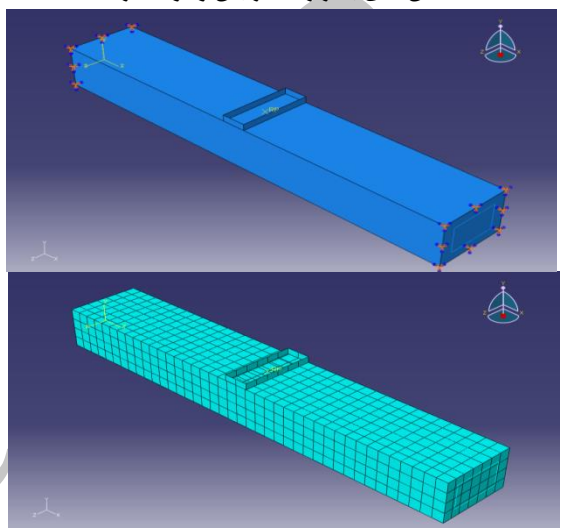
جهت کالیبراسیون رفتار تیرها، هر دو نمونه آزمایشگاهی در برنامه اجزای محدود آباکوس طراحی و آنالیز شدند. به منظور مش بندی المان های بتنی از المان C3D8R و برای آرماتورها و خاموت‌ها از المان سه‌بعدی خرپای خطی T3D2 استفاده شد. به جهت اینکه رفتار میله FRP در مدل ما، فقط به صورت کششی است، آنرا Isotropic فرض کرده و به آن المان T3D2 اختصاص داده شد. که در قسمت اشکال، مدل‌های مش‌زده و نمونه مقاوم‌سازی شده با FRP نشان داده

Archive of SID
www.SID.ir

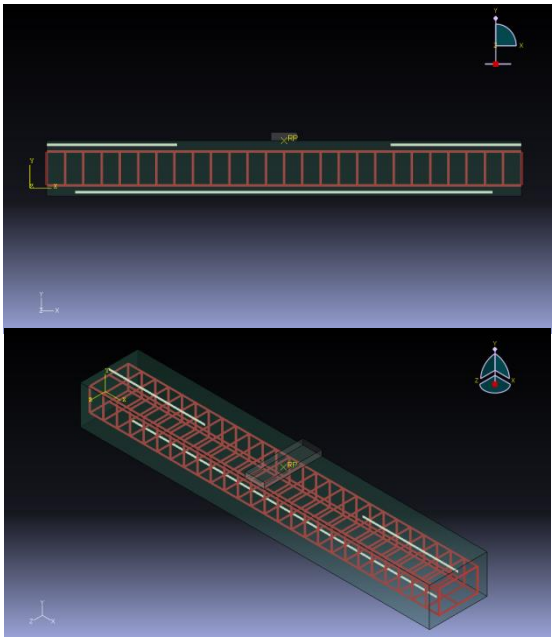
شده‌اند. در انتها نتایج کار آزمایشگاهی و کار تحلیلی با هم مقایسه شده است.



شکل ۱- المان های بکار رفته در بتن و فولاد در ABAQUS



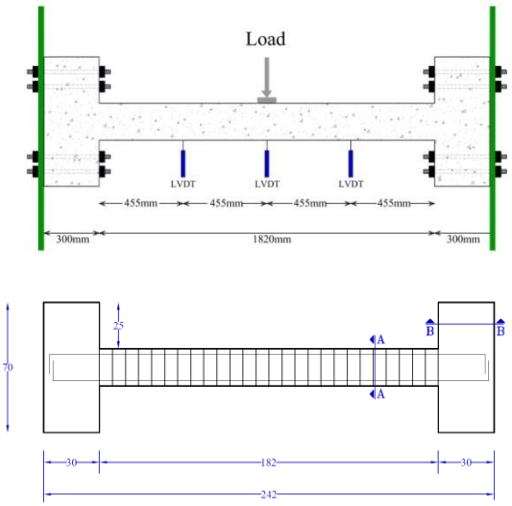
شکل ۲- نمونه تحلیلی در برنامه ABAQUS.



شکل ۳- جانمایی میله های FRP در نمونه مقاوم سازی شده

۴- مشخصات مصالح و نمونه ها

با توجه به اینکه رفتار واقعی تیرها در قاب به صورت دوسرگیردار می‌باشد، ۲ نمونه تیر به صورت دوسرگیردار با ضعف خمشی ساخته، مقاوم‌سازی و آزمایش شد. تیرها از نظر ابعاد، آرماتورگذاری و فاصله بین خاموت‌ها کاملا مشابه بودند. تیر اول به عنوان تیر مرجع بوده و تیر دیگر در نواحی کششی با در نظر گرفتن شرایط واقعی در اجرا، مقاوم‌سازی شد. تیرهای خمشی به صورت دو سرگیردار با مقطع مستطیل شکل، تحت بارگذاری تک‌نقطه‌ای در وسط دهانه تست شدند. مطابق شکل ۴ در طراحی تیر از شش میلگرد شماره ۱۰ برای اطمینان از ضعف نمونه در برابر خمش و خاموت شماره ۸ با فاصله ۷ سانتیمتر جهت اطمینان از مقاوم‌بودن نمونه در برابر برش استفاده شد. مقاومت فشاری بتن 46MPa، تنش تسلیم و نهایی میلگرد شماره ۱۰ به ترتیب برابر با 560,380 MPa و برای میلگرد شماره ۱۶ به ترتیب برابر با 570,455MPa بود. جهت شبیه‌سازی تیر دوسرگیردار، نمونه توسط ستونک‌هایی که مشخصات آن در شکل ۴ نشان داده شده است به قاب صلب آزمایشگاه به وسیله پیچ و مهره متصل گردید. این اتصال تیر به ستون توسط ۱۶ پیچ در هر ستون انجام گرفته است. طول کل نمونه ۲۴۲ سانتیمتر، طول مفید آن ۱۸۲ سانتی متر، ارتفاع و عرض نمونه به ترتیب تیر ۲۰ و ۳۰ سانتیمتر می‌باشد.



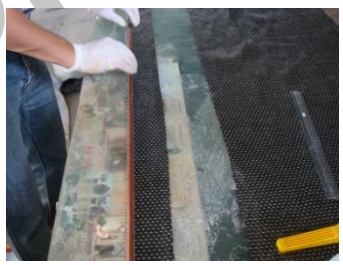
شکل ۴- جزئیات نمونه‌های آزمایشگاهی (تیر خمشی دو سرگیردار)

۵- مقاوم‌سازی و آماده‌سازی جهت تست نمونه‌ها

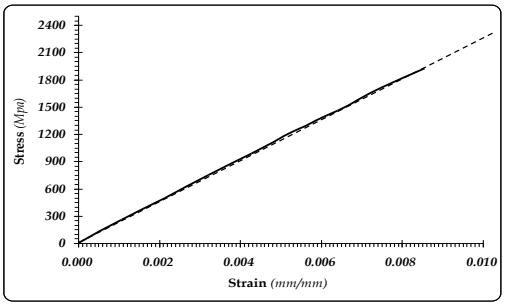
نمونه مرجع BF1 و نمونه تقویت شده BF2 نامیده شد. ابعاد شیار جهت مقاوم‌سازی ۲۰ میلیمتر می‌باشد. نمونه BF2 در تمام ناحیه کششی ممان مثبت و ممان منفی تیر توسط یک میله CFRP به روش NSM مقاوم‌سازی شد. برای این کار از شکل جدیدی از میله‌های CFRP که به صورت دست‌ساز تولید می‌شود، استفاده گردید. در این گونه از میله‌ها الیاف CFRP با روشی خاص توسط چسب EPOXY دور هسته چوبی پیچیده می‌شود. در شکل ۵ مراحل ساخت این گونه

www.SID.ir

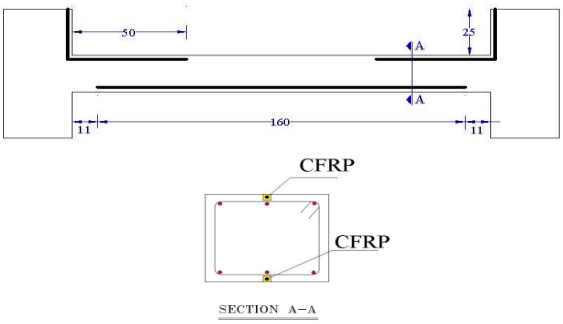
میله‌ها و در جداول ۱ تا ۳ مشخصات الیاف FRP، میله‌های FRP دست‌ساز و مشخصات چسب مورد استفاده نشان داده شده است. چسب مورد استفاده جهت ساخت میله‌های FRP و کاشت میله‌های FRP به روش NSM به ترتیب Epoxy G400 و Epoxy C330 ساخت شرکت Sireg می‌باشد. تنش نهایی و مدول الاستسیته میله های FRP به ترتیب عبارتند از 3550 MPa و 235 GPa. این نتایج حاصل از تست کششی طبق استاندارد CSA-S880 می‌باشد که نمودار آن در شکل ۶ دیده می شود. در نواحی ممان منفی به جهت تأمین طول مهاری میله، FRP به L شکل ساخته شد و در تیر و ستون جاگذاری شد (شکل ۷). قبل از تست نمونه‌ها کرنش سنج‌ها در نقاط بحرانی مورد نظر بر روی آرماتورها، خاموت ها و میله های FRP متصل گردید. همچنین در وسط دهانه تیر بر روی بتن نیز جهت اندازه-گیری کرنش بتن، کرنش‌سنج چسبانده شد. به منظور اندازه‌گیری خیز و تغییر مکان تیر تحت بارگذاری، تغییرمکان‌سنج‌ها [۱] در زیر تیر مطابق شکل ۴ قرار داده شدند. اعمال بار به صورت استاتیکی و متمرکز در وسط دهانه تیر با گام‌های ۵ کیلو نیوتن صورت گرفت. داده‌های کرنش‌سنج و تغییرمکان‌سنج‌ها توسط Data logger ثبت گردید.



شکل ۵- مراحل ساخت میله‌های CFRP



شکل ۶- نمودار تنش- کرنش میله FRP دست‌ساز



شکل ۷- موقعیت میله‌های FRP در نمونه‌ها

جدول ۱- مشخصات مکانیکی الیاف FRP مورد استفاده در ساخت میله‌ها

نام محصول	نوع فیبر	مدول الاستیسیته فیبر (GPa)	مقاومت کششی فیبر (MPa)	کرنش نهایی (%)	ضخامت الیاف (mm)
YC-N200	کربن مقاومت بالا	235	3550	1.5	0.11

[۱] LVDT -

Archive of SID
www.SID.ir

جدول۲- ویژگی‌های مکانیکی میله‌های FRP ساخته شده

کرنش (mm/mm)	مقاومت کششی (MPa)	مدول الاستیسیته (GPa)	سطح مقطع FRP (mm^2)	نوع الیاف - رزین
0.0086	1920	220-230	7.8	کربن مقاومت بالا- اپوکسی

جدول۳- مشخصات مکانیکی چسب مورد استفاده

کرنش نهایی	چگالی (Kg/l)	مدول الاستیسیته (MPa)	مقاومت کششی (MPa)	کاربرد	نوع چسب
3%	1.115	1600	50	میله FRP	Epoxy G400
1.6%	1.350	----	30	NSM	Epoxy C330

۶- نتایج تست نمونه‌ها

در نمونه مرجع BF1، اولین ترک در تیر حدوداً در بار 40 kN ایجاد شد. میزان خیز در این بار برابر با 1.39 میلیمتر بود. در بار 80.5 kN و با خیز 3.84 میلیمتر، یکی از آرماتورهای کششی وسط تیر به کرنش 0.002 رسید و در بار 87.5 kN و با خیز تیر برابر 4.29 میلیمتر، آرماتور کششی دیگر در این منطقه به جاری شدن رسید. پس از آن در بار 200 kN آرماتورهای کششی در قسمت ممان منفی تیر جاری شدند. بار نهایی این تیر برابر 250 kN، با خیز نهایی 24.04 میلیمتر بود. همانطور که در شکل۸-الف مشخص است شکل خرابی تیر از نوع شکست خمشی می‌باشد. اکثر ترک‌ها که در نواحی کششی ممان مثبت وسط تیر و ممان منفی طرفین تیر ایجاد شده‌اند، از نوع خمشی می‌باشند. زاویه ترک‌ها با محور طولی تیر از صفر تا ۹۰ درجه متغیر است. در نهایت با افزایش عرض ترک‌ها در نواحی ذکر شده، پارگی میله FRP و در نهایت خرد شدن بتن در نواحی فشاری زیر جک و طرفین تیر، نمونه قابلیت باربری خود را از دست داد.

در نمونه تقویت شده BF2، اولین ترک، حدوداً در بار 50kN ایجاد شد. میزان خیز در این بار برابر با 1.77 میلیمتر بود. در بار 111kN و با خیز 4.92 میلیمتر، آرماتورهای کششی وسط تیر به کرنش 0.002 که حدود جاری‌شدن می‌باشد، رسیدند. این امر با تغییر اندک در شیب نمودار بار–تغییر مکان همراه بود. پس از آن با افزایش بار تا 159 kN آرماتورهای کششی در قسمت ممان منفی تیر جاری شدند. خیز تیر در این زمان برابر با 8.15 میلی‌متر بود. بار نهایی این تیر 259.7 kN و با خیز نهایی 27.21 میلی‌متر بود. همانطور که مشخص است شکل خرابی تیر از نوع شکست خمشی می‌باشد. اکثر ترک‌ها که در نواحی کششی ممان مثبت وسط تیر و ممان منفی طرفین تیر ایجاد شده‌اند، از نوع خمشی می‌باشند. زاویه ترک‌ها با محور طولی تیر از صفر تا ۹۰ درجه متغیر است. در نهایت با افزایش عرض ترک‌ها در نواحی ذکر شده و خرد شدن بتن در نواحی فشاری زیر جک و طرفین تیر، نمونه قابلیت باربری خود را از دست داد. در شکل ۸–ب شکست در نمونه BF2 بعد از بارگذاری نشان داده شده است.

نتایج تست و نمودار بار– تغییرمکان نمونه‌های آزمایشگاهی به ترتیب در جدول ۴ و شکل ۹ نشان داده شده است.

۷- نتایج تحلیل در برنامه ABAQUS

در این قسمت تیرهای آزمایشگاهی در برنامه اجزای محدود ABAQUS طراحی و آنالیز شدند. مشخصات نمونه های تحلیلی مانند ابعاد تیر، فولاد، بتن وFRP دقیقا مشابه نمونه های آزمایشگاهی می‌باشد. بار و خیز نهایی نمونه BF1 به ترتیب برابر است با 263 kN و 28.22 mm. برای نمونه BF2 بار و خیز نهایی نمونه به ترتیب برابر است با 261kN و 37 mm. گسترش ترک ها در نمونه های تحلیلی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در شکل ۱۰ نمودار بار تغییر مکان نمونه های تحلیلی و آزمایشگاهی با هم مقایسه شده اند.

Archive of SID

www.SID.ir

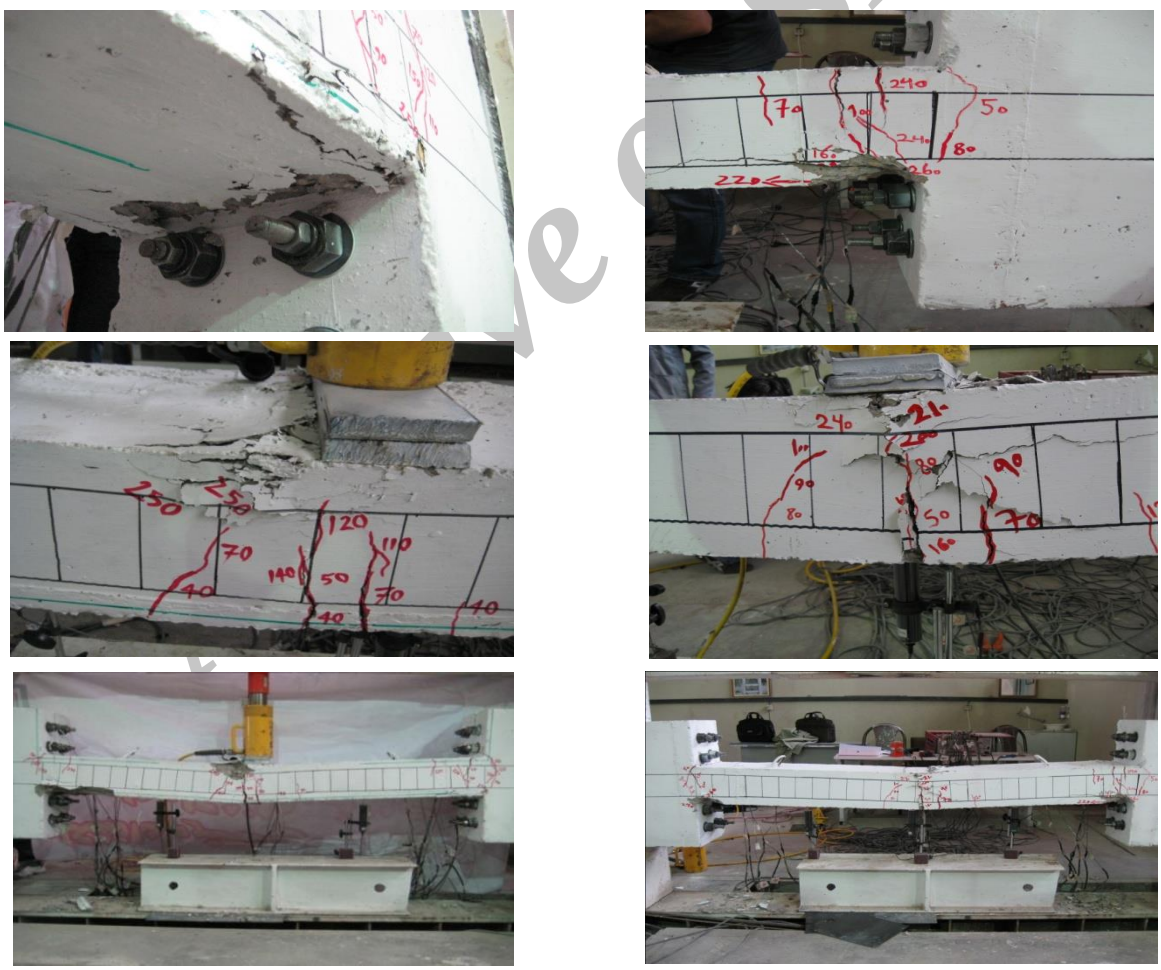
جدول۴- نتایج تست نمونه ها

Beam	EXPERIMENTAL				NUMERICAL		
	P_{cr} (kN)	Δ_{cr} (mm)	P_U (kN)	Δ_U (mm)	P_U (kN	Δ_U (mm)	Failure Mode
BF1	40	1.39	250	24.04	263	28.22	Flexural Failure
BF2	50	1.77	259.7	27.2	261	37	Flexural Failure

P_{cr} : Cracking Load — Δ_{cr} : Midspan Deflection at Cracking Load

P_Y : Yielding Load — Δ_Y : Midspan Deflection at Yielding Load

P_U : Ultimate Failure Load — Δ_U : Midspan Deflection at Failure

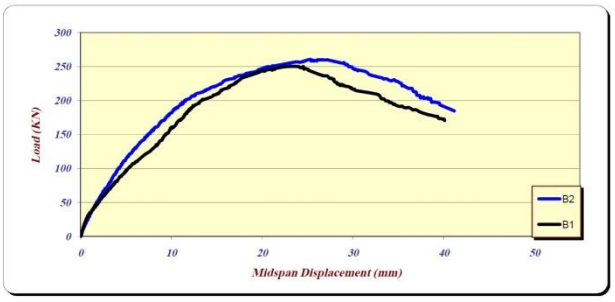


الف: نمونه BF1

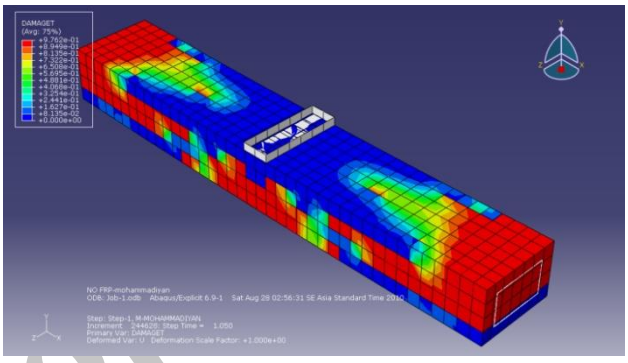
ب: نمونه BF2

شکل ۸- شکست خمشی در نمونه‌های دو سر گیردار

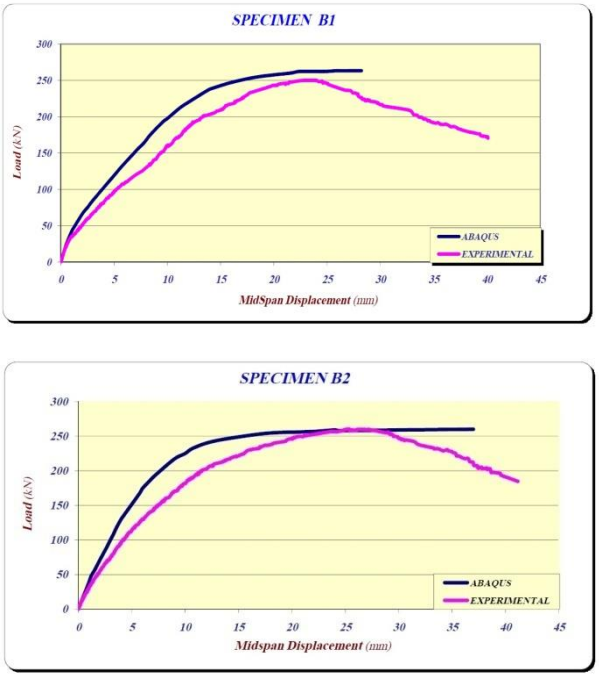
www.SID.ir



شکل۹- نمودار بار-تغییرمکان نمونه‌های آزمایشگاهی



شکل ۱۰- گسترش ترک‌ها در نمونه‌های تحلیلی



شکل ۱۱- نمودار بار-تغییرمکان نمونه‌های تحلیلی و آزمایشکاهی

۷-نتیجه گیری

مقاوم‌سازی با میله‌های CFRP به روش NSM، به طور کلی باعث افزایش مقاومت نهایی تیرهای تقویت شده نسبت به نمونه مرجع شد.

میله‌های FRP دست‌ساز عملکرد مناسبی در مقاوم‌سازی دارند. ساخت آن‌ها سریع و آسان بوده و در صورت عدم دسترسی به میله‌های استانداردFRP، با هزینه بسیار کم و با استفاده از نیروهای کم تجربه قابل تولید در محل می‌باشد.

بر اساس مطالعات انجام شده در این پژوهش، تا قبل از ترک-خوردگی خمشی بتن، نمودارهای بار- تغییرمکان تیرها تقریبا برهم منطبق بوده است. تا زمان جاری شدن میلگردهای کششی نیز نمودارها تقریبا مشابه دارند ولی پس از آن تیرهای تقویت شده، مقاومت و سختی بیشتری نسبت به تیرهای تقویت نشده از خود نشان دادند. در واقع می‌توان بیان کرد اثر مقاوم‌سازی پس از جاری شدن میلگردها مشهودتر بوده است و تا لحظه جاری شدن میلگردها، رفتار تیرها تقریباً مشابه می‌باشد.

از مهمترین دلایل اختلاف بین نمودارهای بار- تغییرمکان نمونه‌های آزمایشگاهی و نمونه‌های تحلیلی ABAQUS، می‌توان به خطاهای ساخت و عدم لحاظ کردن آن‌ها در برنامه ABAQUS دانست. همچنین برنامه ABAQUS از اثر اصطکاک سنگدانه‌های بتن صرف نظر می‌کند ولی این پارامتر در تست آزمایشگاهی موثر بوده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد نمودارهای اجزاء محدود دارای سختی بیشتری نسبت به نمودارهای آزمایشگاهی هستند. دلیل این موضوع این نکته می‌باشد که درجات آزادی گره‌ها در واقعیت بسیار بیشتر از درجات آزادی گره‌ها در برنامه‌های اجزا محدود است که موجب می‌شود نمودارهای حاصل از برنامه‌های اجزاء محدود کمی سخت‌تر از نمودارهای آزمایشگاهی باشند. با توجه با دلایل ذکر شده، اختلاف بین نمودارها منطقی به نظر می‌رسد. بنابر این انطباق حدودی نمودارهای بار- تغییرمکان، نشان‌دهنده صحت مدل‌سازی و آنالیز در برنامه ABAQUS می‌باشد.

در نمونه‌های دوسرگیردار، مقاوم‌سازی تیر BF2 حدوداً 4% موجب افزایش ظرفیت خمشی نسبت به نمونه مرجع BF1 شده است. بر اساس محاسبات تحلیلی، سطح مقطع بالانس $A_{Fb}=4.21\ cm^2$ است ولی در نمونه های دوسرگیردار A_F از این میزان بسیار کمتر است بنابراین تنش در میله‌های FRP به سرعت بالا رفته و میله‌ها سریعا به کرنش نهایی خود رسیده و دچار گسیختگی شدند. در صورت افزایش سطح مقطع میله های FRP و تعداد آن‌ها، مقاوم‌سازی اثر خود را به وضوح نشان خواهد داد.

Archive of SID
www.SID.ir

۸-منابع

[1].De Lorenzis L, Nanni A, La Tegola A. "Flexural and shear strengthening of reinforced concrete structures with near surface mounted FRP rods", In: Proceedings ACMBS III, Ottawa (Canada), 2000.

[2].De Lorenzis, L., and Teng, G. J., "Near Surface Mounted FRP Reinforcement : An Emerging Technique for Strengthening Structures", Composites Part B: Engineering, 2007, No. 38, pp. 119-143.

[3].Asplund, S.O,"Strengthening Bridge Slabs with Grouted Reinforcement", ACI Structure Journal, Vol.45,Issue 1,1949,pp.397-406.

[4]. Hassan, T., and Rizkalla, S. (2002). ''Flexural strengthening of prestressed bridge slabs with FRP systems.'' PCI J., 47, 76–93.

[5].Barros JAO, Dias S. "strengthening of reinforced concrete beams with laminate strips of CFRP", Cosenza (Italy), 2003. p. 289–94.

[6]. Nordin H and Täljsten B, " Concrete Beams Strengthened with Prestressed Near SurfaceMounted CFRP", journal of composits for construction, ASCE january 2006.

[7]- محمدیان، محمدرضا. بررسی رفتار تیرهای دو سر گیردار تقویت شده با میله‌های CFRP به روش NSM. پایان نامه کارشناسی ارشد. مهر ۱۳۸۹.

Archive of SID

www.SID.ir

Evaluation of nsm method for strengthening of rc two fixed-end beama with composite of cfrp bars

Mohammad Kazem Sharbatdar
Assistant Professor, Islamic Azad University, Semnan Branch, Semnan, Iran
Mohammadreza Mohammadian
Assistant Professor, Higher Education institutions, Roshdedanesh, Semnan, Iran

Archive of SID

ABSTRACT

Near surface mounted (NSM) is a recent strengthening technique based on bonding carbon fiber reinforced polymer (CFRP) bars (rods or laminate strips) into pre-cut grooves on the concrete cover of the elements to strength. The corrosion or lack of steel bars in reinforced concrete members and the resulting deterioration of structures prompted research on fiber reinforced polymers (FRP) bars as potential reinforcement for concrete members, for use in new construction. These FRP bars can be used to increase flexural and shear capacity of existing concrete members at NSM (Near Surface Mounted) method.

The paper presents the details and results of the experimental and numerical programs. Two large-scale reinforced concrete beams were designed, constructed, and tested under one point concentrated loading system. The specimens had two fixed-end support. They were in same size and reinforcement characteristic. A new type of CFRP bar was proposed in this study, the CFRP bars were manually made in laboratory and were hooked at end for anchoring in concrete. The test results has been used to calibrate the analytical models. Moreover extra analytical work has done.

The results indicate that FRP bars can be used effectively in existing structures to increase their flexural capacity and change their crack pattern. Photographs taken at selected stages of loading illustrated the performance of each specimen. The force-displacement was presented and compared to find efficiency of FRP bars at NSM method.

Key words: Near Surface Mounted (NSM), FRP Bars, Flexural Strengthening, RC beam.

www.SID.ir