بررسی رفتار دال‌های بتنی در شرایط زنجیره‌ای و مقاوم‌سازی آنها به کمک الیاف FRP

محمدجواد کریملو[1]، محمدرضا سهرابی[2]، مهدی اژدری مقدم[2]

تاریخ دریافت: ۸۹/۰۹/۲۲
تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۱/۲۶

چکیده

یکی از مسائلی که در حال حاضر به‌صورت گسترده مورد توجه مهندسین عمران قرار گرفته است، بحث مقاوم‌سازی سازه‌ها در برابر بارهای غیر عادی می‌باشد که از آن جمله می‌توان به بار انفجار، بارهای پیامد آتش‌سوزی و ضربه اشاره کرد. یکی از مواردی که در حال حاضر به منظور مقاوم‌سازی سازه‌ها مورد توجه قرار گرفته است، استفاده از ظرفیت ناشی از عملکرد زنجیره‌ای اعضای سازه به منظور مقاوم نمودن سازه در برابر خرابی ناشی از بارهای غیر عادی می‌باشد. در این بین با توجه به آنکه دال‌های بتن مسلح، یکی از اعضای اصلی بسیاری از سازه‌های بتنی بشمار می‌آیند، رفتار آنها در شرایط زنجیره‌ای و توانایی آنها در حین عملکرد زنجیره‌ای تأثیر بسزایی در حفظ جان افراد و پایداری کلی سازه دارد. با توجه به این مهم، مقاوم‌سازی آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اولین گام در مقاوم‌سازی و بهبود رفتار یک دال بتنی، شناخت رفتار دقیق آن در شرایط زنجیره‌ای می‌باشد. با توجه به این مهم در این تحقیق ابتدا یک دال بتن مسلح، مشابه یکی از نمونه‌های آزمایشگاهی به کمک نرم‌افزار ABAQUS مدل‌سازی و تحلیل شده است و در ادامه، بعد از اطمینان از توانایی نرم‌افزار در مدل‌سازی و تحلیل نمونه مربوطه، انواع حالات مقاوم‌سازی و بهبود رفتار دال بتنی به کمک الیاف FRP در شرایط زنجیره‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مطالعه حالات متعددی از لحاظ الگوهای متفاوت آرایش الیاف و ضخامت‌های مختلف تحقیق شده است. نتایج نشان داد که ظرفیت باربری دال، ۵۰٪ و شکل‌پذیری آن ۳۰٪ افزایش یافت و هم‌چنین دال‌های تقویت شده با الیاف FRP توانایی عملکرد مناسبی در شرایط زنجیره‌ای را دارند و می‌توانند از خرابی ناشی از بارهای غیرعادی جلوگیری کنند.

کلیدواژه‌ها: دال بتن مسلح، مقاوم‌سازی، الگوی آرایش الیاف FRP، عملکرد زنجیره‌ای، بارهای غیرعادی

۱- کارشناس ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، باشگاه پژوهشگران جوان، واحد زاهدان، E-mail: karimlu.mj@gmail.com
۲- استادیار و عضو هیأت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان، گروه مهندسی عمران

۱- مقدمه

۱-۱- بارهای غیر عادی

به‌طور معمول و در حالت عمومی، تمامی سازه‌ها بر اساس دو نوع بار ثقلی و جانبی تحلیل و طراحی می‌شوند. بار جانبی وارد بر سازه می‌تواند باد و یا زلزله باشد. فرضا در مورد سازه‌هایی مانند برج‌های خنک‌کننده با توجه به وزن کم و ارتفاع زیاد همواره بار باد بحرانی است و در مورد ساختمان‌های با ارتفاع متوسط در مناطق لرزه خیز همواره بار، زلزله بحرانی است. در معنای کلی، اگرچه نوع بارهای جانبی و میزان آنها و هم‌چنین میزان بار ثقلی با توجه به آیین‌نامه مورد نظر، نوع کاربری سازه، سطح عملکرد مورد نظر و موارد مختلف دیگر تغییر می‌کند ولیکن از آنجایی که این نوع بارگذاری‌ها در فرایند تحلیل و طراحی مد نظر قرار واقع شده‌اند بارهای عادی تلقی می‌شوند. در این بین بارهای دیگری نیز هستند که یک سازه به‌طور معمول به منظور مقابله با آنها تحلیل و طراحی نشده است. بارهایی مانند آتش‌سوزی، انفجار و ضربه از آن جمله‌اند. در این بین دو نکته اساسی وجود دارد که باعث می‌شود سازه در برابر این نوع بارگذاری‌ها بسیار ضعیف عمل کند. نکته اول آن است که این بارگذاری‌ها در طول فرایند تحلیل و طراحی منظور نشده‌اند و نکته دوم که بسیار حایز اهمیت است، این است که ذات و ماهیت این بارگذاری‌ها متفاوت از بارهای عادی است. این بارها با توجه به نوع ماهیت خود، خواص ذاتی مصالح سازنده سازه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. به‌عنوان مثال با افزایش درجه حرارت، سختی و مقاومت فولاد کاهش می‌یابد و عملا در حرارت‌های بالای ۹۰۰ درجه، سختی فولاد ساختمانی بسیار ناچیز می‌شود و یا رفتار مصالح در برابر بارهای انفجاری به علت سرعت بالای بارگذاری بسیار متفاوت از بارهای عادی است. مجموعه این تفاوت‌ها باعث شده که این دسته بارها در گروهی به نام بارهای غیر عادی قرار داده شوند[۳].

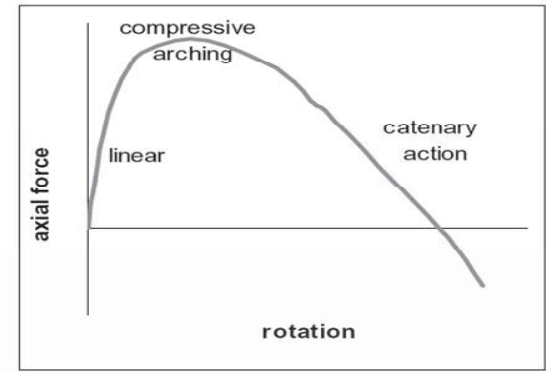
۱-۲- شرایط زنجیره‌ای

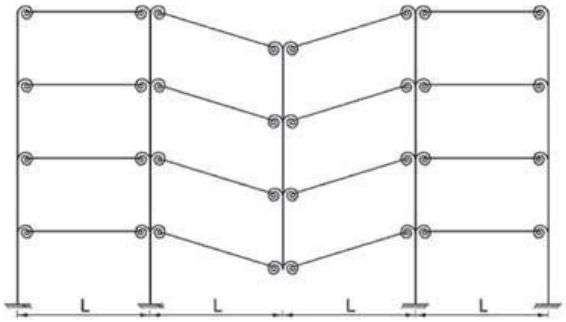
در اغلب آیین‌نامه‌ها و روش‌های محافظت در برابر خرابی پیش‌رونده سه روش ارائه شده است:

۱- نیروهای کلافی
۲- افزایش موضعی مقاومت
۳- مسیر جایگزین

در روش سوم پس از تخریب ستون، سازه بایستی توانایی پل زدن بر روی ستون از بین رفته را داشته باشد. آنچه مسلم است این است که در چنین شرایطی تیرها در محل اتصالات باید دوران‌های زیادی را تحمل کنند. فرایندی که در طی آن ستون حذف می‌شود و تیر مابین دو ستون کناری به‌صورت کابلی آویزان می‌شود، در محل اتصالات یک فرایند سه مرحله‌ای می‌باشد:

۱- مرحله خطی
۲- مرحله قوسی
۳- مرحله فعالیت زنجیره‌ای



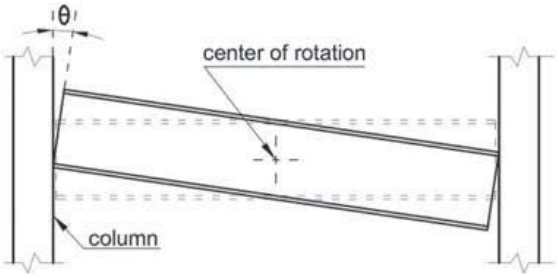


در مرحله اول اگرچه ستون از بین رفته، ولی تمامی اعضای اتصال و تیر هدف الاستیک هستند و خمش تیر، بار محوری اضافی بر محل اتصال وارد کرده و نمودار صعودی است.

در مرحله دوم، تیر در محل اتصال رفتار صلبی داشته و دچار دوران می‌شود. (شکل زیر)

و در مرحله سوم، همزمان با پلاستیک شدن تیر و اتصال، دوران به شدت افزایش یافته و تیر به حالت یک کابل در می‌آید که این مرحله همان مرحله زنجیره‌ای است. در صورتی که سازه در محل اتصالات، تیر و دال بتنی بتواند دوران‌های ایجاد شده

در شرایط زنجیره‌ای را تحمل کند، پایداری در برابر خرابی پیش‌رونده به نحو مطلوبی تأمین می‌شود[۳].

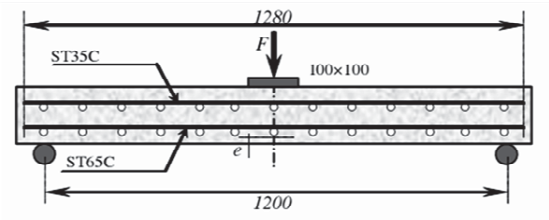


وقتی در یک سازه بتنی به علت بروز یک حادثه مانند: حملات تروریستی، زلزله‌های شدید و... یک یا چند ستون سازه از بین می‌روند نیروهای وارده به ستون حذف شده از طریق تیرها و دال به ستون‌های دیگر منتقل می‌شوند و با توجه به میزان مقاومت و ظرفیت ستون‌هایی که بعد از حذف ستون مورد نظر به‌عنوان ستون‌های پل زده شده عمل می‌کنند، امکان پایداری سازه و یا تخریب آن وجود دارد. مسأله‌ای که قبل از بررسی وضعیت ستون‌های سازه مهم است بررسی وضعیت دال بتنی، تیرها و هم‌چنین اتصالاتی است که بایستی به‌عنوان پل، نیروی ستون حذف شده را به ستون‌های باقی‌مانده وارد نمایند. در این حالت تک‌تک اعضای باقی مانده در یک سلسله عملکردهای زنجیره‌ای بایستی نیرو را مجدداً بین ستون‌های باقی‌مانده بازتوزیع نمایند. در چنین شرایطی تیرها، اتصالات و دال‌ها تحت نیروهای شدید خمشی و کششی قرار گرفته و باید چه از لحاظ مقاومت و چه از لحاظ رفتار دورانی، ظرفیتی بیش از ظرفیت معمول را داشته باشند. در غیر اینصورت حتی با وجود توانایی ستون‌های باقی‌مانده به دلیل تخریب دال‌ها و یا تیرها امکان بازتوزیع نیروها وجود ندارد. با توجه به مطالب اشاره شده در این بررسی، رفتار سنجی و چگونگی افزایش ظرفیت دال‌های بتنی در برابر خمش، مورد مطالعه قرار گرفته است.

اگرچه انجام آزمایشات تجربی، بسیار مفید و لازمه پیشبرد علوم مهندسی می‌باشد ولیکن آزمایشات تجربی، دو محدودیت عمده دارد: ۱) هزینه بالای آزمایشات و ۲) محدودیت در تعداد پارامترهایی که در هر آزمایش میتوان بررسی نمود، توجه به محدودیتهای آزمایشهای تجربی از یک سو و پیشرفت نرم‌افزارهای تحلیل عددی و در دسترس بودن کامپیوترهای پیشرفته از سوی دیگر منجر شده که انواع روش‌های عددی از جمله روش اجزاء محدود جذابیت بالایی برای محققین داشته باشد. با توجه به موارد ذکر شده، در این تحقیق به کمک روش اجزاء محدود، رفتار دال‌های بتنی و انواع حالات مقاوم‌سازی آنها به کمک انواع الیاف FRP بررسی می‌شود. به منظور انجام این تحقیق در ابتدا یک نمونه آزمایشگاهی از دال بتنی تحت بار خمشی انتخاب و به کمک نرم‌افزار ABAQUS مدل‌سازی و تحلیل شده است.

۲- مشخصات نمونه آزمایشگاهی

دال بتنی مورد نظر در سال ۲۰۰۸ توسط A.Agbossou [۴] و همکارانش در لابراتواری در فرانسه آزمایش شده است. ابعاد و مشخصات دال آزمایشگاهی و آرماتورهای به کار رفته در شکل (۱- الف)، و پیکره‌بندی آزمایش در شکل (۱- ب) مشخص شده است.



(الف) ابعاد و اندازه‌های دال

(ب) پیکره‌بندی آزمایش

شکل ۱- مشخصات نمونه آزمایشگاهی

فولاد به کار رفته در این آزمایش دارای تنش تسلیم F_y =۲۴۰۰ kg/cm^2 و مدول الاستیسیته برابر E_s = 2*10^6 kg/cm^2 می‌باشد. مشخصات بتن مورد استفاده نیز با در نظر گرفتن مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن برابر F_c = 300 kg/cm^2 و مدول الاستیسیته بتن E_c = 3*10^5 kg/cm^2 می‌باشد. الیاف استفاده شده در این آزمایش از نوع CFRP هستند که مشخصات مصالح مصرفی و الیاف استفاده شده در جدول (۱- الف) ارائه شده است.

۳- مدل اجزاء محدود

امروزه نرم‌افزارهای اجزاء محدود به‌طور گسترده‌ای برای حل مسائل مختلف در علوم مهندسی به‌کار می‌رود. از جمله این نرم‌افزارها می‌توان به ABAQUS اشاره نمود که به دلیل دارا بودن مدل‌های رفتاری پیشرفته و متنوع برای مواد مختلف (فلزات، بتن، خاک، سنگ و...) و امکان ایجاد سریع مدل‌های با هندسه پیچیده و... نظر بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است. در میان نرم‌افزارهای اجزاء محدود همچون PLAXIS, ABAQUS, ANSYS و...، نرم‌افزار ABAQUS در مدل کردن رفتار واقعی بتن توانایی بیشتری دارد. هم‌چنین طراحی این نرم‌افزار به‌گونه‌ای می‌باشد که هم به‌صورت گرافیکی و هم به‌صورت کدنویسی می‌توان اقدام به ایجاد مدل و آنالیز آن نمود. اما در هر دو حالت خروجی‌ها و نتایج تحلیل در محیط گرافیکی قابل مشاهده هستند. ABAQUS مجموعه‌ای از برنامه‌های شبیه‌سازی قدرتمند مهندسی است که بر پایه روش اجزای محدود بنا نهاده شده و می‌تواند مسایلی را با طیف گسترده از یک تحلیل خطی نسبتاً ساده تا تحلیل‌های غیرخطی بسیار پیچیده حل کند. ABAQUS شامل کتابخانه گسترده‌ای از المان‌هاست که می‌تواند هر نوع هندسه‌ای را به‌طور مجازی مدل‌سازی کند. هم‌چنین این برنامه شامل لیست گسترده‌ای از مدل‌های رفتار ماده است که می‌تواند رفتار اغلب مصالح مهندسی مانند فلزات، لاستیک، پلیمرها، کامپوزیت‌ها، بتن مسلح، فوم‌های شکننده و حتی مصالح ژئوتکنیکی مثل خاک و سنگ را نیز شبیه‌سازی کند. ABAQUS قابلیت‌های گسترده‌ای را برای شبیه‌سازی در کاربردهای خطی و غیرخطی فراهم می‌کند. مسایلی که دارای اجزای متعدد و مصالح مختلف هستند را می‌توان با تعریف هندسه هر جزء و اختصاص دادن مصالح تشکیل‌دهنده آن و سپس تعریف اندرکنش بین اجزاء شبیه‌سازی کرد (دال تقویت شده با الیاف). در تحلیل‌های غیرخطی ABAQUS به‌صورت خودکار نمو بار و رواداری همگرایی مناسب را انتخاب و به‌طور پیوسته در طول تحلیل این پارامترها را تنظیم می‌کند تا از به‌دست آمدن نتایج دقیق اطمینان حاصل شود. علاوه بر موارد فوق‌الذکر، دیگر مزیت‌های آباکوس به اختصار عبارتند از [۱]:

- سهولت در استفاده (مدل‌سازی، مونتاژ، تعیین تماس و...)
- تحلیل دقیق و نتایج معتبر
- داشتن دو حلگر Explicit & Standard
- توانایی در حل دقیق مسائل دینامیکی غیر خطی گذرا (برخورد و ضربه، انفجار، مچالگی و..
- دارا بودن مدل‌های رفتاری پیشرفته و گوناگون مواد (فلزات، لاستیک، فوم، مواد ویسکو الاستیک، مواد پیزوالکتریک، بتن، خاک، پلیمرها، سیالات و...)
- سهولت در انتقال فایل و ارتباط با سایر نرم‌افزارها (CATIA, Solid Works, Pro/ENGINEER …)

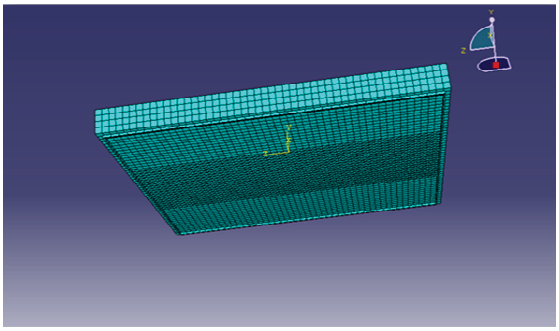
جدول ۱- الف- مشخصات مصالح مصرفی برای تقویت‌سازی نمونه آزمایشگاهی دال بتنی[۴]

	CFRP	Concrete	Steel
(a)			
Elastic modulus (GPa)	79.94±4.6	30	200±4
Poisson's ratio	-	0.2	0.3
Tensile failure stresses (MPa)	925±48	2.5	500
Crushing failure stresses (MPa)	-	35.4	500
Density (kg/m^3)	-	2500	7850
Stress-strain relations	Linear elastic. Non-plastic	$\sigma = E_0 \frac{\varepsilon}{1+(1+c)\varepsilon^2}$ with $\varepsilon_0 = 2\frac{f_c}{E_0}$	Elastic-plastic (perfect plasticity) Down ST 65C Up ST 35C
Layer thickness (mm)	1		
Layer width (mm)	5		
Layers spacing (mm)	15		

لذا در این تحقیق از برنامه اجزاء محدود ABAQUS برای شبیه‌سازی رفتار دال بتنی تقویت شده با الیاف FRP تحت بارگذاری خمشی استفاده شده است. شکل (۲) مدل اجزاء محدود سه بعدی دال مورد نظر را نشان می‌دهد. برای بدست آوردن نتایج دقیق، مش‌بندی ریز در طول و عرض دال که احتمالاً در تغییرات بالای تنش- کرنش روی می‌دهد، انجام گرفته است. این شیوه مدلسازی اگرچه زمان انجام تحلیل‌ها را افزایش داده است اما منجر به جواب‌های دقیق شده که در مرحله اول اهمیت قرار دارد. به‌دلیل عملکرد قابل اعتماد المان‌های Solid هشت گرهی با integration کاهش یافته، این المان برای مدل‌سازی بتن مورد استفاده قرار گرفته است. این المان دارای سه درجه آزادی انتقالی در فضای سه بعدی می‌باشد. برای مدل‌سازی الیاف FRP از المان Shell و برای آرماتورها از المان Link سه بعدی استفاده شده است[۵]. این دو المان دارای سه درجه آزادی انتقالی و سه درجه آزادی چرخشی در فضای سه بعدی هستند. به‌منظور آنکه مدل‌سازی هر چه دقیق‌تر و مشابه حالت واقعی آزمایش باشد. تکیه‌گاه تماسی زیر آزمایش نیز مدل شده و تماس بین تکیه‌گاه و بتن به کمک المان‌های تماسی مدل شده است. این المان‌ها اجازه لغزش‌های نسبی کوچک در سطح تماس سطوح در تماس باهم را می‌دهند. اصطکاک بین سطوح تماس در اتصال با مدل کلاسیک کلمب مدلسازی شده است.

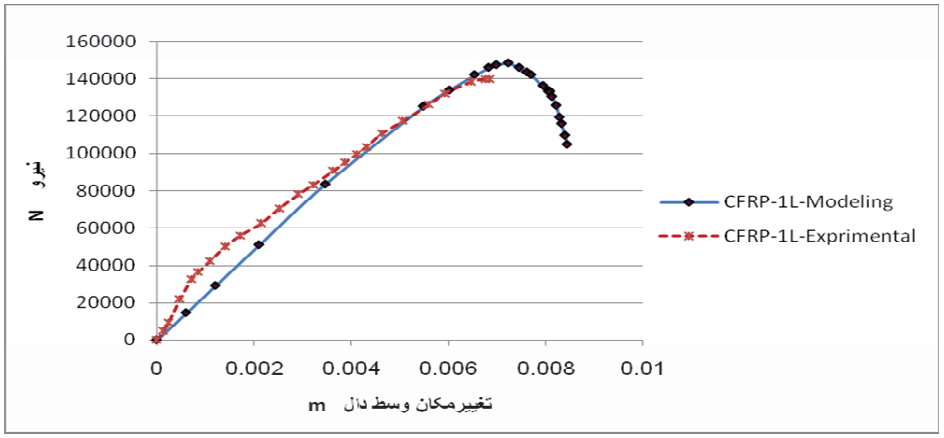
بتن، یکی از مصالح ترد بوده و معرفی صحیح رفتار آن در ناحیه غیر خطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این بررسی برای مدل‌سازی رفتار بتن، از مدل ترک اندود استفاده شده است.

این مدل یک مدل جامع برای مدل‌سازی مصالح شکننده از جمله بتن می‌باشد و برای زمانی به کار می‌رود که بتن تحت کرنش‌های مونوتونیک واقع است و ماده دچار ترک کششی و یا خرد شدگی فشاری می‌گردد. کرنش‌های پلاستیک در فشار توسط صفحه تسلیم فشاری کنترل می‌شوند[۵]. ترک خوردگی، مهم‌ترین بعد این رفتار است و نمایش ترک خوردگی و رفتار پس از ترک خوردگی ناهمسان (درجات مختلف) بر این مدل حاکم است. در شکل (۳) مقایسه بین نتایج حاصل از آزمایش و نتایج تحلیل ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نتایج، نزدیکی خوبی با یکدیگر دارند.



شکل ۲- مدل اجزاء محدود دال بتنی

بعد از اطمینان از توانایی روش اجزاء محدود در مدل‌سازی رفتار دال‌های بتنی تحت خمش، در ادامه، روش‌های مقاوم‌سازی دال بتنی تحت خمش مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۳- مقایسه بین نتایج آزمایش و تحلیل

۴- مقاوم‌سازی دال بتنی تحت خمش

یکی از روش‌های معمول مقاوم‌سازی سازه‌های بالاخص بتنی، استفاده از الیاف FRP است. الیاف FRP برای مقاوم‌سازی سازه‌های بتنی از اواسط سال ۱۹۸۰ میلادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با توجه به مزایای بالای آن تعداد پروژه‌هایی که به این روش در سراسر جهان تقویت شده‌اند در ده سال اخیر به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. این روش در بسیاری موارد جایگزین مناسبی برای روش‌های دیگری مانند جاکت‌های فولادی و بتنی است[۲و۶]. در این تحقیق نیز دال بتنی مورد بحث در بالا به کمک الیاف بتنی تقویت شده است.

۴-۱- اشکال مختلف دال‌های تقویت شده با FRP

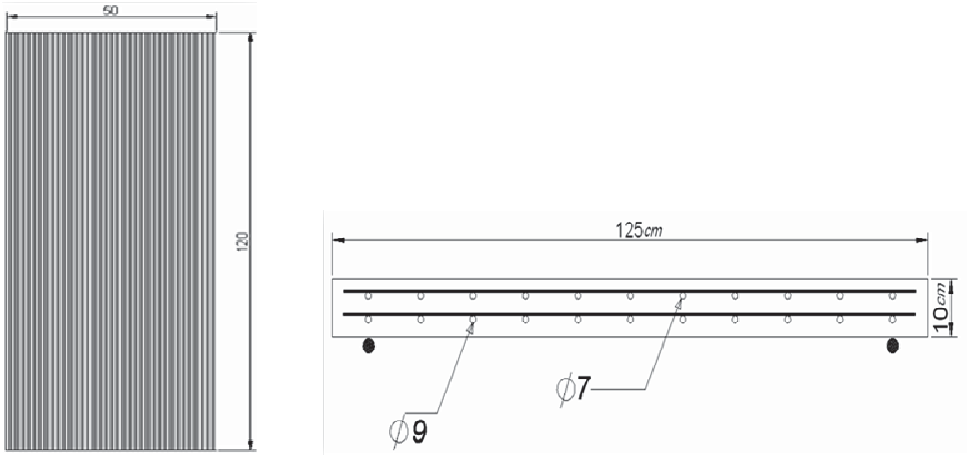
در این مقاله ۲۴ دال بتن آرمه تقویت شده با سه الگوی پوششی مختلف و انواع FRP مورد بررسی قرار گرفتند. نمونه‌های تقویت شده در سه گروه الف، ب و ج با سه الگوی پوششی متفاوت FRP در دو حالت کلی تقویت‌سازی با یک و سه لایه FRP ارزیابی شدند و به منظور بررسی تأثیر FRP در تقویت‌سازی، نتایج حاصل با دال بتن آرمه بدون استفاده از FRP (Plane Slab) مقایسه شدند. در ادامه به بررسی مشخصات دقیق‌تری از دال‌ها و نحوه تقویت آنها پرداخته می‌شود.

۴-۲- دال‌های تقویت شده طبق الگوی نوع الف

دال‌های این گروه (LS-1LB, LS-3LG,....) در ابعاد ۱/۲۵m*۱/۲۵m*۰/۱m که با دو شبکه فولاد در بالا و پایین مسلح شده‌اند، توسط یک ورق FRP (Laminate Slab) به ابعاد m۱/۲m*۰/۵m در دو حالت یک و سه لایه با انواع FRP (A-B-C,G) تقویت شدند (به سطح تحتانی دال چسبیده شد). مشخصات دقیق‌تری از این نمونه‌ها در شکل (۴) آورده شده است.

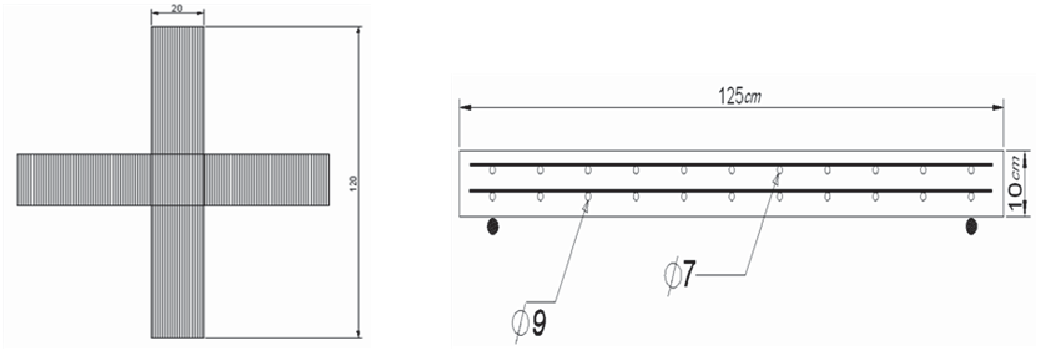
۴-۳- دال‌های تقویت شده طبق الگوی نوع ب

دال‌های این گروه (CS-1LB, CS-3LG,....) در ابعاد ۱/۲۵m*۱/۲۵m*۰/۱m که با دو شبکه فولاد در بالا و پایین مسلح شده‌اند، توسط دو نوار FRP عمود بر هم به‌صورت ✚ (Cross Slab)، که ابعاد هر نوار ۱/۲m*۰/۲m می‌باشد، در دو حالت یک و سه لایه با انواع FRP (A-B-C,G) تقویت‌سازی شدند (به سطح تحتانی دال چسبیده شد). مشخصات دقیق‌تری از این نمونه‌ها در شکل (۵) آورده شده است



دال‌های گروه الف پوشش FRP

شکل ۴- مشخصات دال‌ها و الگوی تقویتی نوع الف



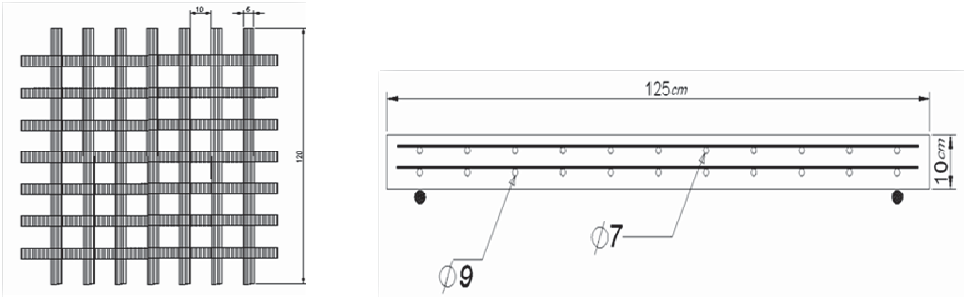
دال‌های گروه ب پوشش FRP

شکل ۵- مشخصات دال‌ها و الگوی تقویتی نوع ب

۴-۴- دال‌های تقویت شده طبق الگوی نوع ج

دال‌هـای ایـن گـروه (MS-1LB, MS-3LG,....) در ابعـاد ۱/۲۵m*۱/۲۵m*۰/۱m که با دو شبکه فـولاد در بـالا و پـایین مـسلح شـده‌انـد، توسـط نوارهـای FRP بـه‌صـورت شـطرنجی (Mesh Slab) که ابعاد هر نوار ۱/۲m*۰/۰۵m مـی‌باشـد، در دو حالت یک و سه لایه با انـواع FRP (A-B-C,G) تقویـت شـدند (به سطح تحتانی دال چسبیده شـد). مشخـصات دقیـق‌تـری از این نمونه‌ها در شکل (۶) آورده شده است.

مشخـصات دال بتنـی از لحـاظ ابعـاد و انـدازه و هـم‌چنـین مشخصات مصالح، مانند نمونه آزمایـشگاهی اسـت و مشخـصات الیاف در جدول (۱– ب) ارائه شده است.



دال‌های گروه ج پوشش FRP دال‌های گروه ج

شکل ۶- مشخصات دال‌ها و الگوی تقویتی نوع ج

جدول ۱- ب- مشخصات الیاف FRP مورد استفاده برای تقویت دال بتنی[۱]

مشخصات FRP	AFRP	BFRP	CFRP- High Strength	E-GFRP
مقاومت کششی (MPa)	2900	3100	4100	3400
مدول الاستیسیته(GPa)	120	78	215	73
دانسیته(Kg/m3)	1450	1500	1500	2600
ضخامت (mm)	0.2	0.2	0.1	0.3

نتایج دال‌های تقویت شده طبق الگوی نوع الف با یک لایه از انواع FRP

در این قسمت، نتایج دال‌های تقویت شده با الگوی پوشش نوع الف (ورق FRP) و در حالت یک لایه ارائه می‌شود. به‌منظور اختصار و مقایسه راحت‌تر نوع الیاف در تقویت‌سازی، نمودار نیرو – تغییر مکان کلیه نمونه‌ها در یک نمودار ارائه می‌گردد و در انتها نتایج حاصله در جدول (۲) آمده است. بدین ترتیب مجموعه کاملی از نتایج ارائه می‌شود[۱].

شکل (۷) و جدول (۲) نشان می‌دهد که بیشترین افزایش در مقاومت نهایی دال با یک لایه CFRP (۱۷/۵٪)، و بیشترین افزایش تغییر مکان مرکز دال با GFRP (۱۵/۱۸mm) حاصل شد.

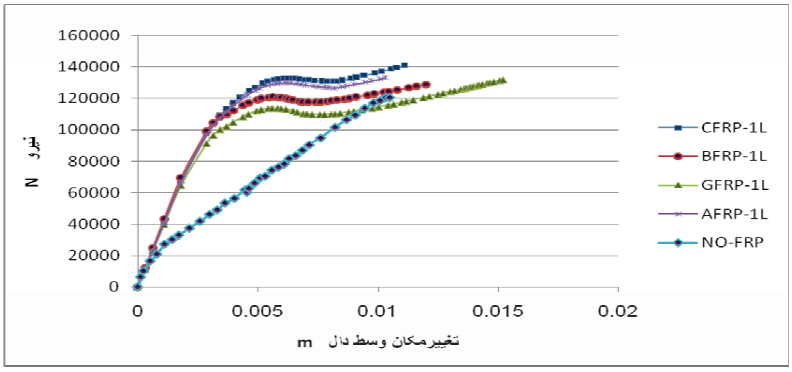
نتایج دال‌های تقویت شده طبق الگوی نوع الف با سه لایه از انواع FRP

در این قسمت نتایج دال‌های تقویت شده با الگوی پوشش نوع الف (ورق FRP) و در حالت سه لایه ارائه می‌شود. به منظور اختصار و مقایسه راحت‌تر نوع الیاف در تقویت‌سازی، نمودار نیرو – تغییر مکان کلیه نمونه‌ها در یک نمودار ارائه می‌گردد و در انتها نتایج حاصله در جدول (۲) آمده است. بدین ترتیب مجموعه کاملی از نتایج ارائه می‌شود[۱].

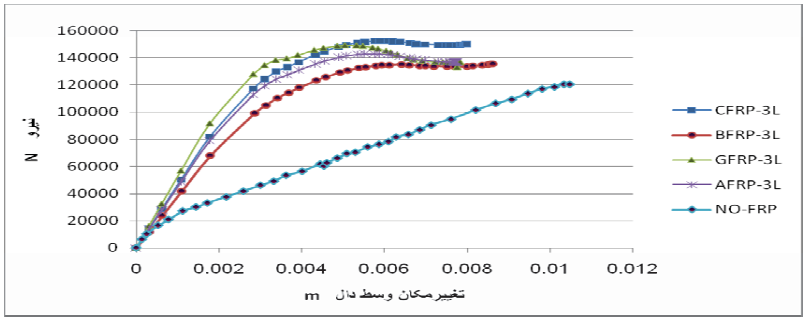
شکل (۸) و جدول (۲) نشان می‌دهد که بیشترین افزایش در مقاومت نهایی دال با سه لایه CFRP (۲۶/۸۹٪) نسبت به نمونه بدون FRP، و بیشترین افزایش تغییر مکان مرکز دال با BFRP (۸/۶۲mm) حاصل شد.

نتایج دال‌های تقویت شده طبق الگوی نوع ب با یک لایه از انواع FRP

در این قسمت نتایج دال‌های تقویت شده با الگوی پوشش نوع ب (Cross FRP) و در حالت یک لایه ارائه می‌شود. به‌منظور اختصار و مقایسه راحت‌تر نوع الیاف در تقویت‌سازی، نمودار نیرو – تغییر مکان کلیه نمونه‌ها در یک نمودار ارائه می‌گردد و در انتها نتایج حاصله در جدول (۲) آمده است. بدین ترتیب مجموعه کاملی از نتایج ارائه می‌شود[۱].



شکل ۷- مقایسه نمودار نیرو – تغییر مکان دال بتنی تقویت شده با انواع FRP (یک لایه) طبق الگوی نوع الف



شکل ۸- مقایسه نمودار نیرو – تغییر مکان دال بتنی تقویت شده با انواع FRP (سه لایه) طبق الگوی نوع الف

شکل (۹) و جدول (۲) نشان می‌دهد که بیشترین افزایش در مقاومت نهایی دال با یک لایه BFRP (۱۱/۳٪)، و بیشترین افزایش تغییر مکان مرکز دال در لحظه شکست با GFRP (۵/۹۰mm) حاصل شد.

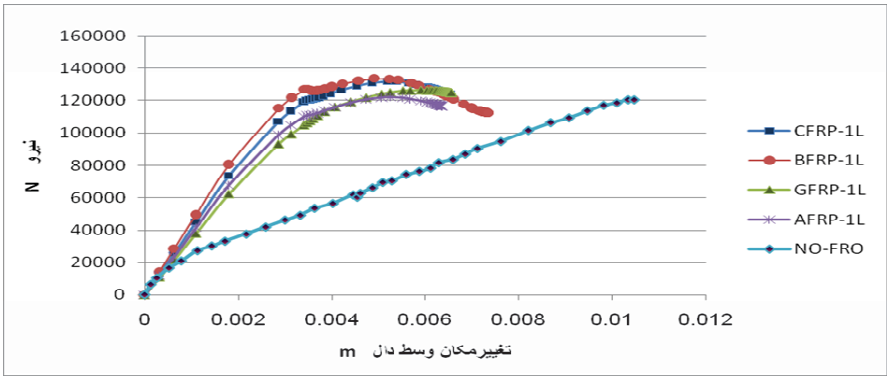
نتایج دال‌های تقویت شده طبق الگوی نوع ب با سه لایه از انواع FRP

در این قسمت نتایج دال‌های تقویت شده با الگوی پوشش نوع ب (Cross FRP) و در حالت سه لایه ارائه می‌شود. به‌منظور اختصار و مقایسه راحت‌تر نوع الیاف در تقویت سازی، نمودار نیرو – تغییر مکان کلیه نمونه‌ها در یک نمودار ارائه می‌گردد و در انتها نتایج حاصله در جدول (۲) آمده است. بدین ترتیب مجموعه کاملی از نتایج ارائه می‌شود[۱].

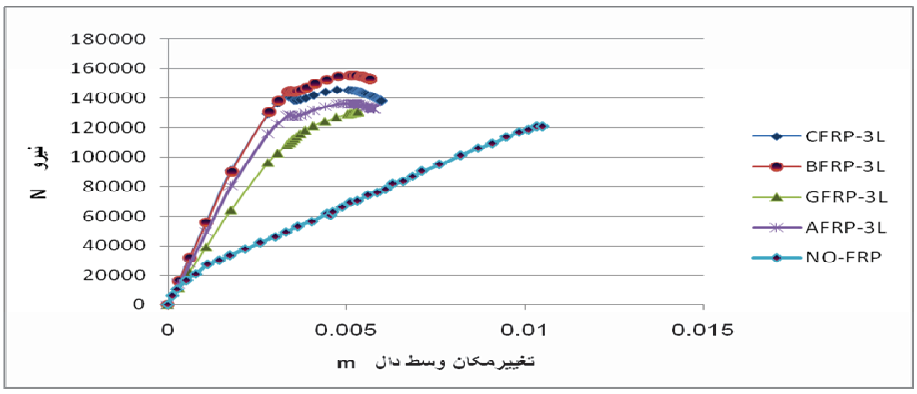
شکل (۱۲) و جدول (۲) نشان می‌دهد که بیشترین افزایش در مقاومت نهایی دال با سه لایه BFRP (۲۹/۳٪) نسبت به نمونه بدون FRP، و بیشترین افزایش تغییر مکان مرکز دال در لحظه شکست با GFRP (۵/۳۱mm) حاصل شد.

نتایج دال‌های تقویت شده طبق الگوی نوع ج با یک لایه از انواع FRP

در این قسمت نتایج دال‌های تقویت شده با الگوی پوشش نوع ج (Mesh FRP) و در حالت یک لایه ارائه می‌شود. به‌منظور اختصار و مقایسه راحت‌تر نوع الیاف در تقویت سازی، نمودار نیرو – تغییر مکان کلیه نمونه‌ها در یک نمودار ارائه می‌گردد و در انتها نتایج حاصله در جدول (۲) آمده است. بدین ترتیب مجموعه کاملی از نتایج ارائه می‌شود[۱].



شکل ۹- مقایسه نمودار نیرو – تغییر مکان دال بتنی تقویت شده با انواع FRP (یک لایه) طبق الگوی ب



شکل ۱۰- مقایسه نمودار نیرو – تغییر مکان دال بتنی تقویت شده با انواع FRP (سه لایه) طبق الگوی نوع ب

An investigation of Concrete Dalle in Chain Conditions and Their Hardening by FRP Fibers

Mohammad Javad Karimlou[1]

Mohammad Reza Sohrabi[2]

Mahdi Azhdari Moghdam[2]

Abstract

One of the issues that is now of high interest to civil engineers is the hardening of structures against unusual loads(including blast loads, fire-caused loads , impact loads). One of the features which has attracted attention in the field of structure hardening is the application of the capacity derived from chain performance to harden structures against failure caused by unusual loads. In this regard, since the armed concrete dalle is considered one of the main members of concrete structures, their behavior in the chain conditions and their ability during the chain performance greatly affect the lives of personnel and the general sustainability of concrete. In regard to this important point, their hardening is of utmost importance. Therefore in this research, firstly an armed concrete dalle similar to the test samples, has been modeled and analyzed using the ABAQUS software and then ensuring the ability of this software to model and analyze the relevant sample, all kinds of hardening and improving the behavior of concrete dalle using FRP in the chain conditions, has been reviewed. In this research, various status has been studied taking different models of fiber formation and various thickness into consideration. The results showed that the loading capacity of dalle and its formability increased by 50% and 30% respectively and the FRP- reinforced dalles have suitable performance in the chain conditions and can prevent failures caused by unusual loads.

Key Words: *Armed Concrete Dale, FRP Fiber Formation Model, Chain Performance, Unusual Loads*

1- M.S Expert in Structure, Islamic Azad University, Young Researchers Club, Zahedan Branch, Iran
2- Associate Professor and Academic Member of Sistan & Balouchestan University, Department of Civil Engineering