بررسی آزمایشگاهی ظرفیت باربری دال بتنی سبک با تقویت GFRP کد B

سروش کرمی نژاد[۱]، رضا رحمت خواه[۲]، داود قائدیان رونیزی[۳]، سحر پیرآلو[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، موسسه آموزش عالی آپادانا، شیراز، karami.soroush۶۸@gmail.com

۲- مربی بخش مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، rahmatkhah@iaushiraz.ac.ir

۳- مربی بخش مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اقلید، ghaedian@ut.ac.ir

۴- کارشناس واحد توسعه و تحقیق، شرکت ساوانا بتن سانا، شیراز، Piraloo@c۱co.com

(ghaedian@ut.ac.ir)

چکیده

استفاده از کامپوزیت های FRP به دلیل داشتن ویژگی های مکانیکی و فیزیکی مناسب، گزینه بسیار مناسبی برای تقویت و بهسازی عضوهای بتنی موجود به منظور تحمل بار بیشتر یا برطرف کردن ضعف سازه و یا افزایش شکل پذیری می باشد. در این تحقیق ضمن تشریح آزمایش های انجام شده در محیط آزمایشگاه به بررسی مباحث تئوری ارائه شده در نشریه ۳۴۵ جهت تعیین میزان باربری قطعات بتنی تقویت شده با FRP پرداخته می شود. بدین منظور ۴ نمونه دال بتنی سبک فاقد میلگرد فولادی با ابعاد (۵ متر طول، ۰/۵ متر عرض و ۰/۱ متر ضخامت) در محیط آزمایشگاه ساخته شده است، سه دال بتنی با ورق GFRP به صورت ۱ لایه، ۲ لایه و ۳ لایه تقویت شده اند و یک دال به عنوان نمونه شاهد بدون تقویت GFRP می باشد. بار وارد بر دال ها به صورت بار گسترده با تغییر میزان ارتفاع آب بر روی دال اعمال شده است و بارگذاری با آب تا لحظه ی گسیختگی کامل دال صورت گرفته است. نتایج نشان می دهد که ظرفیت باربری به دست آمده در آزمایشگاه کمتر از ظرفیت باربری محاسبه شده در روابط تئوری می باشد. به این صورت که ظرفیت باربری آزمایشگاهی دال بتنی سبک با تقویت ۱، ۲ و ۳ لایه GFRP به ترتیب برابر ۴۴، ۶۸ و ۹۳ درصد ظرفیت باربری تئوری می باشد.

کلمات کلیدی: دال بتنی سبک، بدون میلگرد، GFRP، ظرفیت باربری.

۱.مقدمه

فیبرهای پلیمری تقویت شده FRPیا همان Fiber Reinforced Polymer/Plastic ها از جمله مواد کامپوزیتی هستند که آن ها را می‌توان برای ترمیم یا تقویت و بهسازی انواع سازه‌های بتنی با نصب بر روی سطح (دال ها و تیرها، ستون‌ها، دیوارهای حمال، شناژها و فونداسیون) و در ساختمان‌های مسکونی، اداری و تجاری، ساختمان‌های صنعتی، تکیه‌گاه‌های ماشین‌آلات و تأسیسات سنگین، سازه‌های آبی از قبیل سد، کانال، کالورت و غیره، پل‌های جاده‌ای و ریلی، مخازن و منابع آب و مایعات، سیلوها و برج‌های خنک‌کننده به کار برد.

با پیشرفت‌های علم و فناوری، امروزه متخصصین امر ساخت وساز سعی می‌کنند به تکنولوژی ساخت مواد جدیدی دست یابند که علاوه بر انجام وظیفه‌های در نظر گرفته شده، از جنبه‌های دیگر مؤثر بر سازنده مانند وزن، مقاومت، راحتی کاربرد و طول عمر نیز برتری‌هایی داشته باشند. یکی از این مواد که دارای مزیت‌های شمرده شده می‌باشند کامپوزیت‌های پلیمری می‌باشند. این مواد قابلیت استفاده به صورت‌های مختلف و در قسمت‌های مختلف سازه را دارند[۱].

مواد مرکب FRP، دامنهٔ وسیعی از کاربردها را برای مقاوم‌سازی سازه‌های بتن‌آرمه در مواردی که تکنیک‌های مرسوم مقاوم‌سازی ممکن است مسئله ساز باشند، به خود اختصاص داده‌اند. برای نمونه، یکی از معمول‌ترین تکنیک‌ها برای بهسازی اجزاء بتن آرمه، استفاده از ورق‌های فولادی است که از بیرون به این اجزاء چسبانده می‌شود. این روش، روشی ساده، مقرون به صرفه و کارا است؛ اما از جهات زیر مسئله ساز است: ۱- زوال چسبندگی بین فولاد و بتن که از خوردگی فولاد ناشی می‌شود. ۲ -مشکلات ساخت صفحات فولادی سنگین در کارگاه ساختمان. ۳- نیاز به نصب داربست .۴ -محدودیت طول در انتقال صفحات فولادی به کارگاه ساخت (در مورد مقاوم‌سازی خمشی اجزاء بلند). مواد FRP برخلاف فولاد، تحت تأثیر زوال الکتروشیمیایی قرار نمی‌گیرند و می‌توانند در مقابل خوردگی اسیدها، بازها و نمک‌ها و مواد مهاجم مشابه در دامنهٔ وسیعی از دما مقاومت کنند. در نتیجه نیاز به سیستم‌های حفاظت از خوردگی نمی‌باشد وآماده‌کردن سطوح اعضاء قبل از چسباندن صفحات FRP و نگهداری از آن‌ها بعد از نصب، از صفحات فولادی آسان‌تر است .علاوه بر این، الیاف مسلح‌کننده در FRP می‌توانند در موضع معین و در نسبت حجمی و جهت خاصی درون ماتریس قرارگیرند تا بیش‌ترین کارایی به‌دست آید .مواد حاصله تنها با درصدی از وزن فولاد، مقاومت و سختی بالایی در جهت الیاف دارند. آن‌ها همچنین حمل و نقل آسان‌تری داشته، نیازمند داربست کمتری برای نصب می‌باشند، و می‌توانند برای مکان‌هایی که دارای دسترسی محدود هستند، مورد استفاده قرار گیرند؛ و پس از نصب، بار اضافی قابل‌توجهی را به سازه تحمیل نمی‌کنند[۲].

در زمینه مقاوم سازی با کامپوزیت های FRP تحقیقات زیادی انجام شده که از جمله این تحقیقات می توان به موارد زیر اشاره کرد؛

موسالام در سال ۲۰۰۳ تحقیقاتی را بر رفتار خمشی دال های دو طرفه ی بدون بازشوی تقویت شده با الیاف پلیمری مسلح تحت بارگذاری یکنواخت انجام داده است. این مطالعه نشان می دهد که سیستم های الیاف پلیمری مسلح در افزایش ظرفیت باربری دال های دوطرفه مناسب می باشند [۳].

درسال ۱۳۸۶ در دانشگاه فنی و مهندسی نوشیروانی، آقای بحرینی در مورد تقویت دال با استفاده از نوارهای الیاف شیشه آزمایش هایی انجام داد. در این تحقیق برای ارزیابی تقویت خمشی دال های بتنی یک طرفه ی تقویت شده با ورقه های نوارهای الیاف شیشه با استفاده از رزین اپوکسی، ۱۵ نمونه دال بتنی به طول ۱۰۰ سانتی متر و به عرض ۵۰ سانتی متر ساخته شد و این ۱۵ نمونه در ۵ گروه سه گانه شناخته شدند. تفاوت بین این گروه ها، مقدار آرماتور کششی استفاده شده، در نظر گرفته شد. آن چه که از آزمایش ها قابل مشاهده بود این بود که با افزایش سطح مقطع ورقه های الیاف شیشه، مقاومت نهایی دال افزایش و شکل پذیری آن کاهش می یابد. تغییر شکل و شکل پذیری دال های تقویت شده ی خمشی از دال های تقویت نشده کم تر است [۴].

آل-دین بیسیسو و همکاران(۲۰۱۵)، یازده تیر تقویت شده را مورد بررسی قراردادند که ده عدد از آنها با FRP با عرض‌ها و تعداد لایه‌های مختلف تقویت شده بودند، فشارسنج‌های الکترونیکی در فیبر بالای بتن، فولاد و FRP نصب گردیده، و کرنش و تغییرشکل‌های وسط دهانه را برای هر مرحله ثبت کردند. داده ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند همچنین انعطاف‌پذیری و مدهای گسیختگی مورد انتظار را بررسی نمودند، و به این نتیجه رسیدند که استفاده از صفحات FRP تک لایه باعث افزایش قدرت و کاهش قابل توجهی از قابلیت انعطاف‌پذیری می‌شود. با استفاده از چندین لایه ورق‌های FRP گسترده، مقاومت افزایش یافته اما میزان تغییر شکل را کاهش می‌دهد. چند نوار باریک FRP برروی مقاومت تاثیری چندانی ندارد اما میزان تغییر شکل و انطاف پذیری را به طور چشم‌گیری کاهش می‌دهد [۵].

کرامتی و وارسته پور (۱۳۹۶)، مطالعاتی پیرامون تاثیر ورق های CFRP و GFRP بر روی ظرفیت مقاومت نهایی دال بتن سبک با لیکا بدون میلگرد انجام دادند. بدین منظور با طرح اختلاط بتن سبک، ۷ عدد دال بتنی را که ۵ عدد آن ها با الیاف CFRP و ۱عدد با الیاف GFRP تقویت شده اند و یک نمونه به عنوان شاهد می باشد را تهیه کردند. آنها در این طرح سعی بر آن داشتند که با حذف میلگرد و کاهش ضخامت ؛ دال بتنی با کاربردهایی مشخص

بدست آید. استفاده از ورق CFRP در دال ها جایگزین میلگرد کششی شده و در طرح مورد نظر می بایستی ظرفیت خمشی مقطع بدون میلگرد بررسی گردد. ورقه های CFRP باعث افزایش مقاومت نهایی دال و درعین حال کاهش میزان جابجایی خواهد شد.در بررسی های صورت گرفته به این نتیجه رسیدند که ورقه های CFRP به دلیل بالا بودن مدول الاستیسیته باعث افزایش سختی دال می شود [۶].

با توجه به اینکه در محیط های حساس به وجود فلزات مانند آزمایشگاه های مغناطیس ، محیط های در معرض خورندگی و... نمی توان از خاصیت مصالح فولادی بهره برد لذا در این پژوهش به دلیل استفاده از دال های بتنی سبک و فاقد آرماتور فولادی و تقویت شده با مصالح FRP دارای نوآوری بوده، و در صورت حصول نتایج مناسب می تواند از اهمیت ویژه ای برخوردار باشد.

۲.تقویت خمشی با استفاده از FRP

اتصال FRP در وجه کششی المان های تحت خمش، بگونه ای که راستای الیاف در امتداد طول عضو قرار گرفته و در انتقال نیروهای کششی ناشی از خمش موثر باشد (همانند میلگردهای کششی)، می تواند مقاومت خمشی المان های بتنی را افزایش دهد. عوامل متعددی مانند ابعاد مقطع المان بتنی، مساحت و مشخصات مکانیکی میلگردهای موجود و FRP مورد استفاده و همچنین مقاومت بتن موجود، در میزان افزایش مقاومت خمشی سازه های بتنی با استفاده از سیستم های FRP دخیل می باشند. در ادبیات فنی این افزایش مقاومت از ۱۰ تا ۱۶۰ درصد گزارش شده است. لذا با توجه به محدودیت های موجود در خصوص شکل پذیری، ضوابط بهره برداری و دیگر محدودیت های آیین نامه ای، افزایش مقاومت خمشی سازه های بتنی تا حداکثر ۴۰ درصد قابل قبول تلقی و توصیه شده است[۷].

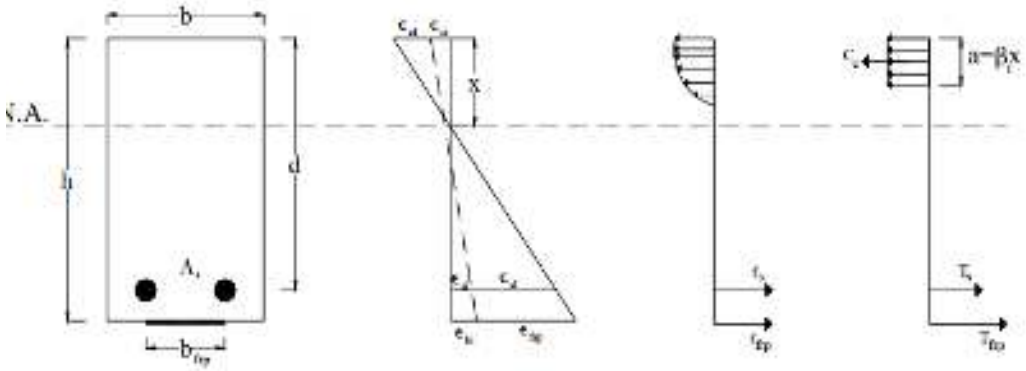
۳.روابط تئوری محاسبه ظرفیت نهایی مقطع

شکل (۱) تنش و کرنش داخلی مقطع مستطیلی تحت خمش را در حالت حدی نهایی نشان می دهد. نمودار تنش فشاری بتن را می توان با قبول حداکثر تغییر شکل نسبی بتن در دورترین تار فشاری برابر ۰/۰۰۳ به وسیله یک توزیع تنش مستطیلی معادل با مشخصات زیر تامین کرد:

الف: تنشی برابر با $0.85\ \phi_c f_c$، که به طور یکنواخت روی یک ناحیه فشاری معادل، که به کناره های مقطع و خطی به موازات محور خنثی به فاصله $\beta_1 x$ از دورترین تار فشاری محدود می شود، اثر می کند.

ب: فاصله تار نظیر حداکثر تغییر شکل نسبی از محور خنثی، x، در امتداد عمود بر محور خنثی اندازه گیری می شود.

پ: ضریب β_1برای بتن با مقاومت فشاری مشخصه تا ۳۰ مگاپاسکال، برابر با ۰/۸۵ است. برای مقاومت های بیشتر به ازای هر مگاپاسکال افزایش مقاومت فشاری مشخصه بتن، مقدار β_1 به صورت خطی به اندازه ۰/۰۰۸ کاهش می یابد. حداقل مقدار β_1 به ۰/۶۵ محدود می شود[۸].

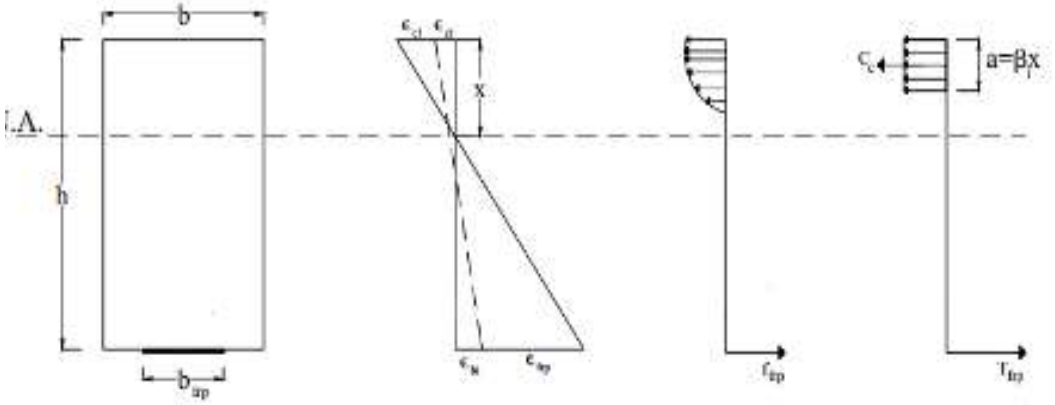


شکل۱- نمودار تنش – تغییر طول نسبی داخلی مقطع مستطیلی تحت خمش [۸]

با حل معادلات تعادل مقطع، مقاومت حدی مقطع مستطیلی تقویت شده با FRP از رابطه (۱) به دست می آید[۸].

$$M_r = \phi_s f_s A_S (d - \frac{a}{۲}) + \phi_{frp} E_{frp} \varepsilon_{frp} A_{frp} (h - \frac{a}{۲}) \quad (۱)$$

با توجه به اینکه در پژوهش حاضر از هیچ گونه آرماتور فولادی استفاده نشده است بنابراین نمودار تنش – تغییر طول نسبی داخلی مقطع مستطیلی تقویت شده با FRP بدون آرماتور فولادی به صورت شکل (۲) به دست می آید.



شکل ۲- نمودار تنش - تغییر طول نسبی داخلی مقطع مستطیلی تحت خمش بدون آرماتور فولادی

با حل معادلات تعادل مقطع، مقاومت حدی مقطع مستطیلی تقویت شده با FRP بدون آرماتور فولادی از رابطه (۲) به دست می آید.

$$M_r = \phi_{frp} E_{frp} \varepsilon_{frp} A_{frp} (h - \frac{a}{۲}) \quad (۲)$$

رابطه (۳) نیز جهت محاسبه ظرفیت نهایی مقطع مستطیلی بدون آرماتور فولادی و بدون تقویت FRP ارائه شده است.

$$M_r = \frac{f_r I}{C} \quad (۳)$$

که در آن $I = \frac{۱}{۱۲} bh^۳$ و $f_r = ۰,۶۲ \times ۰,۸۵ \sqrt{f_c'}$ و C فاصله تارخنثی می باشد.

۴.بتن سبک سازه ای

بتن سبک سازه ای، که دارای مقاومت و وزن مخصوص کافی می باشد به گونه ای که کاربرد آن در اعضای سازه ای مجاز شمرده می شود. این بتن دارای وزن مخصوصی بین ۱۴۰۰ تا ۱۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب بوده و حداقل مقاومت فشاری موردنیاز برای آن ۱۷ مگاپاسکال است. بتن سبک اغلب به عنوان جایگزین مناسب و یا مکمل بتن معمولی و به منظور کاهش وزن ساختمان به کار می رود، هرچند مقاومت فشاری آن در مقایسه با بتن معمولی مقداری کمتر است [۹]. سبکی این بتن بخاطر استفاده از سبکدانه هایی نظیر روباره های منبسط شده کوره های آهنگدازی، پوکه های معدنی نظیر اسکریا، پومیس و پوکه های صنعتی مانند لیکا می باشد [۱۰].

در جدول (۱) و (۲) جزئیات طرح مخلوط و مشخصات مکانیکی بتن سبک مصرفی آورده شده است.

جدول۱- جزئیات طرح اختلاط بتن سبک سازه ای

نوع مصالح	مقدار (Kg)

پوکه	۵۰۰
ماسه	۴۷۵
سیمان	۴۶۳
سیلیس	۴۶
آب	۱۶۲
افزودنی فوق روان کننده	۱ درصد وزنی سیمان

جدول ۲- مشخصات مکانیکی بتن سبک مصرفی

f c	**25**	**Mpa**
Φ c	1	
ε cu	0.003	
Ɣ c	1700	KN/m^3
E c	237170.8245	Kg/cm^2
B۱	0.085	

۵.الیاف کامپوزیت FRP

FRP نوعی ماده کامپوزیت متشکل از دو بخش فیبر یا الیاف تقویتی است که به وسیله یک ماتریس رزین از جنس پلیمر احاطه شده است. ورقه های FRP پوشش مناسبی جهت ایزوله کردن سازه های آبی از محیط خورنده مجاور هستند. همچنین از ورقه های کامپوزیتی FRP جهت تعمیر و تقویت سازه های آسیب دیده (ناشی از زلزله و یا خوردگی آب های یون دار) استفاده می شوند[۱۰]. جهت قرار گیری الیاف در ورقه های FRP در یک یا چند راستا از صفر ، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه می باشد.

در پژوهش حاضر از الیاف شیشه دو جهته ۴۰۰ شرکت افزیر در سطح زیرین دال بتنی و در ۱، ۲ و ۳ لایه استفاده شده است.

جدول ۳- مشخصات فنی صفحات GFRP شرکت افزیر [۱۱]

وزن الیاف	۴۰۰ گرم بر مترمربع
رنگ الیاف	سفید
دانسیته - چگالی	۲/۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب
زمان نفوذ	۶۰ ثانیه
الگوی بافت	دو جهته
ضخامت فیبر	۰/۳ میلی متر
مقاومت کششی	۲۲۰۰ مگاپاسکال
مدول کششی	۷۰ گیگاپاسکال
کرنش گسیختگی	٪ ۲/۱
زمان نگهداری	۱۰ سال

۶.مشخصات مدل آزمایشگاهی

در این پژوهش، ۴ دال بتنی به طول ۵۰۰ سانتی متر و عرض ۵۰ سانتی متر و ضخامت ۱۰ سانتی متر که در آن هیچ آرماتور فولادی استفاده نشده و با استفاده از بتن سبک سازه ای با مقاومت فشاری ۲۸ روزه (f_c'=۲۵ MPa) ساخته شده است که ۳ عدد دال با استفاده از الیاف GFRP تقویت شده است و یک نمونه به عنوان دال شاهد و بدون تقویت می باشد. دال ها تحت بارگذاری متمرکز و گسترده به وسیله آب قرار گرفته است.

جدول۴- مشخصات مدل آزمایشگاهی

توضیحات	واحد	۳ لایه GFRP	۲ لایه GFRP	۱ لایه GFRP	شاهد (بدون GFRP)	پارامتر
مدول گسیختگیGFRP	Mpa	۷۰۰۰۰	۷۰۰۰۰	۷۰۰۰۰	-	**E frp**
عرض ورق GFRP	mm	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	-	**b frp**
ضخامت ورق GFRP	mm	۰/۳	۰/۳	۰/۳	-	**t frp**
ضریب ایمنی GFRP	-	۰/۶۳۷۵	۰/۶۳۷۵	۰/۶۳۷۵	-	**Φ frp**
تعداد لایه های استفاده شده	-	۳	۲	۱	۰	**n frp**
سطح مقطع کل GFRP	mm^2	۴۵۰	۳۰۰	۱۵۰	-	**A frp**
تنش در GFRP	Mpa	۷۱۴/۸۳۹	۸۹۶/۳۴۵	۱۳۰۷/۲۱۸	-	**f frp**
کرنش در GFRP		۰/۰۱	۰/۰۱۲۸	۰/۰۱۸۶۷۵	-	**ε frp**
وزن مخصوص GFRP	gr/m^2	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	-	**Ɣ frp**
عرض دال	mm	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	**b_{slab}**
ارتفاع دال	mm	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	**h_{slab}**
طول دال	mm	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	**L_{slab}**

شکل۳- دال های تقویت شده با ورق های GFRP

۷.بارگذاری دال

مدل های ساخته شده پس از عمل آوری بر روی تکیه گاه بتنی قرار گرفته و قالب فلزی با ابعاد ۲ متر ارتفاع، ۰/۵ متر عرض داخلی و ۵ متر طول داخلی در اطراف دال برای بارگذاری با آب قرار می گیرد.جهت جلوگیری از نشت آب ۲ لایه پلاستیک با ضخامت ۲ میلی متر درون قالب جایگذاری شده است. به دلیل تغییر شکل اولیه بسیار زیاد دال تقویت شده با ۱ لایه ورق GFRP (شکل۴) امکان قالب بندی برای اعمال بار گسترده وجود نداشت بنابراین از بار متمرکز آب در وسط دهانه دال استفاده شده است. بدین صورت که ظرفی با حجم مشخص در وسط دهانه بر روی دال قرار گرفته و آب به آرامی درون ظرف ریخته می شود.

برای بارگذاری دال ها از آب با وزن مخصوص $1\ ton/m^3$ استفاده شده است . در هر مرحله آب با دبی مشخص ۲۰۰Kg بر روی دال افزوده می شود و تا زمان شکست دال بارگذاری ادامه می یابد.

جهت محاسبه لنگر خمشی نهایی تحت بار وارده متمرکز و گسترده با فرض تکیه گاه ساده، می توان از روابط زیر ستفاده کرد.

(۴) بار گسترده

$$M_u = \frac{qL^2}{8}$$

(۵) بار متمرکز

$$M_u = \frac{PL}{4}$$

شکل۴- تغییرشکل اولیه دال بتنی با ۱ لایه ورق GFRP

شکل۵- قالب بندی دال با ۲ و ۳ لایه ورق GFRP

۸.نتایج

باتوجه به روابط ارائه شده برای محاسبه ظرفیت نهایی مقطع مستطیلی تقویت شده با مصالح FRP و بدون تقویت، نتایج ظرفیت نهایی دال شاهد و تقویت شده با ۱، ۲ و ۳ لایه ورق GFRP در جدول (۵) آورده شده است.

جدول۵- نتایج ظرفیت نهایی دال های بتنی سبک تقویت شده با GFRP (نتایج تئوری)

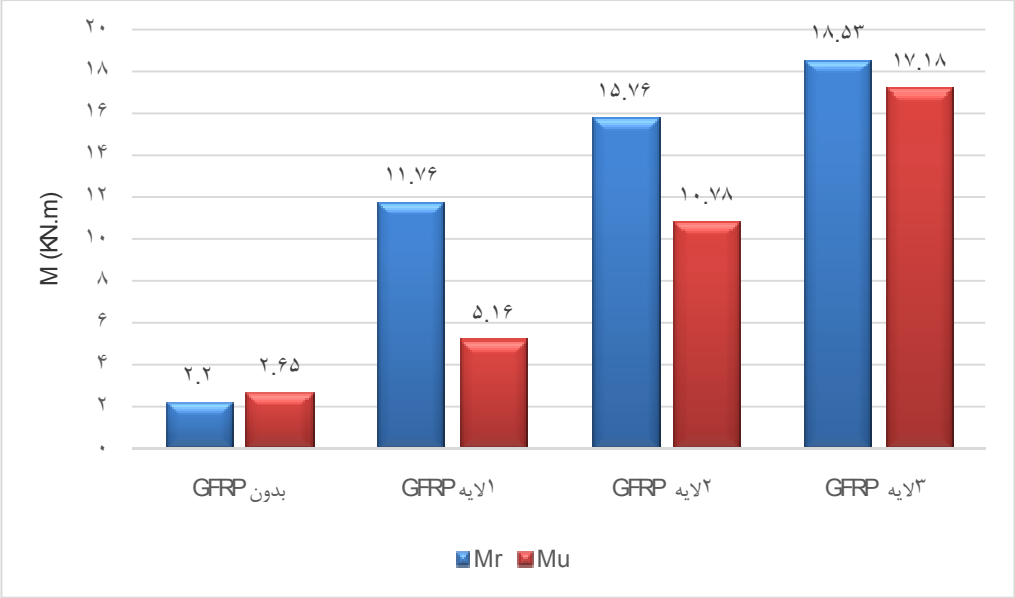
نام نمونه	M_r
شاهد (بدون GFRP)	۲/۲
۱ لایه GFRP	۱۱/۷۶۵
۲ لایه GFRP	۱۵/۷۶
۳ لایه GFRP	۱۸/۵۳

جدول (۶) نتایج حاصل از بارگذاری دال های بتنی ساخته شده در آزمایشگاه و بارگذاری به وسیله ی آب بر روی دال ها را نشان می دهد. دال شاهد قبل از اعمال بار تحت وزن خود دال گسیخته شده است.

جدول ۶- نتایج لنگر خمشی نهایی تحت بار وارده (نتایج آزمایشگاهی)

پارامتر	دال شاهد(بدون GFRP)	۱ لایه GFRP	۲ لایهGFRP	۳ لایهGFRP	توضیحات
W_D	۸۵ Kg/m	۸۵ Kg/m	۸۵ Kg/m	۸۵ Kg/m	**بار مرده سقف**
W_L	۰	۲۰۰ Kg	۲۶۰ Kg/m	۴۶۵ Kg/m	**بار زنده (بار آب)**
q	۸۵ Kg/m	-	۳۴۵ Kg/m	۵۵۰ Kg/m	$q = w_D + w_L$
M_u	۲/۶۶ KN.m	۵/۱۶ KN.m	۱۰/۷۸ KN.m	۱۷/۱۸ KN.m	**لنگر خمشی نهایی تحت بار وارده**

درشکل (۶) ظرفیت نهایی مقطع (M_r) و لنگر خمشی تحت بار وارده (M_u) با هم مقایسه شده اند.



شکل۶- مقایسه مقاومت نهایی محاسبه شده با روابط تئوری و نتایج آزمایشگاهی

با توجه به شکل های (۷) و (۸) مود خرابی دال های تقویت شده با GFRP را می توان از نوع شکست خمشی دانست.

شکل۷- ایجاد ترک خمشی در دال بتنی تقویت شده با ۱ لایه ورق GFRP

شکل۸- ایجاد ترک خمشی در دال بتنی تقویت شده با ۲ لایه ورق GFRP

۹.نتیجه‌گیری

- با محاسبه ظرفیت نهایی (M_r) دال های بتنی تقویت شده با GFRP و محاسبه لنگر خمشی تحت بار وارده (M_u) به دال ها در آزمایشگاه و مقایسه این دو مقدار مشاهده می گردد که میزان لنگر خمشی تحت بار در دال بتنی تقویت شده با ۱، ۲ و ۳ لایه ورق GFRP به ترتیب ۴۴، ۶۸ و ۹۳ درصد ظرفیت نهایی محاسبه شده برای آن دال ها می باشد.این نتیجه بدین معنی است که دال های مورد مطالعه توانایی تحمل ظرفیت نهایی محاسبه شده برای آن ها طبق نشریه ۳۴۵ را نداشته و در کمتر از مقدار محاسبه شده دچار گسیختگی می گردند.
- از طرفی با مقایسه دال های تقویت شده با نمونه شاهد می توان نتیجه گرفت که افزودن ورق GFRP به دال های بتنی سبک و بدون آرماتور فولادی باعث افزایش ظرفیت باربری آن ها می گردد و با افزایش تعداد لایه ها ظرفیت باربری نیز افزایش می یابد.
- با افزایش تعداد لایه های ورق GFRP به سطح زیرین دال بتنی سبک بدون آرماتور مقدار ظرفیت نهایی مقطع و لنگر خمشی تحت بار وارده به هم نزدیک می شود.

۱۰.قدرداني

با تشکر از واحد توسعه و تحقیق شرکت ساوانا بتن سانا که همکاری های لازم جهت انجام آزمایشات را انجام دادند.

۱۱.مراجع

[1] saaman, M. mirmian, A. , And shahawy, M. , "Model of concrete concrete confined by fiber composites", J. of Structural Engineering, ASCE, V. ۱۲۴, No. ۹, PP. ۱۰۲۵-۱۰۳۱, ۱۹۹.

[2] Ehsani, M. R. , Saadatmanesh, H. , and Tao, S. , "Bond of GFRP Rebars to Ordinary- Strength Concrete," Fiber-Reinforced-Plastic Reinforcement for Concrete Structures, International Symposium, ACI-SP-۱۳۸, ۱۹۹۳, pp. ۳۳۳-۳۴۶.

[3] Mosallam, A.S. and Mosalamr, K.A., (۲۰۰۳). "Strengthening Two Way Concrete Slabs with FRP Composite Laminates , " Constr Build Mater, ۱۷, pp.۴۳-۵۴.

[۴] بحرینی، روح الله، تقویت دال های بتن آرمه ی یک طرفه با استفاده از GFRP، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون، (۱۳۸۶).

[5] Al-Deen Bsisu K., Sargand S., Ball R.,"The Effect of Width, Multiple Layers and Strength of FRP Sheets on Strength and Ductility of Strengthened Reinforced Concrete Beams in Flexure", Jordan Journal of Civil Engineering, Volume ۹, No. ۱. ۲۰۱۵.

[۶] کرامتی, الناز و حمید وارسته پور، " بررسی آزمایشگاهی رفتار خمشی دال های بتن سبک سازه ای بدون میلگرد تقویت شده با پارچه های کربن"، سومین کنفرانس سالانه پژوهش های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری، شیراز، موسسه معماری و شهرسازی سفیران راه مهرازی،۱۳۹۶.

[7] ACI ۴۴۰-۲R. (۲۰۰۸)."Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures" American Concrete Institute.

[۸] راهنمای طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمان های بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP، نشریه شماره ۳۴۵، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۵.

[۹] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، (۱۳۹۵). "مبحث نهم مقررات ملی ساختمان- طرح و اجرای ساختمان های بتن آرمه". چاپ دهم.

[۱۰] شکرچی زاده، م. (۱۳۸۷). "سبکدانه سازه ای ۲ لیکا". انسیتیتو مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه تهران.

Evaluation of Bearing Capacity of the Concrete Slab Reinforced with GFRP

soroush karami nezhad[۱], reza rahmatkhah[۲], Davod Ghaedian Rounizi[۳], sahar piraloo[۴]

1- Master of Science in Structural Engineering, Apadana Institute of Higher Education
2- Instructor of Civil Engineering, Islamic Azad University Shiraz Branch
3- Instructor of Civil Engineering, Islamic Azad University Eghlid Branch
4- Expert of Development and research unit, Savana Beton Sana Company

Abstract

The use of FRP composites due to their good mechanical and physical properties is an excellent option for reinforcing and reinforcing existing concrete elements in order to withstand more load or eliminate structural weakness or increase ductility. In this study, while describing the experiments performed in the laboratory, we discuss the theoretical issues presented in Journal ۳۴۵ to determine the loading rate of FRP reinforced concrete components. For this purpose, ۴ samples of lightweight concrete slab with no steel reinforcment with dimensions (۵ m long, ۰،۵ m wide and ۰،۱ m thick) were made in laboratory environment, three concrete slabs with ۱ layer, 2 layers and 3 layers of GFRP sheet. The layers have been reinforced and a slab is seen as an example without GFRP reinforcement. Slab load is applied as a mass load by varying the height of the water on the slab and loading with water until the slab is completely broken. The results show that the bearing capacity obtained in the laboratory is lower than the calculated bearing capacity in the theoretical equations. In this way, the laboratory load bearing capacity of lightweight concrete slab with reinforcement of ۱, ۲ and ۳ layers of GFRP is ۴۴, ۶۸ and 93% of theoretical bearing capacity.

Keywords: Lightweight concrete slab, no reinforcement, GFRP, Bearing capacity.