

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.soroush^{۶۸}@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@c\co.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 FRP یا همان Fiber Reinforced Polymer/Plastic ها از جمله مواد کامپوزیتی هستند که آن ها را می توان برای ترمیم یا تقویت و بهسازی انواع سازه های بتنی با نصب بر روی سطح (دال ها و تیرها، ستون ها، دیوارهای حمال، شناژها و فونداسیون) و در ساختمان های مسکونی، اداری و تجاری، ساختمان های صنعتی، تکیه گاه های ماشین آلات و تأسیسات سنگین، سازه های آبی از قبیل سد، کانال، کالورت و غیره، پل های جاده ای و ریلی، مخازن و منابع آب و مایعات، سیلواها و برج های خنک کننده به کار برد.

با پیشرفت های علم و فناوری، امروزه متخصصین امر ساخت و ساز سعی می کنند به تکنولوژی ساخت مواد جدیدی دست یابند که علاوه بر انجام وظیفه های در نظر گرفته شده، از جنبه های دیگر مؤثر بر سازنده مانند وزن، مقاومت، راحتی کاربرد و طول عمر نیز برتری هایی داشته باشند. یکی از این مواد که دارای مزیت های شمرده شده می باشد کامپوزیت های پلیمری می باشند. این مواد قابلیت استفاده به صورت های مختلف و در قسمت های مختلف سازه را دارند [۱].

مواد مرکب FRP، دامنه وسیعی از کاربردها را برای مقاوم سازی سازه های بتن آرمه در مواردی که تکنیک های مرسوم مقاوم سازی ممکن است مسئله ساز باشند، به خود اختصاص داده اند. برای نمونه، یکی از معمول ترین تکنیک ها برای بهسازی اجزاء بتن آرمه، استفاده از ورق های فولادی است که از بیرون به این اجزاء چسبانده می شود. 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 می شود. 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 مقاوم سازی خمشی اجزاء بلند). مواد FRP برخلاف فولاد، تحت تأثیر زوال الکتروشیمیایی قرار نمی گیرند و می توانند در مقابل خوردگی اسیدها، بازها و نمک ها و مواد مهاجم مشابه در دامنه وسیعی از دما مقاومت کنند. در نتیجه نیاز به سیستم های حفاظت از خوردگی نمی باشد و آماده کردن سطوح اعضاء قبل از چسباندن صفحات FRP و نگهداری از آن ها بعد از نصب، از صفحات فولادی آسان تر است. علاوه بر این، الیاف مسلح کننده در FRP می توانند در موضع معین و در نسبت حجمی و جهت خاصی درون ماتریس قرار گیرند تا بیشترین کارایی به دست آید. مواد حاصله تنها با درصدی از وزن فولاد، مقاومت و سختی بالایی در جهت الیاف دارند. آن ها همچنین حمل و نقل آسان تری داشته، نیازمند داربست کمتری برای نصب می باشند، و می توانند برای مکان هایی که دارای دسترسی محدود هستند، مورد استفاده قرار گیرند؛ و پس از نصب، بار اضافی قابل توجهی را به سازه تحمیل نمی کنند [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 دو طرفه مناسب می باشند [۳]. در سال 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 عرض ها و تعداد لایه های مختلف تقویت شده بودند، فشارسنج های الکترونیکی در فیبر بالای بتن، فولاد و FRP نصب گردیده، و کرنش و تغییر شکل های وسط دهانه را برای هر مرحله ثبت کردند. داده ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند همچنین انعطاف پذیری 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 انعطاف پذیری می شود. با استفاده از چندین لایه ورق های FRP گسترده، مقاومت افزایش یافته اما میزان تغییر شکل را کاهش می دهد. چند نوار باریک FRP بر روی مقاومت تأثیری چندانی ندارد اما میزان تغییر شکل و انعطاف پذیری را به طور چشم گیری کاهش می دهد [۵].

کرامتی و وارسته پور (۱۳۹۶)، مطالعاتی پیرامون تأثیر 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 ۱ عدد 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 خوردگی 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].

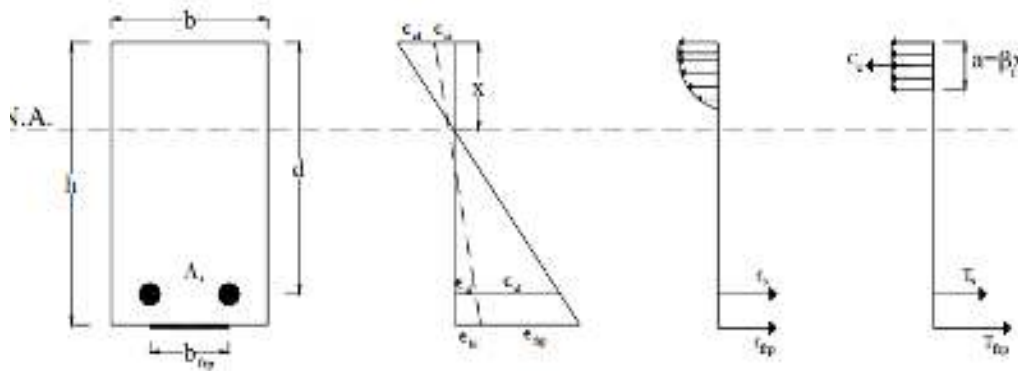
۳. روابط تنوری محاسبه ظرفیت نهایی مقطع

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 0.003 به وسیله یک توزیع تنش مستطیلی معادل با مشخصات زیر تامین کرد:

الف: تنش برابر با $0.85 f_c$ ، 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_1 برای بتن با مقاومت فشاری مشخصه تا ۳۰ مگاپاسکال، برابر با 0.85 است. برای مقاومت های بیشتر به ازای هر مگاپاسکال افزایش مقاومت فشاری مشخصه بتن، مقدار β_1 به صورت خطی به اندازه 0.008 کاهش می یابد. حداقل مقدار β_1 به 0.65 محدود می شود [۸].

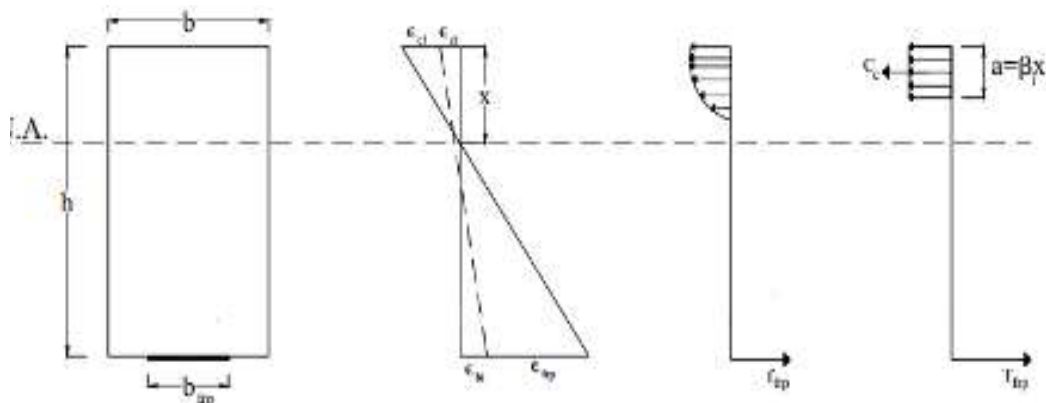


شکل ۱- نمودار تنش - تغییر طول نسبی داخلی مقطع مستطیلی تحت خمش [۸]

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

$$M_r = \phi_s f_s A_s \left(d - \frac{a}{\gamma}\right) + \phi_{frp} E_{frp} \varepsilon_{frp} A_{frp} \left(h - \frac{a}{\gamma}\right) \quad (1)$$

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 حدى مقطع مستطیلی تقویت شده با FRP بدون آرماتور فولادی از رابطه (۲) به دست می آید.

$$M_r = \phi_{frp} E_{frp} \varepsilon_{frp} A_{frp} \left(h - \frac{a}{\gamma}\right) \quad (2)$$

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

$$M_r = \frac{f_r I}{C} \quad (3)$$

که در آن $I = \frac{1}{12} b h^3$ و $f_r = 0.62 \times 0.85 \sqrt{f_c}'$ و C فاصله تارخنتی 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 مورد نیاز 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.

جدول ۱- جزئیات طرح اختلاط بتن سبک سازه ای

نوع مصالح	مقدار (Kg)
-----------	------------

۵۰۰	پوکه
۴۷۵	ماسه
۴۶۳	سیمان
۴۶	سیلیس
۱۶۲	آب
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	
γ_c	1700	KN/m ³
E_c	237170.8245	Kg/cm ²
B_1	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 ($f_c' = 25 \text{ MPa}$) 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.

جدول ۴- مشخصات مدل آزمایشگاهی

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



شکل ۳- 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 نشست 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 (شکل ۴) 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 200 Kg 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 استفاده کرد.

$$M_u = \frac{qL^2}{8} \quad (۴) \text{ بار گسترده}$$

$$M_u = \frac{PL}{4} \quad (۵) \text{ بار متمرکز}$$



شکل ۴- تغییر شکل اولیه دال بتنی با ۱ لایه ورق GFRP



شکل ۵- قالب بندی دال با ۲ و ۳ لایه ورق FRP

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 FRP در جدول (۵) آورده شده است.

جدول ۵- نتایج ظرفیت نهایی دال های بتنی سبک تقویت شده با GFRP (نتایج تئوری)

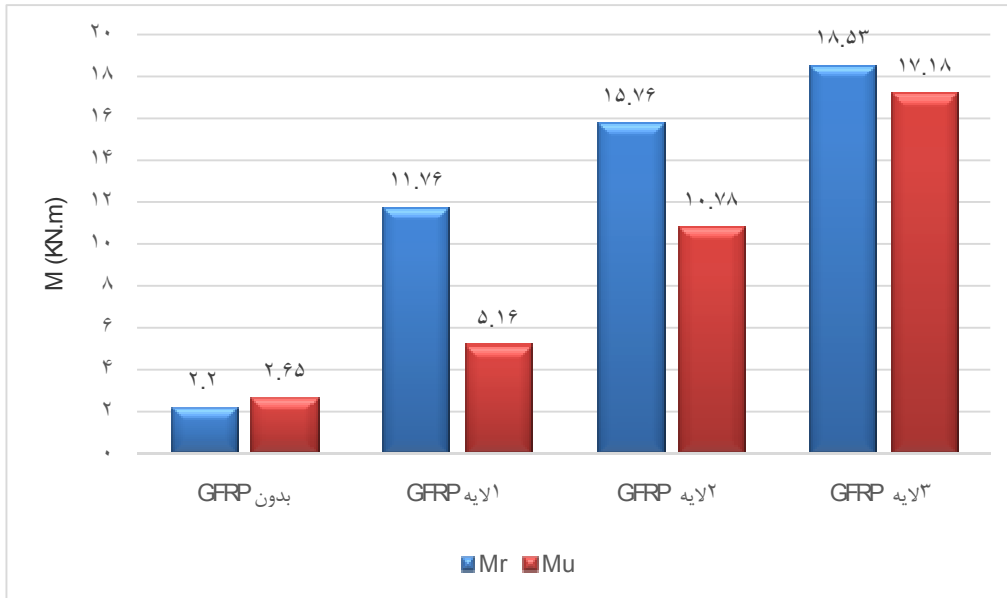
نام نمونه	M_r
شاهد (بدون GFRP)	۲/۲
۱ لایه GFRP	۱۱/۷۶۵
۲ لایه GFRP	۱۵/۷۶
۳ لایه GFRP	۱۸/۵۳

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 لایه GFRP	۳ لایه GFRP	توضیحات
W_D	۸۵ Kg/m	۸۵ Kg/m	۸۵ Kg/m	۸۵ Kg/m	بار مرده سقف
W_L	.	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

در شکل (۶) ظرفیت نهایی مقطع (M_r) و لنگر خمشی تحت بار وارده (M_{II}) با هم مقایسه شده اند.



شکل ۶- 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.



شکل ۷- ایجاد ترک خمشی در دال بتنی تقویت شده با ۱ لایه ورق GFRP



شکل ۸- ایجاد ترک خمشی در دال بتنی تقویت شده با ۲ لایه ورق GFRP

۹. نتیجه‌گیری

- با محاسبه ظرفیت نهایی (M_f) 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 ۶۸، ۹۳ 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. قدردانی

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, ۱۹۹۹.
- [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". انستیتو 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 reinforcement 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.