

## بررسی آزمایشگاهی تاثیر ورق های GFRP بر سختی دال بتنی سبک فاقد آرماتور فولادی

### کد B

شاپور رستمی<sup>۱</sup>، داود فائدیان رونیزی<sup>۲</sup>

۱- گروه مهندسی عمران، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران، shapoor283@gmail.com

۲- گروه مهندسی عمران، واحد اقلید، دانشگاه آزاد اسلامی، اقلید، ایران، ghaedian@ut.ac.ir

(ghaedian@ut.ac.ir)

### چکیده

در سال های اخیر استفاده از ورق های کامپوزیت FRP در امر مقاوم سازی سازه های موجود بسیار مورد توجه قرار گرفته است. کامپوزیت های FRP به دلیل داشتن ویژگی هایی همچون خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب، تحمل بار بیشتر، بهبود نارسایی ناشی از فرسایش، افزایش شکل پذیری سازه گزینه ی مناسبی برای تقویت و بهسازی سازه ها به شمار می رود. از طرفی باتوجه به سازه هایی نظیر آزمایشگاه ها و مراکزی که دارای حسگرها و امواج مغناطیسی و محیط های خورنده می باشند لزوم ساخت سازه های بتنی که در آن جایگزین مناسبی برای مصالح فولادی در نظر گرفته شود به وضوح احساس می شود. لذا در این پژوهش سعی بر آن شده که امکان جایگذاری مصالح فولادی با مصالحی هم چون FRP مورد بررسی قرار گیرد.

بدین منظور ۴ نمونه دال بتنی سبک به ابعاد ۵ متر طول ، ۰/۵ متر عرض و ۰/۱ متر ضخامت ساخته شده که یک دال به عنوان شاهد و ۳ دال دیگر با ۱ ، ۲ و ۳ لایه ورق GFRP در سطح زیرین دال تقویت شده اند. پس از عمل آوری دال ها و قرار گیری بر روی تکیه گاه مناسب، بارگذاری با آب بر روی دال برای اعمال بار زنده گسترده انجام شده است. در حین بارگذاری گنج هایی در وسط دال برای اندازه گیری میزان تغییر مکان نصب گردیده است. نتایج نشان می دهد که استفاده از کامپوزیت های FRP باعث افزایش ظرفیت باربری و سختی خمشی مقطع و همچنین کاهش خیز دال می گردد. از طرفی برای دال های مورد مطالعه رابطه ای میان سختی خمشی مقطع تقویت شده با FRP و مقطع کل بتنی یافت شده است.

کلمات کلیدی: دال بتنی، بتن سبک سازه ای، سختی خمشی، خیز، ورق GFRP.

## ۱. مقدمه

در سال های اخیر استفاده از ورق های کامپوزیت FRP در امر مقاوم سازی سازه های موجود بسیار مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از مواد مرکب ساخته شده از الیاف در محیط رزین پلیمری به عنوان پلیمرهای مسلح شده با الیاف (FRP) Reinforced Polymers، به عنوان یک ضرورت در جایگزینی مصالح سنتی و شیوه های موجود معرفی شده است. گرایش روز افزون به استفاده از سیستم های FRP برای مقاوم سازی یا مرمت سازه ها دلایل گوناگون دارد. اگرچه الیاف و رزین های مورد استفاده در سیستم های FRP نسبت به دیگر مصالح متعارف مانند بتن و فولاد گرانتر هستند، لیکن اغلب هزینه های مربوط به دستمزد و تجهیزات نصب سیستم های FRP ارزانتر می باشند. این سیستم ها همچنین می توانند در سطوحی با دسترسی های محدود یا جاهایی که اجرای شیوه های متعارف با مشکلاتی مواجه هستند، مورد استفاده قرار گیرند.

اهمیت این پژوهش به این دلیل است که دال های مورد بررسی فاقد میلگرد بوده و برای استفاده در محیط های حساس به وجود فلزات و محیط های در معرض خوردنگی مناسب است و از طرفی با توجه به ضخامت کمتر این دال ها نسبت به دال های متعارف و همچنین استفاده از بتن سبک سازه ای در این دال ها می تواند صرفه اقتصادی و سهولت در حمل و نقل در دال های پیش ساخته گردد. در صورت حصول نتایج مناسب از این پژوهش، از دال های مورد بحث می توان در محیط های حساس به وجود فلزات مانند آزمایشگاه های مغناطیس و کانال های آب و فاضلاب شهری و... استفاده کرد.

در یک دهه ی اخیر، مطالعات زیادی در زمینه ی مقاوم سازی و تقویت اعضای بتن مسلح مانند تیرها، ستون ها در برش، خمش و حتی پیچش با استفاده از الیاف پلیمری مسلح به صورت پوشش بیرونی انجام گرفته است [۳-۱]. با وجود تحقیقات گسترده در زمینه ی تیرها و ستون های بتن مسلح، در مورد دال های بتنی فعالیت های تحقیقاتی کمی انجام شده است.

در سال ۲۰۰۳ Mosallam و Mosallam [۴] روی مقاوم سازی دال دو طرفه بتنی با صفحات کامپوزیتی FRP کار کردند. آنها برای محاسبه جواب نهایی دال بتنی مسلح و غیر مسلح تعمیر شده و مقاوم سازی شده با FRP، تحقیقات تجربی و تحلیلی انجام دادند. در این تحقیق هم از CFRP و هم از GFRP استفاده شد و برای پیشگویی رفتار دال تعمیر شده از روش Finite Element استفاده کردند. پس از مقایسه نتایج تحقیقات تجربی و تحلیلی، آنها به نتایج زیر دست یافتند:

برای کاربرد تعمیراتی: در هر دو سیستم FRP، قدرت دال تعمیر شده به ۵ برابر دال عادی، به طور قابل محسوسی افزایش می یابد.

برای کاربرد مقاوم سازی: استفاده از سیستم FRP به طور محسوس ظرفیت ساختمانی دال های غیرمسلح را به اندازه ۵۰٪ و نمونه های مسلح را به اندازه ۲۰۰٪ افزایش می دهد.

آل-دین بیسیسو و همکاران (۲۰۱۵)، یازده تیر تقویت شده را مورد بررسی قرار دادند 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 بروی 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].

در این پژوهش سعی بر آن داریم که امکان جایگذاری مصالح فولادی با مصالحی هم چون GFRP و AFRP را مورد بررسی قرار داده، همچنین با توجه به اینکه در ایران AFRP به ندرت وارد و تولید می گردد تنها به بررسی GFRP پرداخته خواهد شد. از آنجایی که سختی قطعات مسلح شده با این محصول تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است، روابطی در این زمینه در دسترس نمی باشد و با توجه به اینکه در صورت لحاظ نکردن سختی در طراحی ها باعث

بکارگیری مصالح بیشتر و در نتیجه وزن بیشتر سازه می شود که خود موجب هزینه های زیادتر می گردد. لذا بررسی میزان تاثیر ورق GFRP بر سختی (منظور پارامتر سختی EI می باشد) قطعاتی هم چون دال بتنی با استفاده از بتن سبک سازه ای لازم می باشد.

## ۲. مباحث تئوری محاسبه خیز و پارامتر سختی خمشی دال بتنی تقویت شده با GFRP

تغییر شکل یک عضو را می توان در حالت کلی به صورت زیر بیان نمود [۷]:

$$\delta_i = \frac{f(\text{گیرداری دو انتها، بارگذاری، دهانه})}{EI} \quad (1)$$

(تغییر شکل آنی)

با توجه به این که دال مورد بررسی به صورت یک تیر دو سر ساده در نظر گرفته می شود بنابراین تغییر شکل آنی در وسط دهانه برای بار گذاری گسترده به صورت رابطه (۲) و برای بار متمرکز به صورت رابطه (۳) بیان می گردد:

$$\delta = \frac{5WL^3}{384E_c I_e} \quad (2)$$

$$\delta = \frac{PL^3}{48E_c I_e} \quad (3)$$

با توجه به رابطه (۱) سختی خمشی EI عضو بتن مسلح به صورت  $E_c I_e$  در می آید که  $E_c$  مطابق رابطه (۴) و  $I_e$  ممان اینرسی موثر مطابق رابطه (۵) خواهد بود.

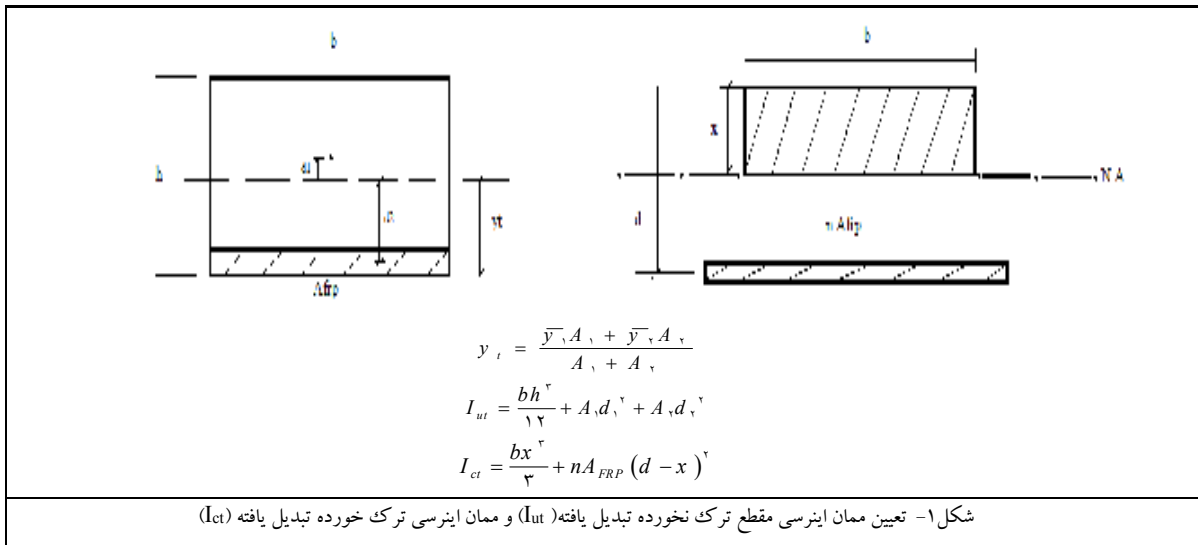
$$E = 15000 \sqrt{f'_c} \quad (4)$$

$$I_e = \left( \frac{M_{cr}}{M_{max}} \right)^3 I_{ut} + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_{max}} \right)^3 \right] I_{ct} \quad (5)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r I_{ut}}{y_t} \quad (6)$$

$$f_r = 1.7 \sqrt{f'_c} \quad (7)$$

مطابق شکل (۱) می توان مقادیر  $I_{ct}$  و  $y_t$ ،  $I_{ut}$  برای مقطع مستطیلی بدون فولاد و تقویت شده با FRP را محاسبه کرد.



### ۳. 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 [۸].

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 [۹].

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)
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

توضیحات	واحد	مقدار	پارامتر
مقاومت فشاری بتن	Mpa	۲۵	f <sub>c</sub>
ضریب کاهش مقاومت	-	۱	ϕ <sub>c</sub>
وزن مخصوص	KN/m <sup>3</sup>	۱۷۰۰	γ <sub>c</sub>
مدول الاستیسیته بتن	Kg/cm <sup>2</sup>	۲۳۷۱۷۰، ۸۲۴۵	E <sub>c</sub>

#### ۴. الیاف کامپوزیت FRP

کاربرد سیستم های FRP برای تقویت و بهسازی سازه های بتنی اواسط دهه ۸۰ میلادی در اروپا و ژاپن آغاز شد. تکنولوژی استفاده از ورق های FRP برای اولین بار در ۱۹۸۴ در سوئیس مورد استفاده قرار گرفت که در آن از ورق های CFRP جهت مقاوم سازی تیرهای بتنی استفاده گردید. مهم ترین مزیت ورق های FRP داشتن نسبت مقاومت به وزن بالای آن ها می باشد. ورق های FRP به طور معمول حداقل دو برابر و حتی می تواند ده برابر مقاومت ورق های فولادی را داشته باشد. در حالی که وزن آن حدود ۲۰٪ وزن ورق های فولادی می باشد.

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

#### ۵. مشخصات مدل آزمایشگاهی

در این پژوهش، ۴ دال بتنی به طول ۵ متر و عرض ۰/۵ متر و ضخامت ۰/۱ 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 بار گذاری متمرکز و گسترده به وسیله آب قرار گرفته است.

جدول ۴- مشخصات مدل آزمایشگاهی

توضیحات	واحد	Slab ۳	Slab ۲	Slab ۱	Slab ۰	پارامتر
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	$L_{slab}$
تعداد لایه های استفاده شده	-	۳	۲	۱	۰	$n_{frp}$
عرض ورق GFRP	mm	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۰	$b_{frp}$
ضخامت ورق GFRP	mm	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰	$t_{frp}$



شکل ۲- دال های تقویت شده با ورق های GFRP

## ۶. 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. در وسط دهانه دال گیج هایی برای اندازه گیری میزان تغییر مکان دال تعبیه شده است. برای بارگذاری دال ها از آب با وزن مخصوص  $1 \text{ ton/m}^3$  استفاده شده است. در هر مرحله آب با دبی مشخص ۲۰۰Kg بر روی دال افزوده می شود و تغییر مکان ناشی از بارگذاری از روی گیج قرائت می گردد.



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



شکل ۴- نصب دایال گیج وسط دال



شکل ۵- چگونگی اعمال بار متمرکز و گسترده به دال بتنی سبک

## ۷. نتایج

- دال بتنی سبک بدون میلگرد و ورق GFRP، هنگام حمل و قرارگیری بر روی تکیه گاه شکسته شده که علت شکست دال قبل از بارگذاری بزرگتر بودن لنگر خمشی ماکزیمم دال از لنگر مقاوم دال ( $M_D > M_R$ ) می باشد.

دال تقویت شده با ۱ لایه ورق GFRP بعد از قرارگیری بر روی تکیه گاه، تغییر شکل زیادی در وسط دال داشته بنابراین امکان قالب بندی برای بارگذاری گسترده بر روی دال وجود نداشته، لذا بار متمرکزی در وسط دال قرار داده شده است.

جدول ۵- نتایج حاصل از بارگذاری دال تقویت شده با سه لایه ورق GFRP

میزان بار (LL) (Kg)	$W = q/L$ (Kg/m)	جابه جایی وسط slab ۱ (mm)	جابه جایی وسط slab ۲ (mm)	جابه جایی وسط slab ۳ (mm)
قبل از بارگذاری	۰	۲۰	۰/۳۲	۰/۰
۲۰۰	۴۰	۴۰	۴/۲۸	۰/۳۵
۴۰۰	۸۰		۱۱/۲۵	۲/۷۰
۶۰۰	۱۲۰		۱۳/۰۵	۶/۴۸
۸۰۰	۱۶۰		۱۴/۱۰	۹/۴۰
۱۰۰۰	۲۰۰		-	۹/۴۳
۱۲۰۰	۲۴۰		-	۹/۸۸
۱۴۰۰	۲۸۰		گسیختگی کامل	۱۰/۸۰
۱۶۰۰	۳۲۰			۱۲/۱۰
۱۸۰۰	۳۶۰			۱۳/۱۰
۲۰۰۰	۴۰۰			۱۴/۶۲
۲۲۰۰	۴۴۰			-
۲۳۲۵	۴۶۵			گسیختگی کامل

با استفاده از رابطه (۲) و (۳) ممان اینرسی موثر آزمایشگاهی برای دال های بارگذاری شده محاسبه شده و در جدول (۶) و (۷) آورده شده است.

جدول ۶- نتایج ممان اینرسی موثر آزمایشگاهی در دال بتنی سبک تقویت شده با ۱ لایه ورق GFRP

Slab ۱		
$W_{LL}(Kg)$	$\delta - \delta_0$ (mm)	$I_{eAz}$ (cm <sup>4</sup> )
۰	۰	۰
۲۰۰	۲۰	۱۰۹۸/۰۱

جدول ۷- نتایج ممان اینرسی موثر آزمایشگاهی ( $I_{eAz}$ ) دال بتنی سبک تقویت شده با دو و سه لایه ورق GFRP

$W(Kg/m)$	Slab ۲		Slab ۳	
	$\delta$ (mm)	$I_{eAz}$ (cm <sup>4</sup> )	$\delta$ (mm)	$I_{eAz}$ (cm <sup>4</sup> )
۰	۰	۰	۰	۰
۴۰	۳/۹۶	۳۴۶۵/۹۵	۰/۳۵	۳۹۲۱۴/۷۵
۸۰	۱۰/۹	۲۵۱۱/۴۷	۲/۷	۱۰۱۶۶/۷۹
۱۲۰	۱۲/۷۳	۳۲۳۴/۵۲	۶/۴۸	۶۳۵۴/۲۴



۱۶۰	۱۲/۷۸	۳۹۸۴/۰۸	۹/۴	۵۸۴۰/۵۰
۲۰۰	-	-	۹/۴۳	۷۲۷۷/۳۹
۲۴۰	-	-	۹/۸۸	۸۳۳۵/۱۲
۲۸۰	-	-	۱۰/۸	۸۸۵۹/۹۴
۳۲۰	-	-	۱۲/۱	۹۰۷۴/۴۹
۳۶۰	-	-	۱۳/۱	۹۴۲۹/۵۰
۴۰۰	-	-	۱۴/۶۲	۹۳۸۷/۹۴

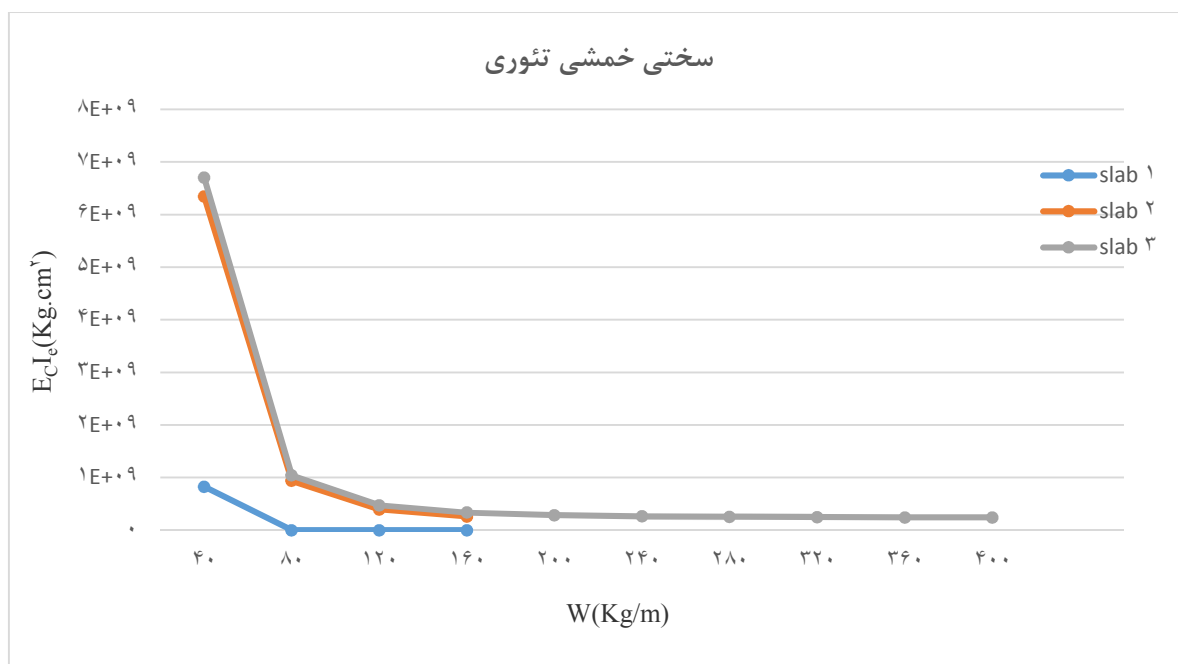
با کمک رابطه (۵) ممان اینرسی موثر تئوری برای دال های مدل سازی شده محاسبه شده و در جدول (۸) و (۹) ارائه گردیده است.

جدول ۸- نتایج ممان اینرسی موثر تئوری ( $I_e$ ) در دال بتنی سبک تقویت شده با ۱ لایه ورق GFRP

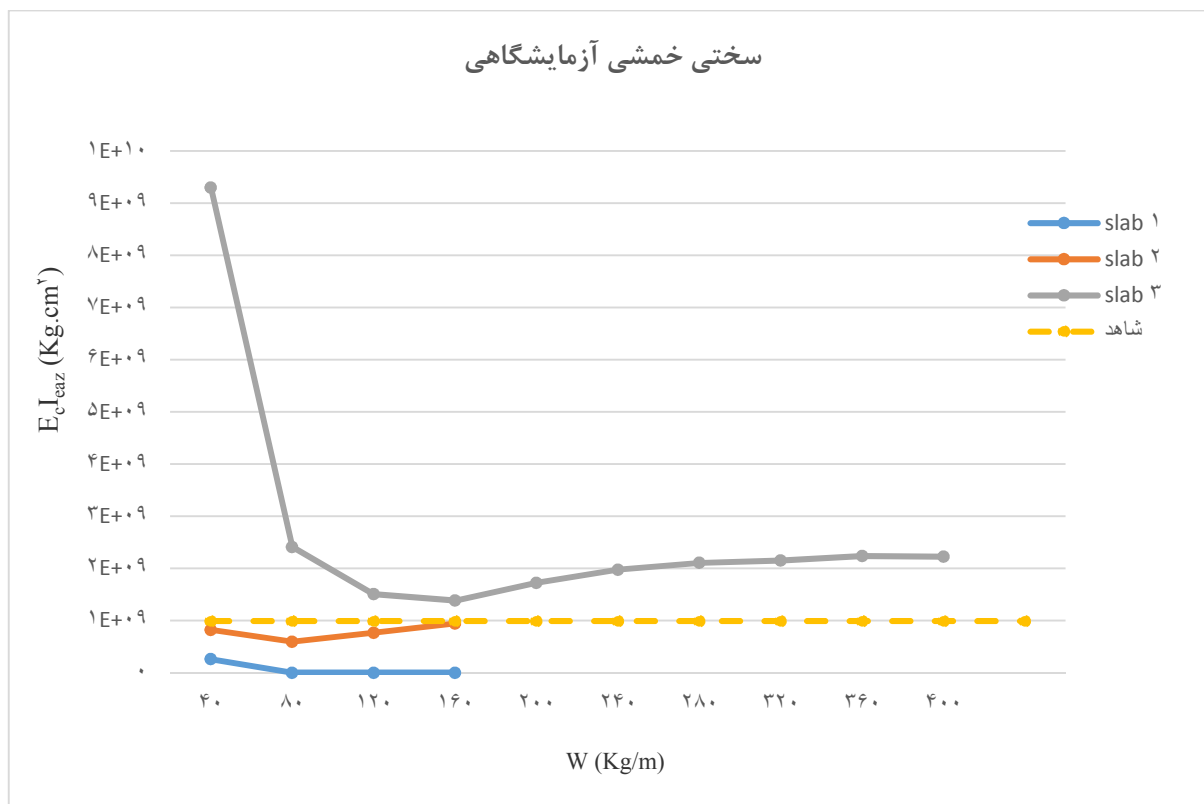
	Slab ۱
LL(Kg)	$I_e$ (cm <sup>4</sup> )
۰	۰
۲۰۰	۳۴۸۹/۵۶

جدول ۹- نتایج ممان اینرسی موثر تئوری ( $I_e$ ) دال بتنی سبک تقویت شده با دو و سه لایه ورق GFRP

	Slab ۲	Slab ۳
W(Kg/m)	$I_e$ (cm <sup>4</sup> )	$I_e$ (cm <sup>4</sup> )
۰	۰	۰
۴۰	۲۶۷۶۰/۲۱	۲۸۲۶۵/۹۳
۸۰	۳۹۵۳/۳۱	۴۳۹۸/۲۶
۱۲۰	۱۶۶۰/۵۶	۱۹۹۸/۸۷
۱۶۰	۱۱۰۲/۴۵	۱۴۱۴/۸۱
۲۰۰	-	۱۲۰۶/۸۲
۲۴۰	-	۱۱۱۴/۸۸
۲۸۰	-	۱۰۶۸/۱۲
۳۲۰	-	۱۰۴۱/۸۷
۳۶۰	-	۱۰۲۶/۰۲
۴۰۰	-	۱۰۱۵/۸۸



شکل ۶- مقایسه سختی خمشی تئوری دال بتنی سبک تقویت شده با ۱، ۲ و ۳ لایه ورق GFRP



شکل ۷- مقایسه سختی خمشی آزمایشگاهی دال بتنی سبک تقویت شده با ۱، ۲ و ۳ لایه ورق GFRP

## ۸. نتیجه گیری

کاربرد ورقهای GFRP در تقویت دال بتنی سبک فاقد میلگرد سبب کاهش خیز دال تقویت شده می گردد. نتایج نشان می دهند که تعداد لایه های ورق GFRP تاثیر زیادی بر خیز دال ها می گذارد. همچنین با افزایش تعداد لایه ها خیز به دست آمده از نمونه های مختلف به هم نزدیک تر شده است.

همچنین استفاده از ورق GFRP در تقویت دال ها سبب افزایش سختی دال بتنی سبک فاقد میلگرد می گردد. نتایج نشان می دهند که استفاده از روابط تئوری برای محاسبه سختی خمشی دال های بتنی سبک فاقد میلگرد و تقویت شده با GFRP (دال های مورد مطالعه) مناسب نبوده و برای محاسبه سختی خمشی دال می توان از رابطه  $E_c I_e = \alpha E_c I_g$  استفاده کرد. ضریب  $\alpha$  برای دال های مورد مطالعه با ۱، ۲ و ۳ لایه تقویت GFRP به ترتیب برابر ۰/۲۶، ۰/۸ و ۲ می باشد.

## ۹. قدر دانی

از واحد توسعه و تحقیق شرکت ساوانا بتن سانا، به جهت در اختیار گذاشتن امکانات کامل آزمایشگاهی و راهنمایی های علمی در زمینه اجرای آزمایش ها و روند انجام پژوهش تقدیر و تشکر می نمایم.

## ۱۰. مراجع

- [۱] Taljsten, B., (۱۹۹۷). "Strengthening of Existing Concrete Structures with Epoxy Bonded Plates of Steel or Fiber Reinforcement Plastics", *J Mater Civil Eng*, ۲۶(۴), pp. ۲۰۶-۱۲.
- [۲] Triantafilou, T.C., (۱۹۹۸). "Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Epoxy - Bonded FRP Composites", *ACI Structure Journal*, ۹۵(۲), pp. ۱۰۷-۱۵.
- [۳] Hotchinson A.R. and Rahimi H., (۱۹۹۳). "Behavior of Reinforced Concrete Beam with Externally Bonded Fiber Reinforced Plastics", *Proc 8<sup>th</sup> International Conference on Structural Faults and Repair*, University of Edinburg, Vol. ۳, pp. ۲۲۱-۲۲۸.
- [۴] Ayman S. Mosallam, Khalid M. Mosallam. (۲۰۰۳). "Strengthening of Two-way concrete slabs with FRP composite laminates" *Construction and Building Materials Journal*, V. ۱۷, No. ۱: pp. ۴۳-۵۴.
- [۵] Al-Deen Bsisu K., Sargand S., Ball R., (۲۰۱۵) "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.

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

[۷] طاحونی، ش. (۱۳۷۶). "طراحی سازه های بتن مسلح". انتشارات دهخدا، جلد اول، چاپ هشتم، اسفندماه ۱۳۷۶.

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



یازدهمین کنفرانس ملی بتن  
۱۴،۱۵،۱۶ مهرماه ۱۳۹۸  
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



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

[۹] صیامی، م.، جعفری زاده، م. (۱۳۸۴). "معرفی کامپوزیت های پلیمری در تقویت و مقاوم سازی سازه های موجود". اولین همایش بین المللی زلزله و سبک سازی ساختمان.

[۱۰] <https://www.afzir.com>



یازدهمین کنفرانس ملی بتن  
۱۴،۱۵،۱۶ مهر ماه ۱۳۹۸  
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



## Evaluation of the effect of GFRP sheets on the Stiffness of Structural lightweight concrete without steel reinforcement

Shapoor Rostami<sup>۱</sup>, Davod Ghaedian Rounizi<sup>۲</sup>

1-Department of Civil Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz,Iran.  
2- Department of Civil Engineering, Eghlid Branch, Islamic Azad University, Eghlid,Iran.

### Abstract

In these years, the use of FRP composite sheets for the retrofitting of existing structures has received much attention. FRP composites are a good properties for reinforcing structures because of their properties such as good physical and mechanical properties, higher load tolerance, improved erosion failure, increased structural flexibility. On the other hand, with regard to structures such as laboratories and centers with sensors and magnetic waves and corrosive environments, the need to construct concrete structures that are considered a good replacement for steel materials is clearly felt. Therefore, in this study, we tried to investigate the feasibility of replacing steel materials with materials such as FRP.

For this purpose, ۴ samples of lightweight concrete with dimensions of  $500 \times 500 \times 10$  cm were made. After the slabs have been processed and placed on the appropriate support, water loading on the slab has been performed for extensive live load. During loading, piles are installed in the middle of the slab to measure the amount of displacement. The results show that the use of FRP composites increases the bearing capacity and bending stiffness of the sections and decrease the slab deflection. On the other hand, for the studied's slabs , a relationship was found between the bending hardness of the FRP reinforced section and the total concrete section.

**Keywords:** Concrete Slab, structural Lightweight Concrete, Bending stiffness, deflection, GFRP Sheet.