

ارزیابی مقایسه ای تیرهای بتن آرمه تقویت شده در خمش با کامپوزیتهای FRP به روش EBR مطابق نشریه شماره ۳۴۵ سازمان مدیریت ایران و استاندارد ISIS کانادا

نوید خدرنژاد^۱، سالار منیعی^۲

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران-سازه - سازمان نظام مهندسی ساختمان استان کردستان

۲- دکتری مهندسی عمران-سازه و زلزله - سازمان نظام مهندسی ساختمان استان کردستان

چکیده

در این مطالعه جهت مقایسه و بررسی رفتار تیرهای بتن آرمه و تقویت شده در خمش با کامپوزیتهای FRP به روش تقویت سطحی (EBR) بر اساس نشریه شماره ۳۴۵ سازمان مدیریت ایران و استاندارد ISIS کانادا و همچنین میزان مطابقت با نتایج استخراج شده از ۶ مطالعه مختلف آزمایشگاهی صورت پذیرفته در گذشته توسط محققین، عملکرد این قبیل المانها مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی سریع و دقیق نتایج عددی در این مطالعه با تولید یک برنامه کامپیوتری از طریق کد نویسی موسوم به نرم افزار FRP-345 PRO اثر تغییرات چندین پارامتر از جمله: تعداد لایه ها، عرض، ضخامت و سختی کامپوزیتها و نیز مقاومت مشخصه بستر بتنی، سطح مقطع، تنش تسلیم و درصد میلگردهای خمشی با لحاظ و عدم لحاظ نمودن کرنش اولیه بتن (به تنهایی ناشی از وزن تیر) در معادلات حل مقاطع تحت خمش بر اساس نشریه ۳۴۵ در هنگام نصب و اجرای سیستم FRP و همچنین درصد تطابق با خروجی های نشریه ISIS و نیز نتایج عملی، ظرفیت و حالت گسیختگی نهایی مقاطع بتنی ذکر شده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج و ارزیابی های عددی و آماری نشان دادند که نشریه ۳۴۵ و استاندارد ISIS مطابقت بسیار خوبی در نتایج عددی با یکدیگر داشته و به استثنای چند بخش جزئی عنوان شده در متن این پژوهش، از یک روند نسبتا مشابه در طراحی ها استفاده می کنند و آنچه از نتایج نمونه های موردی در این مطالعه نتیجه شد اینکه عموما این نشریات ظرفیت نهایی مقاطع تحت خمش را با ضریب ایمنی بالایی نسبت به نتایج عملی عنوان نموده و در ادامه نظر به اینکه نشریه ۳۴۵ و همچنین استاندارد ISIS، پدیده جداشدگی زود هنگام ورقهای FRP از بستر بتنی را در طراحی در نظر نمی گیرند، ممکن است در پاره ای از موارد در عمل سازوکار گسیختگی نهایی تیرهای بتنی تقویت شده در خمش، با نتایج این دستورالعمل ها مطابقت نداشته باشد.

کلمات کلیدی: نشریه ۳۴۵، استاندارد ISIS، تقویت خمشی، کرنش اولیه بتن، تیر بتن آرمه

۱. مقدمه

استفاده از کامپوزیتهای با زمینه پلیمری در صنعت ساختمان و در مقیاس جهانی سابقه طولانی ندارد و توسعه این فناوری در صنعت بهسازی ساختمانها به ویژه سازه های بتن آرمه به حدود سه دهه پیش بر می گردد و طی سالیان اخیر از رشد قابل توجهی برخوردار بوده است که دلیل اصلی آن نیاز به افزایش عمر بهره برداری و ارتقای اساسی زیرساختها در تمامی نقاط دنیا می باشد. از ویژگیهای اصلی این کامپوزیتهای پلیمری می توان مقاومت مناسب در برابر خوردگی، سادگی اجرا در محل نصب و سبکی آنها را برشمرد. امروزه تعداد قابل توجهی از مقالات علمی نشریات و کنفرانسهای مربوط به مهندسی عمران و سازه نیز به بحث کاربرد این مصالح در مقاوم سازی اختصاص دارد. در همین راستا نیز بسیاری از کشورهای جهان اقدام به تدوین

دستورالعمل های طرح و اجرای سیستمهای FRP نمودند که از آن جمله می توان به دستورالعمل های ISIS کانادا ، بولتن FIB اروپا ، ACI-440.2R ایالات متحده آمریکا و در کشور عزیزمان به نشریه شماره ۳۴۵ سازمان مدیریت کشور اشاره نمود. مطابق تمامی دستورالعملهای طراحی ذکر شده ، سیستم های مقاوم سازی FRP باید براساس تحمل بارهای کششی طراحی شوند، در عین حال باید سازگاری کرنشی را با بتن سطح زیرین خود داشته باشند . اتصال مصالح FRP به ناحیه کششی تیرها به طوری که راستای الیاف آن در جهت طولی یک عضو خمشی باشد، باعث افزایش مقاومت خمشی آن عضو می گردد. صفحه تقویتی اتصال یافته به تیر موجب افزایش عملکرد تیرهای بتنی تحت بارهای سرویس و کاهش جابه جای ها و ترک خوردگی ها شده و مقاومت خمشی نهایی این قبیل المانها را افزایش می دهد.

۲. مروری بر مطالعات گذشته

(رضایی فر و دریابگی) با جمع آوری و بررسی چندین نمونه از تحقیقات آزمایشگاهی گسترده و متنوع انجام گرفته در گذشته توسط محققین و به منظور مقایسه نتایج با خروجی های حاصل از تحلیل عددی چند دستورالعمل طراحی از قبیل ACI و FIB و ISIS و BS در مورد تقویت خمشی و برشی تیرها به وسیله مصالح FRP ، برای نتیجه گیری جزئی تر که با توجه به نتایج آیین نامه ها در بخش خمش و برش جمع بندی شده بود و در هر آزمایش با توجه به داده های ارائه شده ، نتایج آیین نامه ها توسط نرم افزارهایی که در MATLAB نوشته شده بودند ، محاسبه و در جداولی به طور جداگانه ارائه دادند و در نهایت با نتایج تجربی مقایسه کردند و موارد ضعف و برتری هر کدام از دستورالعملهای ذکر شده به تفسیر مورد بحث و نتیجه گیری قرار گرفتند. این پارامترها در چند بخش خصوصیات ابعادی المان، خصوصیات مکانیکی بتن و فولاد و در نهایت خصوصیات مکانیکی و ابعادی FRP ، بود و در ادامه نتایج استخراج و برای هر آزمایش جداولی از ضرایب ایمنی و انحراف معیار آنها و همچنین درصد تطابق مود گسیختگی حاکم بر اساس دستورالعملها نسبت به نتایج آزمایشگاهی ارائه گردید. با توجه به بررسی های انجام شده در پایان تحقیق نتایج زیر ارائه گردید:

با افزایش تعداد لایه های FRP ، البته تا یک حد خاص ، نتایج ACI و ISIS همانند نتایج عملی تاثیرپذیری زیادی از خود نشان داده و افزایش می یابند. در این موارد ، این اثر با افزایش سختی FRP ، بیشتر می گردد. اما نتایج BS و FIB نسبت به این، واکنش کمتری نشان داده و میزان تاثیرپذیری آنها به نوع FRP و سختی آن بستگی ندارد. در پایان نیز این چهار راهنما را به طور کلی با یکدیگر مقایسه کردند ، و نشان دادند که استاندارد ISIS ، سریعترین و ساده ترین بیان را البته با فرضیات ساده شده مختلف داشته در حالیکه راهنماهای BS انگلستان و FIB پیچیده ترین روشها را ارائه داده اند. همچنین آیین نامه ACI با بیانی ساده تر و البته فرضیاتی معقولانه تر نسبت به ISIS یک روند طراحی مناسبی را در پیش گرفته و از لحاظ مباحث اجرایی به طور کامل بدان پرداخته است و این در حالی است که استاندارد FIB ، از لحاظ جامعیت نسبت به دیگر آیین نامه ها برتری داشت [۱].

۳. روش و طرح تحقیق

در این مطالعه با استفاده از نتایج و جزئیات ۶ مطالعه آزمایشگاهی صورت گرفته توسط محققین در خصوص رفتار تیرهای بتن آرمه تقویت شده در خمش با کامپوزیتهای FRP ، به منظور بررسی و مقایسه با نقاط قوت و ضعف دستورالعملهای معتبر طراحی در این حوزه به شیوع عددی و نیز بوسیله نتایج حاصل از تحلیل نرم افزاری و مطالعات آماری به شیوه زیر عمل می شود:

به منظور بررسی حساسیت نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی به پارامترهای گوناگون در چند بخش مشخصات ابعادی المانها، خصوصیات مکانیکی بتن و فولاد و در نهایت خصوصیات مکانیکی و ابعادی FRP ، و نیز با لحاظ و عدم نمودن کرنش اولیه بتن

ناشی از وزن تیر در معادلات حل نشریه ۳۴۵ ایران، رفتار تیرهای بتن آرمه تقویت شده در خمش با کامپوزیت‌های FRP و مقایسه نتایج با نشریه ISIS کانادا در خصوص تقویت این قبیل المانها با چندین نمونه نتایج آزمایشگاهی انجام شده توسط محققین و تفسیر آنها، ارائه می شود.

طی چند سال اخیر، در چند کشور پیشرو در حوزه مقاوم سازی با کامپوزیت‌های FRP از قبیل سوئیس، کانادا و ایالات متحده آمریکا، برنامه های عددی ویژه تحلیل و طرح سیستمهای FRP ارائه شده است که از جمله شاخص ترین آنها می توان به نرم افزار (Sika® CarboDur® , 2014) اشاره نمود.

حال آنکه به سبب نسبتا جدید و نوپا بودن این موضوعات در امر مقاوم سازی و علم مهندسی عمران و عدم آشنایی بسیاری از مهندسين سازه با روابط محاسباتی تدوین شده، می توان از طریق ایجاد یک سامانه رایانه ای منسجم، تنها با استفاده از داده های ورودی از قبیل مشخصات هندسی و خصوصیات مکانیکی سازه و مصالح فولادی، بتنی و کامپوزیت‌های FRP، در کمترین زمان ممکن نیازهای محاسباتی از جمله ظرفیت خمشی و برشی المانهای بتنی را استخراج نموده و در خصوص پیشنهاد بهینه ترین حالت تقویت برای سازه اظهار نظر نمود. جهت بررسی دقیق و سریع عددی با تولید یک برنامه کامپیوتری کاربر پسند از طریق کد نویسی با زبان C# منطبق بر نشریه ۳۴۵، جهت محاسبات تقویت سازه های بتن آرمه با کامپوزیت‌های FRP و با قابلیت‌هایی به شرح زیر بهره حاصل گردید:

الف) تقویت خمشی و برشی تیرهای بتن آرمه با مقاطع مستطیلی و T شکل به روش نصب سطحی متداول در دستورالعملهای طراحی بین المللی (EBR).

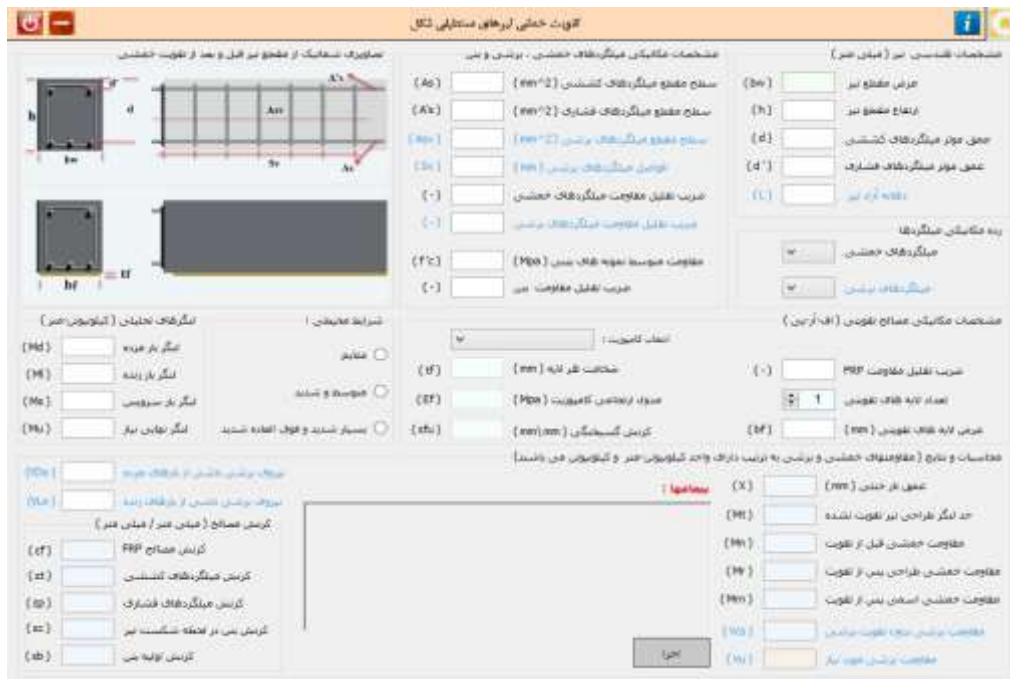
ب) تقویت خمشی دالهای یک طرفه بتن آرمه به روش نوین کاشت و نصب نوارهای نزدیک سطح (NSM).

* دستورالعمل طراحی استفاده شده در این برنامه بر اساس " راهنمای طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمانهای بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP، ۱۳۸۵، نشریه شماره ۳۴۵، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور " استوار بوده، همچنین از (مبحث ۹، ۱۳۹۲) مقررات ملی ساختمان جهت محاسبات و تحلیل سازه های مبنا قبل از تقویت استفاده شده است [۲ و ۳].

توصیه های طراحی براساس اصول حالت طراحی حدی پایه گذاری شده است و در تعیین مقاومت اسمی عضو، حالت های شکست ممکن و تنش ها و تغییرشکل های حاصله در هر یک از مصالح در نظر گرفته شده است و در پایان، هدف بهره گیری از نتایج آزمایشگاهی و مقایسه چندین پارامتر در نتایج حاصل از تحلیل برنامه ساخته شده منطبق بر نشریه ۳۴۵ در این پژوهش موسوم به نرم افزار FRP-345 PRO و تحلیل‌های عددی بر اساس استاندارد ISIS کشور کانادا می باشد.



شکل ۱- منوی اصلی نرم افزار

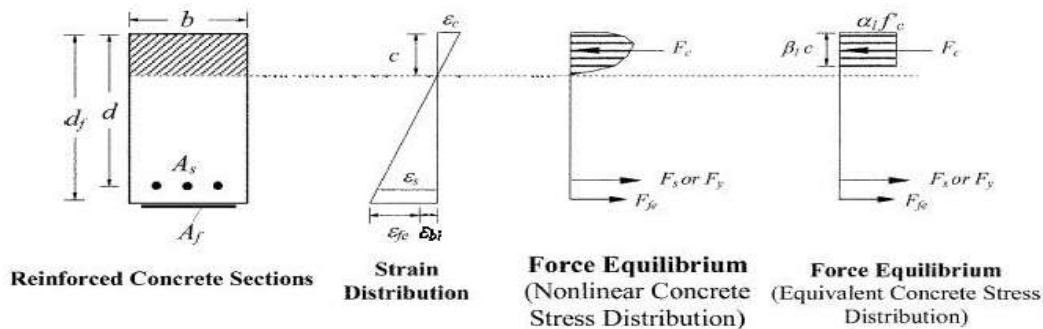


شکل ۲- نمونه فرم محاسبات تقویت خمشی در نرم افزار

۴. کرنش لایه زیرین بتن موجود (کرنش اولیه بتن)

مطابق نشریه شماره ۳۴۵ سازمان مدیریت ایران، در صورتی که قبل از نصب مصالح FRP تمامی بارهای روی عضو شامل وزن تیر و هر نیروی پیش تنیدگی از روی عضو برداشته نشوند، کرنش اولیه در سطح کششی بتن در محاسبات در نظر گرفته می شود. این کرنش به عنوان کرنش اولیه در نظر گرفته شده و از کرنش موجود در FRP، جدا می گردد. میزان کرنش اولیه

در لایه زیرین بتن ϵ_{bi} می تواند با استفاده از تحلیل الاستیک عضو با در نظر گرفتن تمامی بارهای وارده در حین نصب FRP تعیین شود. توصیه می گردد که این تحلیل بر پایه خصوصیات مقطع ترک خورده انجام پذیرد.



$$\epsilon_{fe} = \epsilon_{cu} \left(\frac{d_f - c}{c} \right) - \epsilon_{bi}$$

شکل ۳- توضیح تنش و کرنش داخلی در یک مقطع مستطیلی شکل تحت خمش و تقویت شده با FRP در حالت حدی نهایی

۵. بررسی چند تفاوت در استاندارد ISIS نسبت به نشریه ۳۴۵

(۱) در نمودار تنش فشاری بتن می توان با قبول حداکثر تغییر شکل نسبی بتن در دورترین تار فشاری برابر با 0.0035 به وسیله یک توزیع تنش مستطیلی معادل با مشخصات زیر تامین کرد :

الف : تنشی برابر با $\alpha_1 f_c$ 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 : ضریب α_1 از رابطه زیر حاصل می شود:

$$\alpha_1 = 0.85 - 0.0015 f_c \geq 0.67 \quad (1)$$

پ : برای بتن با مقادیر مختلف مقاومت فشاری مشخصه بتن ، مقدار β_1 به صورت زیر محاسبه می شود. حداقل مقدار β_1 به 0.67 محدود می شود. رابطه زیر عبارت فوق را توصیف می کند.

$$\beta_1 = 0.97 - 0.0025 f_c \geq 0.67 \quad (2)$$

(۲) استاندارد ISIS کانادا ، لحاظ نمودن کرنش اولیه لایه زیرین بتن را در معادلات حل مقاطع تحت خمش ضروری نمی بیند ، در حالی که نشریه ۳۴۵ ، این پارامتر را در معادلات لحاظ و اجباری می داند [4].

(۳) استاندارد ISIS کانادا ضرایب کاهش مقاومت مصالح را مانند جدول زیر برای ساختمان و پلها پیشنهاد می کند:

جدول ۱: ضرایب کاهش مقاومت مصالح در سیستم مقاوم سازی با FRP

پل	ساختمان	ضریب کاهش مقاومت مصالح
۰,۷۸	۰,۷	ϕ_f (الیاف کربنی)
۰,۷۶	۰,۶	ϕ_f (الیاف شیشه)

۴) حد مجاز تنش در سیستم مقاوم سازی FRP تحت بارهای بهره برداری :
در استاندارد ISIS برخلاف نشریه ۳۴۵ ، مقدار تنش در FRP تحت بارهای بهره برداری توسط مشخصه های گسیختگی خزشی مصالح مختلف FRP و مقاومت خستگی آنها محدود می شود. به همین منظور ISIS همانند ACI مقدار تنش بهره برداری در سیستم FRP را با توجه به نوع فیبر استفاده شده محدود می کند.

جدول ۲: حداکثر مجاز تنش بهره برداری در سیستم مقاوم سازی FRP

Carbon FRP	Aramid FRP	Glass FRP	نوع تنش
$0.55f_{tu}$	$0.3f_{tu}$	$0.2f_{tu}$	تنش های دائمی بعلاوه حداکثر تنش تحت بارهای دوره ای

۶. مشخصات نمونه های مورد بررسی :

جهت بررسی تاثیر پارامترهای مقاومت مشخصه بتن ، تعداد ، عرض ، سختی و ضخامت لایه های تقویتی FRP ، سطح مقطع ، سختی و تنش تسلیم میلگردهای خمشی و تغییرات ابعادی تیرها بر ظرفیت خمشی و سازوکار گسیختگی تیرهای بتن آرمه تقویت شده با FRP در خمش ، با استفاده از نتایج ۶ مطالعه نسبتا جامع و متنوع آزمایشگاهی صورت گرفته توسط محققین در گذشته و مقایسه این نتایج عملی با نتایج حاصل از نشریات استاندارد ISIS کانادا و همچنین جهت تحلیل سریع و دقیق نتایج نشریه ۳۴۵ با تولید یک سامانه رایانه ای منسجم از طریق کد نویسی موسوم به نرم افزار FRP-345 PRO (در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن کرنش اولیه در بتن ناشی از وزن تیر) بهره حاصل گردید.

جدول ۳: خصوصیات تیر و FRP در نمونه های مطالعه اول [5]. Takahashi Y. and Sato Y. (2003)

نمونه ها	b (mm)	h (mm)	d (mm)	d' (mm)	bf (mm)	tf (mm)	nf	As (mm ²)	A's (mm ²)	f'c (Mpa)	Fy (Mpa)	Ef (Mpa)	φf
F0	200	300	250	50	---	---	---	573	63/34	47/5	371	---	---
F1	200	300	250	50	200	0/167	۱	573	63/34	35/8	371	230000	0/75
F2	200	300	250	50	200	0/167	۲	573	63/34	40/2	371	230000	0/75
F3	200	300	250	50	200	0/167	۳	573	63/34	39/0	371	230000	0/75
F4	200	300	250	50	200	0/167	۱	573	63/34	50/3	371	230000	0/75
F5	200	300	250	50	200	0/167	۲	573	63/34	50/3	371	230000	0/75
F6	200	300	250	50	200	0/167	۳	573	63/34	49/5	371	230000	0/75

جدول ۴ : خصوصیات تیر و FRP در نمونه های مطالعه دوم [6]. Soo Shin. And C.Lee. (2003)

نمونه ها	b (mm)	h (mm)	d (mm)	d' (mm)	bf (mm)	tf (mm)	nf	As (mm ²)	A's (mm ²)	f'c (Mpa)	Fy (Mpa)	Ef (Mpa)	φf
R2C	150	250	220	30	---	---	---	254	142	18	435	---	---
R2O	150	250	220	30	13	0/22	۲	254	142	18	435	375000	0/75
R3C	150	250	220	30	---	---	---	381	142	18	435	---	---
R3O	150	250	220	30	13	0/22	۲	381	142	18	435	375000	0/75

جدول ۵: خصوصیات تیر و FRP در نمونه های مطالعه سوم (Sergio F.Brena. (2003)

ϕ_f	E_f (Mpa)	F_y (Mpa)	f'_c (Mpa)	A'_s (mm ²)	A_s (mm ²)	nf	tf (mm)	bf (mm)	d' (mm)	d (mm)	h (mm)	b (mm)	نمونه ها
---	---	440	35/1	142	400	---	---	---	38	318	356	203	شاهد
0/75	230000	440	35/1	142	400	۲	0/165	50	38	318	356	203	A1
0/75	230000	440	37/2	142	400	۱	0/165	100	38	318	356	203	A2
0/75	230000	440	37/2	142	400	۲	0/168	75	38	318	356	203	B1
0/75	230000	440	37/2	142	400	۲	0/168	50	38	318	356	203	B2
0/75	230000	440	34/3	142	400	۲	0/168	50	38	318	356	203	B3

جدول ۶: خصوصیات تیر و FRP در نمونه های مطالعه چهارم (K. S. Leong. (2003)

ϕ_f	E_f (Mpa)	F_y (Mpa)	f'_c (Mpa)	A'_s (mm ²)	A_s (mm ²)	nf	tf (mm)	bf (mm)	d' (mm)	d (mm)	h (mm)	b (mm)	نمونه ها
---	---	547	39/8	157/08	235/62	---	---	---	26	120	146	115	A1
0/75	235000	547	39/8	157/08	235/62	۱	0/165	107/8	26	120	146	115	A2
0/75	235000	547	39/8	157/08	235/62	۲	0/165	107/8	26	120	146	115	A3
---	---	544	39/8	628/32	942/8	---	---	---	52	240	۲۹۲	230	B1
0/75	235000	544	39/8	628/32	942/8	۲	0/165	215/6	52	240	۲۹۲	230	B2
0/75	235000	544	39/8	628/32	942/8	۴	0/165	215/6	52	240	۲۹۲	230	B3
---	---	552	41	1608/5	2412/7	---	---	---	83	384	467	368	C1
0/75	235000	552	۴۱	1608/5	2412/7	۳	0/165	368	83	384	۴۶۷	368	C2

جدول ۷: خصوصیات تیر و FRP در نمونه های مطالعه پنجم (M. Valcuende. (2003)

ϕ_f	E_f (Mpa)	F_y (Mpa)	f'_c (Mpa)	A'_s (mm ²)	A_s (mm ²)	nf	tf (mm)	bf (mm)	d' (mm)	d (mm)	h (mm)	b (mm)	نمونه ها
---	---	500	38/24	56/55	157/08	---	---	---	28	128	150	100	A-C
0/75	165000	500	39/45	56/55	157/08	۱	1/2	50	28	128	150	100	A-S1
0/75	165000	500	38/24	56/55	157/08	1	1/2	50	28	128	150	100	A-SF
---	---	500	37/31	157/08	157/08	---	---	---	28	128	150	100	B-C
0/75	165000	500	41/56	157/08	157/08	1	1/2	50	28	128	150	100	B-S1
0/75	165000	500	37/31	157/08	157/08	1	1/2	50	28	128	150	100	B-SF

جدول ۸: خصوصیات تیر و FRP در نمونه های مطالعه ششم (N. F. Grace. (2002)

ϕ_f	E_f (Mpa)	F_y (Mpa)	f'_c (Mpa)	A'_s (mm ²)	A_s (mm ²)	nf	tf (mm)	bf (mm)	d' (mm)	d (mm)	h (mm)	b (mm)	نمونه ها
---	---	415	55/2	142	400	---	---	---	38	216	254	152	شاهد
0/75	28333	415	55/2	142	400	۱	0/13	152	38	216	254	152	C-1
0/75	93571	415	55/2	142	400	1	1/9	152	38	216	254	152	C-2
0/75	200000	415	55/2	142	400	2	1/3	152	38	216	254	152	C-3

جهت نمایش سازوکار گسیختگی نهایی تمامی مقاطع از علائم اختصاری ذکر شده در زیر استفاده شده است :

C : خردشدگی بتن فشاری
Y : تسلیم میلگردهای کششی
R : FRP گسیختگی
D : جداشدگی FRP
M : تسلیم میلگردهای فشاری
N : بدون تسلیم میلگردهای فشاری

نمونه های موردی اول

جدول ۹: نتایج مقاومت نهایی و حالت گسیختگی حاکم بر نمونه های مطالعه اول

مقاومت خمشی نهایی مقطع (KN.m)				حالت گسیختگی				نمونه ها
Exp	345 - Ebi	345 + Ebi	استاندارد ISIS	Exp	345 - Ebi	345 + Ebi	استاندارد ISIS	
74/55	41/78	41/78	41/45	C	Y+N+C	Y+N+C	C+Y	F0
79/45	54/51	54/51	54/9	D	Y+N+C	Y+N+C	C+Y	F1
85/4	65/52	65/52	66/69	D	Y+N+C	Y+N+C	C+Y	F2
94/5	71/74	71/73	72/9	D	Y+N+C	Y+N+C	C+Y	F3
88/9	59/09	59/08	60/91	R	Y+N+C	Y+N+C	C+Y	F4
97/3	69/69	69/68	72/45	D	Y+N+C	Y+N+C	C+Y	F5
108/85	77/30	77/29	80/47	D	Y+N+C	Y+N+C	C+Y	F6

جدول ۱۰: ضرایب ایمنی و انحراف معیار آنها نسبت به نتایج آزمایشگاهی

	345 - Ebi	345 + Ebi	استاندارد ISIS	نمونه ها
ضریب ایمنی	1/784	1/784	1/7985	تیر شاهد F0
درصد تطابق مود حاکم گسیختگی	100	100	100	
ضریب ایمنی	1/359	1/359	1/3413	تیرهای تقویت شده با FRP سری اول
انحراف معیار ضرایب ایمنی	0/0695	0/0695	0/0751	
ضریب ایمنی	1/436	1/436	1/3851	تیرهای تقویت شده با FRP سری دوم
انحراف معیار ضرایب ایمنی	0/0483	0/0483	0/0528	
ضریب ایمنی	1/453	1/453	1/4250	کل نمونه ها
انحراف معیار ضرایب ایمنی	0/150	0/150	0/1642	

نمونه های موردی دوم

جدول ۱۱: نتایج مقاومت نهایی و حالت گسیختگی حاکم بر نمونه های مطالعه دوم

مقاومت خمشی نهایی مقطع (KN.m)				حالت گسیختگی				نمونه ها
Exp	345 - Ebi	345 + Ebi	استاندارد ISIS	Exp	345 - Ebi	345 + Ebi	استاندارد ISIS	
23/1	18/35	18/35	18/28	C+Y	Y+N+C	Y+N+C	C+Y	R2C
31/5	21/96	21/96	20/81	D	Y+N+C	Y+N+C	R+Y	R2O
34/8	26/54	26/54	26/4	C+Y	Y+M+C	Y+M+C	C+Y	R3C
46	28/49	28/49	28/6	D	Y+M+C	Y+M+C	C+Y	R3O

جدول ۱۲: ضرایب ایمنی و انحراف معیار آنها نسبت به نتایج آزمایشگاهی

نمونه ها	استاندارد ISIS	345 + Ebi	345 - Ebi
تیر شاهد سری اول	1/2637	1/258	1/258
	100	100	100
تیر شاهد سری دوم	1/3182	1/311	1/311
	100	100	100
تیرهای تقویت شده با FRP	1/561	1/524	1/524
	0/0473	0/09	0/09
کل نمونه ها	1/4260	1/4175	1/4175
	0/1405	0/136	0/136

نمونه های موردی سوم

جدول ۱۳: نتایج مقاومت نهایی و حالت گسیختگی حاکم بر نمونه های مطالعه سوم

نمونه ها	حالت گسیختگی				مقاومت خمشی نهایی مقطع (KN.m)			
	استاندارد ISIS	345 + Ebi	345 - Ebi	Exp	استاندارد ISIS	345 + Ebi	345 - Ebi	Exp
شاهد	C+Y	C+Y	C+Y	C+Y	44/34	44/51	44/51	64/32
A1	R+Y	R+Y+N	R+Y+N	D	59	57/29	57/29	67/04
A2	R+Y	R+Y+N	R+Y+N	D	59/21	57/50	57/50	68/69
B1	R+Y	R+Y+N	R+Y+N	D	64/56	64/18	64/18	70/61
B2	R+Y	R+Y+N	R+Y+N	R	57/93	57/73	57/73	75/56
B3	R+Y	R+Y+N	R+Y+N	R	57/46	57/58	57/58	70/61

جدول ۱۴: ضرایب ایمنی و انحراف معیار آنها نسبت به نتایج آزمایشگاهی

نمونه ها	استاندارد ISIS	345 + Ebi	345 - Ebi
تیر شاهد سری اول	1/4506	1/445	1/445
	100	100	100
تیرهای تقویت شده با FRP	1/1847	1/20	1/20
	0/0741	0/0682	0/0682
کل نمونه ها	1/2290	1/24	1/24
	0/1200	0/110	0/110

نمونه های موردی چهارم

جدول ۱۵: نتایج مقاومت نهایی و حالت گسیختگی حاکم بر نمونه های مطالعه چهارم

مقاومت خمشی نهایی مقطع (KN.m)			حالت گسیختگی			نمونه ها
Exp	345 - ϵ_{bi}	استاندارد ISIS	Exp	345 - ϵ_{bi}	استاندارد ISIS	
22/71	11/03	10/92	C	C+Y	C+Y	A1
28/69	13/33	13/4	D	Y+N+C	C+Y	A2
32/47 5	14/88	14/98	D	Y+N+C	C+Y	A3
151/5 7	87/84	86/97	C	C+Y	C+Y	B1
196/4 2	106/47	106/8	D	Y+N+C	C+Y	B2
217/1 2	119/07	119/9	D	Y+N+C	C+Y	B3
623/4 6	365/65	362	C	C+Y	C+Y	C1
793/3 2	441/74	443/1	D	Y+N+C	C+Y	C2

جدول ۱۶: ضرایب ایمنی و انحراف معیار آنها نسبت به نتایج آزمایشگاهی

	345 - ϵ_{bi}	استاندارد ISIS	نمونه ها
ضریب ایمنی	2/058	2/0788	تیر شاهد A1
ضریب ایمنی	1/725	1/7428	تیر شاهد B1
ضریب ایمنی	1/705	1/7223	تیر شاهد C1
ضریب ایمنی	2/167	2/1545	تیرهای تقویت شده سری A
انحراف معیار ضرایب ایمنی	0/0151	0/0134	
ضریب ایمنی	1/834	1/8253	تیرهای تقویت شده سری B
انحراف معیار ضرایب ایمنی	0/0107	0/0139	
ضریب ایمنی	1/795	1/7902	تیرهای تقویت شده سری C
ضریب ایمنی	1/9110	1/9117	کل نمونه ها
انحراف معیار ضرایب ایمنی	0/1788	0/1734	

نمونه های موردی پنجم

جدول ۱۷: نتایج مقاومت نهایی و حالت گسیختگی حاکم بر نمونه های مطالعه پنجم

مقاومت خمشی نهایی مقطع (KN.m)				حالت گسیختگی				نمونه ها
EXP	345 - ϵ_{bi}	345 + ϵ_{bi}	استاندارد ISIS	EXP	345 - ϵ_{bi}	345 + ϵ_{bi}	استاندارد ISIS	
11/58	7/44	7/44	7/4	C+Y	C+Y+N	C+Y+N	C+Y	A-C
15/7	11/45	11/45	12/3	D	C+Y+N	C+Y+N	C+Y	A-S1
16/3	11/33	11/33	12/15	D	C+Y+N	C+Y+N	C+Y	A-SF
12/02	7/42	7/42	7/37	C+Y	C+Y+N	C+Y+N	C+Y	B-C
14/05	12/82	12/82	13/9	D	C+Y+N	C+Y+N	C+Y	B-S1
15/21	12/51	12/51	13/51	D	C+Y+N	C+Y+N	C+Y	B-SF

جدول ۱۸: ضرایب ایمنی و انحراف معیار آنها نسبت به نتایج آزمایشگاهی

نمونه ها	استاندارد ISIS	345 + Ebi	345 - Ebi
تیر شاهد A-C	1/5649	1/556	1/556
	100	درصد تطابق مود حاکم گسیختگی	100
تیر شاهد B-C	1/6309	1/619	1/619
	100	درصد تطابق مود حاکم گسیختگی	100
تیرهای تقویت شده با FRP سری A	1/3090	1/4049	1/4049
	0/0326	0/0335	انحراف معیار ضرایب ایمنی
تیرهای تقویت شده با FRP سری B	1/0683	1/1558	1/1558
	0/0575	0/06	انحراف معیار ضرایب ایمنی
کل نمونه ها	1/3251	1/3830	1/3830
	0/2207	0/182	انحراف معیار ضرایب ایمنی

نمونه های موردی ششم

جدول ۱۹: نتایج مقاومت نهایی و حالت گسیختگی حاکم بر نمونه های مطالعه ششم

نمونه ها	حالت گسیختگی				مقاومت خمشی نهایی مقطع (KN.m)			
	استاندارد ISIS	345 + Ebi	345 - Ebi	EXP	استاندارد ISIS	345 + Ebi	345 - Ebi	EXP
شاهد	C+Y	C+Y	C+Y	C+Y	27/88	28/06	28/06	28/06
C-1	R+Y	R+Y+N	R+Y+N	R+Y	29	29/38	29/38	29/38
C-2	C+Y	C+Y+N	C+Y+N	برشی	60/3	57/32	57/31	57/32
C-3	C+Y	C+Y+M	C+Y+M	D+Y	79/7	75/46	75/44	75/46

جدول ۲۰: ضرایب ایمنی و انحراف معیار آنها نسبت به نتایج آزمایشگاهی

نمونه ها	استاندارد ISIS	345 + Ebi	345 - Ebi
تیر شاهد	1/4401	1/4308	1/4308
	100	درصد تطابق مود حاکم گسیختگی	100
تیرهای تقویت شده با FRP	1/0346	1/0576	1/0575
	0/3229	0/2954	انحراف معیار ضرایب ایمنی
کل نمونه ها	1/1360	1/1509	1/1508
	0/3302	0/3025	انحراف معیار ضرایب ایمنی

۸. نتیجه گیری و بحث :

بر اساس تحقیقات آزمایشگاهی و عددی صورت گرفته و با در نظر گرفتن این مطلب که این نتایج منحصراً مربوط به نمونه های خاص به کار رفته در این مطالعه بوده و در بسیاری موارد جهت اظهار نظر قطعی نیاز به آزمایشات و برنامه گسترده تری وجود دارد، موارد زیر قابل استنتاج و نتیجه گیری است :

منصفانه است که بگوئیم فاصله بین حالت ایده آل و نتایج عملی، در اغلب موارد زیاد می باشد و در طرح تقویت خمشی مقاطع بتن آرمه با کامپوزیتهای FRP بر اساس دستورالعملهای طراحی نظیر نشریه ۳۴۵، همچنین دستورالعمل ISIS کانادا، عموماً ظرفیت نهایی مقاطع تقویت شده با کامپوزتهای FRP، تفاوت قابل توجهی نسبت به نتایج عملی و آزمایشگاهی خواهند داشت، به طوری که این دستورالعملها در اغلب موارد نتایج محافظه کارانه ای را ارائه می دهند.

نظر به اینکه نشریه ۳۴۵ و همچنین استاندارد ISIS، پدیده جداشدگی زود هنگام ورقهای FRP از بستر بتنی را در طراحی در نظر نمی گیرند، ممکن است در پاره ای از موارد در عمل، سازوکار گسیختگی نهایی مقاطع بتنی تحت خمش، با نتایج این دستورالعملها مطابقت نداشته باشد.

در خصوص حساسیت نتایج به تغییر پارامترهای مختلف می توان عنوان نمود که با کاهش سختی کامپوزیت FRP در مقاوم سازی خمشی، اثر جداشدگی در نتایج عملی کاسته می شود و معمولاً ضریب ایمنی نتایج نشریه ۳۴۵ و ISIS نسبت به نتایج عملی بیشتر خواهد شد. همچنین با افزایش تعداد لایه های تقویت خمشی FRP، نتایج نشریه ۳۴۵، همانند نتایج عملی تاثیرپذیری زیادی از خود نشان داده و افزایش می یابد. در این مورد، این اثر با افزایش سختی FRP، بیشتر می شود، با این تفاوت که در نشریه ۳۴۵، محدودیتی در خصوص حداکثر مقادیر و کنترل تنش در لایه های FRP ذکر نشده است.

نکته قابل توجه آنکه در تقویت خمشی تیرها، تاثیر پذیری نتایج نشریه ۳۴۵ و استاندارد ISIS، نسبت به تغییرات ابعادی کل اجزاء نمونه، بیشتر از نتایج عملی می باشد، به طوری که با افزایش اندازه مقطع تیر، در هر دو دستورالعمل و نتایج عملی ثابت می ماند. همچنین با افزایش اندازه نمونه ها، ضریب ایمنی نتایج هر دو نشریه مورد بحث کاسته می شود.

با افزایش مقاومت فشاری بتن، مقدار ظرفیت نهایی مقاطع مقاوم شده در خمش مطابق دستورالعملهای طراحی و نتایج عملی، افزایش یافته و مقدار ضریب ایمنی نتایج دستورالعملها بیشتر می شود که ناشی از این امر است که نتایج عملی تاثیر بیشتری از این لحاظ می بیند و در این شرایط در عمل درصد امکان گسیختگی ناشی از جداشدگی، کاهش می یابد و در صورت عدم لحاظ نمودن کرنش اولیه بتن (به تنهایی ناشی از وزن تیر) در معادلات حل مقاطع تحت خمش در هنگام نصب و اجرای سیستم FRP مطابق دستورالعمل نشریه ۳۴۵، تغییر چندان محسوسی در ظرفیت خمشی و حالت گسیختگی نهایی مقاطع مشاهده نخواهد شد.

در پایان نیز می توان گفت تاثیر تغییرات تنش تسلیم میلگردهای فولادی کششی نسبت به تاثیر تغییرات مقاومت مشخصه بتن فشاری بر مقاومت نهایی مقاطع تقویت شده در خمش، بیشتر است، این تاثیر همچنان در نتایج عملی بیشتر از نشریه ۳۴۵ و ISIS می باشد و در ادامه اینکه با افزایش درصد فولاد فشاری نیز در مقاطع مقاوم شده با FRP در خمش، مقدار مقاومت نهایی افزایش می یابد که کاملاً منطقی است، البته درصد این افزایش اندک است، چراکه می دانیم نقش افزایش شکل پذیری فولاد فشاری بیشتر از تاثیر آن در افزایش مقاومت مقطع است.

۹. مراجع

- [1] دریا بیگی، س. و رضایی فر، ا.، ۱۳۹۱، آئین نامه های طراحی استفاده از مصالح FRP جهت مقاوم سازی سازه های بتنی، تهران : انتشارات علم و ادب ، چاپ اول ، ص ۴۹۴-۳۷۷.
- [2] راهنمای طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمانهای بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP (۱۳۸۵) ، نشریه شماره ، ۳۴۵ ، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور.
- [3] طرح و اجرای ساختمانهای بتن آرمه (مبحث نهم) (۱۳۹۲) ، ویرایش چهارم، چاپ سوم ، دفتر مقررات ملی ساختمان.
- [4] ISIS Canada. Strengthening reinforced concrete structures with externally-bonded fibre reinforced polymers. Manitoba, Canada: University of Manitoba; 2001.
- [5] Takahashi Y. and Sato Y. (2003) , “Flexural Behavior of RC Beams Externally Reinforced with Carbon Fiber Sheets” , proceeding , 6th International Symposium on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement of Concrete Structures (FRPRCS-6) , pp. 237-246.
- [6] Shin Y.S. and Lee C. (2003) , “Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Carbon Fiber-Reinforced Polymer Laminates at Different Levels of Sustaining Load” , ACI Structural Journal , V. 100 , No 2 , March – April 2003 , pp. 231-239.
- [7] Brena S.F. , Bramblett R.M. , Wood S.L. and Kreger M.E. (2003) , “Increasing Flexural Capacity of Reinforced Concrete Beams Using Carbon Fiber-Reinforced Polymer Composites” , ACI Structural Journal , V. 100 , No 1 , January – February 2003 , pp. 34-46.
- [8] Leong K.S. and Maalej M. (2003) , “Effect of Beam Size on Interfacial Shear Stresses and Failure Mode of FRP-Bonded Beams” , proceedings , 6th International Symposium on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement of Concrete Structures (FRPRCS-6) , pp. 257-266.
- [9] Valcuende M. , Benlloch J. and Parra C.J. (2003) , “Ductility of Reinforced Concrete Beams Strengthened with CFRP Strips and Fabric” , proceedings , 6th International Symposium on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement of Concrete Structures (FRPRCS-6) , pp. 337-346.
- [10] Grace N.F. , Abdel-Sayed G. and Ragheb W.F. (2002) , “Strengthening of Concrete Beams Using Innovative Ductile Fiber-Reinforced Polymer Fabric” , ACI Structural Journal , V. 99 , No. 5 , September-October 2002 , pp. 692-700.



نهمین کنفرانس ملی بتن ایران
۱۵ و ۱۶ مهرماه ۱۳۹۶
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



9th National Conference on Concrete –Tehran
7-8 Oct-2017
Road, Housing & Urban Development Research Center

Comparative evaluation of RC beams strengthened in bending with FRP by EBR method according to the Iranian management issue (No. 345) and ISIS Canada

Code (B)

Navid Khedernejad¹ , Salar Manie²

1. M.Sc. in Structural engineering - Construction Engineering Organization of Kurdistan
2. Doctor of philosophy in Civil engineering- Construction Engineering Organization of Kurdistan

Email : navidinter@gmail.com

Abstract

In this study, to compare and investigate the behavior of RC beams strengthened in bending by FRP composite with (EBR) method , based on Iran's management issue No. 345 and the ISIS standard of Canada, as well as the amount of correspondence with the results extracted from 6 different studies an experimental study carried out by the researchers in the past examined the performance of these elements. In order to have a quick and accurately verify numerical results of this study, by the production of a computer program through coding known as the FRP-345 PRO software , the effect of several parameters changes including: the number of layers, width, thickness and hardness of the composites, as well as the specific strength of the concrete substrate , Cross-sectional area, yielding stress and percentage of bending rebars with the consideration and non-consideration of the initial strain of the concrete (due to the beam weight alone) in the equations of bending sections according to No. 345 issue during the installation and implementation of the FRP system and the percentage of compliance with the output the ISIS publication, and at last the practical results, capacity and the state of failure of the concrete sections mentioned were evaluated. The numerical and statistical results of evaluations showed that the No.345 issue and the ISIS standard have a very good agreement on the numerical results, and with the exception of the few parts mentioned in this research, they use a relatively similar process in the design, and what was the result of the case studies in this study, it has been concluded that these publications generally indicate the ultimate capacity of bending sections with a high safety factors relative to the practical results and further, since 345 issue as well as the ISIS standard does not consider the debonding of FRP sheets from a concrete substrate in design, in some cases in practice, the mechanism of ultimate failure of RC beams in bending may not match the results of these guidelines.

Keywords : No. 345 Issue, ISIS standard, Bending Strengthening, Initial strain of concrete, RC beams