



بررسی خیز تیرهای بتن آرمه‌ی تقویت شده با ورق‌های FRP

محمد رضا توکلی زاده^۱، سید روح... موسوی^۲، زهرا حبیبی خراسانی^۳

۱- دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشگاه سیستان و بلوچستان

۳- دانشگاه فردوسی مشهد

s.r.mousavi@eng.usb.ac.ir

خلاصه

امروزه استفاده از پلیمرهای تقویت شده با الیاف (FRP) به عنوان تقویت خارجی در اعضای بتن آرمه، با توجه به مزایای آن از جمله وزن کم، مصالح، مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت کششی زیاد، دوام و سهولت اجرایی، قابلیت اجرا برای شرایطی با محدودیت زمانی و ابعاد هندسی مقاطع و... رواج یافته است. به همین دلیل وجود رابطه‌ای برای تعیین خیز تیرهای تقویت شده با ورق‌های FRP ضروری می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از نتایج کارهای آزمایشگاهی سایر پژوهش‌گران صحت رابطه‌ی برانسون برای لنگر لختی مؤثر این تیرها بررسی می‌گردد. به این منظور بر روی بیش از ۵۰۰ داده‌ی آزمایشگاهی مطالعه‌ی آماری انجام می‌پذیرد و تأثیر پارامترهای مختلف از جمله سطح بارگذاری، نسبت آرماتور، سطح مقطع FRP، ضخامت ورق و... بر روی دقت خیز بدست آمده از لنگر لختی مؤثر رابطه‌ی برانسون بررسی می‌شود تا بتوان به نحو مؤثرتری از این رابطه برای محاسبه‌ی خیز تیرهای بتن آرمه‌ی تقویت شده با ورق FRP استفاده کرد.

کلمات کلیدی: خیز، تیرهای بتنی، لنگر لختی مؤثر، ورق FRP

۱. مقدمه

پلیمرهای مسلح شده با الیاف (FRP) نوعی ماده‌ی کامپوزیت متشکل از دو بخش فیبر یا الیاف تقویتی است که به وسیله‌ی یک ماتریس رزین از جنس پلیمر احاطه شده است. الیاف که اصولاً الاستیک، ترد و بسیار مقاوم هستند، جزء اصلی باربر در ماده‌ی FRP محسوب می‌شوند و ماتریس بیشتر نقش محافظتی از الیاف را بر عهده دارد. FRP در مقایسه با فولاد، دارای مدول الاستیسیته‌ی کمتر بوده که سبب افزایش کرنش در تقویت‌ها و در نتیجه افزایش عرض ترک و زیاد شدن خیز می‌شود. بنابراین مطالعه بر روی خیز قطعات مسلح با FRP امری ضروری می‌باشد.

در مورد خیز تیرهای بتنی مسلح با میلگردهای FRP تحقیقات زیادی تاکنون انجام شده است. برخی از محققان در پی یافتن لنگر لختی مؤثر مقطع برای محاسبه‌ی خیز می‌باشند. رابطه‌ی برانسون که برای تیرهای بتن مسلح با میلگرد فولادی ارائه شده بود، به دلیل کم بودن سخت‌شوندگی کششی، در تیرهای بتنی مسلح شده با میلگرد FRP نتایج خوبی بدست نمی‌دهد و خیز را کمتر از واقعیت تخمین می‌زند. از این رو بسیاری از محققان در پی اصلاح رابطه‌ی برانسون برآمدند. برای مثال بنموکرین [1]، السونا [2]، توتنجی [3] و رافی [4] با افزودن ضرایب و یا تغییر و اضافه کردن پارامترهایی سعی در اصلاح رابطه‌ی برانسون نمودند. کمیته‌ی ۴۴۰ انجمن بتن آمریکا (ACI 440) [5] در سال ۲۰۰۱ نیز با بهره‌گیری از رابطه‌ی برانسون و افزودن ضریب β_d به آن (که وابسته به ضریب کشسانی فولاد و FRP و نیز چسبندگی بین بتن و FRP بود) در پی اصلاح رابطه‌ی I_e برآمد. به دلیل خطای این رابطه در سال ۲۰۰۶ این آیین‌نامه [6] پارامتر β_d را تغییر داده و آن را وابسته به نسبت آرماتور موجود نمود. ولی بازم این رابطه نیاز به اصلاح دارد.

^۱ استادیار

^۲ استادیار

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد عمران گرایش سازه

محققان دیگری نظر السید [۷] و بیشف [۸] با انجام تحقیقات فراوان روابط دیگری را برای محاسبه‌ی لنگر لختی مؤثر ارائه کردند. راهنمای طراحی ISIS در کانادا [۹] هم رابطه‌ی خوبی برای I_e بیان داشته که شبیه رابطه‌ی برانسون نمی‌باشد و محققانی نظیر هال و قالی [۱۰] روابطی شبیه به آن ارائه نمودند.

موسوی و اصفهانی [۱۱] نیز با استفاده از ۳۸۴ داده آزمایشگاهی و در نظر گرفتن ضریب کشسانی مسلح کننده‌ها، نسبت آرماتور و سطح بارگذاری با استفاده از بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک رابطه‌ی برانسون را اصلاح کرد. رابطه‌ی او تنها رابطه‌ی است که می‌تواند I_e کمتر از I_{CP} را هم پیش‌بینی کند. برخی دیگر از محققان نیز برای محاسبه‌ی خیز از روش‌های انتگرال‌گیری از نمودار لنگر-انحنای بهره‌جسته‌اند که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان از رزاقپور [۱۲] و رشید [۱۳] نام برد.

استفاده از ورق‌های FRP به جای فولاد برای مقاوم‌سازی در سوئیس آغاز شد. تحقیقات آزمایشگاهی و عددی از سال ۱۹۸۰ در دانشگاه آریزونا و لی‌های انجام شد [۱۴] و [۱۵]. در مورد خیز تیرهای بتن آرمه‌ی تقویت شده با ورق FRP تعداد مطالعات بسیار محدود می‌باشد. هنوز رابطه‌ی برای ممان اینرسی مؤثر این تیرها بیان نشده است. بیشتر محققان و آیین‌نامه‌ها از روش انتگرال‌گیری از نمودار لنگر-انحنای روش‌های عددی برای به دست آوردن خیز این تیرها استفاده کرده‌اند.

المسلم و السید [۱۶] در پایه‌ی تعادل نیروها و سازگاری تغییر شکل‌ها در لایه‌ی چسب یک مدل تحلیلی برای محاسبه‌ی خیز تیرهای تقویت شده با ورق FRP ارائه نمودند. در این مدل با در نظر گرفتن یک سری فرضیات، مقادیر مورد نیاز بار، لنگر، خیز و کرنش هر بخش برای هر نمو بار به صورت عددی محاسبه و در انتهای آنالیز رسم می‌شود و منحنی بار-تغییر مکان بدست می‌آید. در واقع این محققان از روش‌های لنگر-انحنای بهره‌جسته‌اند. این روش، روشی دقیق و مطابق با دستورالعمل آیین‌نامه‌های مختلف از جمله ACI [۱۷]، ایتالیا [۱۸] و آیین‌نامه‌ی اروپا [۱۹] می‌باشد ولی از معایب آن طولانی و وقت‌گیر بودن این روش است. المسلمو السلوم [۲۰] آزمایش‌هایی را برای بررسی رفتار تیرهای بتن مسلح تقویت شده با ورق‌های GFRP انجام دادند و ظرفیت خمشی، خیز مرکز تیر، شکل‌پذیری سازه‌ای و مد شکست آن‌ها را ارزیابی کردند. آن‌ها ظرفیت باربری و خیز پیش‌بینی شده توسط آنالیز عددی را با مقادیر تجربی مقایسه کرده و صحت مدل تحلیلی را بررسی نمودند.

وین [۲۱] هم بر روی تیرهای بتن مسلح تقویت شده با ورق CFRP به دو صورت پیش‌تنیده و غیرپیش‌تنیده بررسی‌هایی انجام داد و به این نتیجه رسید که استفاده از ورق‌های پیش‌تنیده‌ی FRP به طور بسیار مؤثر خیز سازه‌های بتنی تقویت شده را بهبود می‌بخشد؛ به این ترتیب که عرض ترک‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و لحظه‌ی ترک‌خوردگی به تأخیر می‌افتد و به این دلیل خیز و انحنای شکست کاهش می‌یابد. ورق‌های FRP پیش‌تنیده، کرنش در فولادهای تقویتی را کاهش داده و جاری شدن آن‌ها را به تأخیر می‌اندازد. این محقق علاوه بر کارهای آزمایشگاهی، توسط آنالیز اجزای محدود هم تأثیر استفاده از ورق‌های FRP به صورت معمولی و پیش‌تنیده را بررسی نمود. مقادیر خیز بدست آمده از تحلیل اجزای محدود همخوانی خوبی با نتایج آزمایشگاهی داشت؛ فقط مدل اجزای محدود کمی سختی را بیشتر از واقع و در نتیجه خیز را کمتر تخمین می‌زد که می‌توان دلیل آن را لغزش بین بتن و آرماتورها و ترک‌های بسیار ریز موجود در تیرهای واقعی دانست.

تومیلان و همکاران [۲۲] بر روی ۱۶ تیر بتن مسلح تقویت شده با ورق CFRP کار آزمایشگاهی انجام دادند و حالت شکست آن‌ها را بررسی نمودند. طبق نتایج آزمایشگاهی آن‌ها چسباندن ورق FRP مقاومت خمشی را بین ۳۰ تا ۶۰ درصد افزایش می‌دهد. همچنین آن‌ها اثر متغیرهایی مثل طول دهانه‌ی تیر، عرض ورق FRP، تعداد لایه‌ها (ضخامت ورق) و نیز U شکل بودن و نبودن ورق را مورد مطالعه قرار دادند. براساس نمودارهای بار-خیز تهیه شده توسط این محققان، افزایش ضخامت ورق FRP بطور قابل ملاحظه‌ای خیز را کاهش می‌دهد. همچنین مشاهده می‌شود که افزایش عرض ورق تقویتی باعث کاهش خیز می‌گردد و استفاده از ورق به صورت U شکل نیز کمی در کاهش خیز مؤثر است. در این مقاله تلاش می‌شود تا عوامل مؤثر بر روی خیز تیرهای بتن آرمه‌ی تقویت شده با ورق FRP شناخته شود و مدل تحلیلی برای پیش‌بینی خیز با مقادیر آزمایشگاهی مقایسه می‌گردد.

۲. مدل تحلیلی برای محاسبه‌ی خیز

با استفاده از روش‌های تحلیل سازه، خیز تیرها به صورت تابعی از طول دهانه، نوع بارگذاری، شرایط مرزی، مدول الاستیسیته و ممان اینرسی قابل محاسبه می‌باشد. برای مثال خیز وسط دهانه‌ی تیرهای تحت اثر خمش چهار نقطه‌ای از رابطه‌ی زیر حساب می‌شود:

$$\delta_{\max} = \frac{P.L_a}{48E I} (3L^2 - 4L_a^2) \quad (1)$$

در این رابطه، L طول کل دهانه تیر، L_a طول دهانه‌ی برشی (فاصله‌ی هر یک از بارهای نقطه‌ای از تکیه‌گاه)، P مجموع دو بار نقطه‌ای متمرکز و E مدول الاستیسیته‌ی تیر است که مطابق آیین‌نامه برای تیرهای بتن آرمه در روابط محاسبه‌ی تغییر مکان برابر مدول الاستیسیته‌ی بتن در سن ۲۸ روز فرض می‌شود. پارامتر I ممان اینرسی مقطع است که برای تیرهای بتن آرمه‌ی معمولی برابر I_e یعنی ممان اینرسی مؤثر مقطع پس از ترک خوردگی قرار داده می‌شود. ممان اینرسی مؤثر مقطع برای محاسبه‌ی خیز تیرهای بتن آرمه در آیین‌نامه‌ی بتن آمریکا ACI 318-11 [۲۳] از رابطه‌ی برانسون به صورت زیر حساب می‌شود:

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g \quad (2)$$

در این رابطه، M_{cr} لنگر حد ترک خوردگی، M_a لنگر اعمالی، I_g و I_{cr} نیز به ترتیب ممان اینرسی مقطع بدون ترک و مقطع تبدیل یافته‌ی کاملاً ترک خورده می‌باشند. اینک باید بررسی شود که آیا رابطه‌ی برانسون برای تخمین ممان اینرسی مؤثر مقطع تیرهای بتن آرمه‌ی تقویت شده با ورق FRP رابطه‌ی خوبی است یا خیر؟

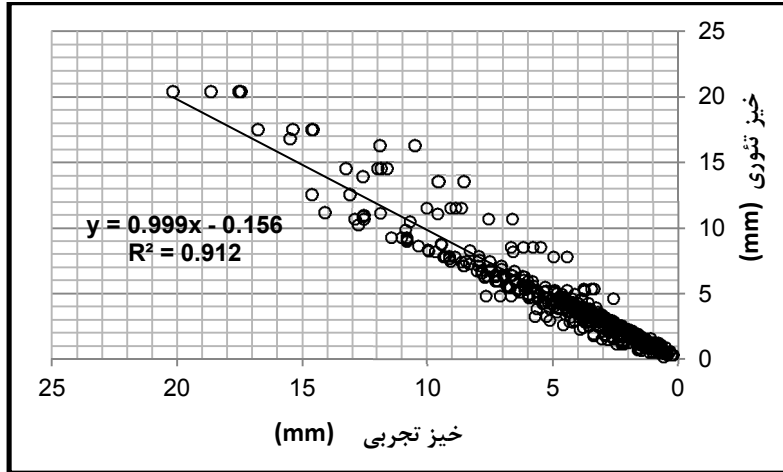
۳. جمع آوری داده‌ها

در این پژوهش از ۵۱۳ داده‌ی آزمایشگاهی که از کار سایر پژوهشگران برداشت شده استفاده شده است. این داده‌ها تعدادی از نقاط واقع بر منحنی بار - تغییر مکان ۵۷ نمونه‌ی تیری بتن آرمه‌ی تقویت شده با ورق FRP می‌باشند. در ۵۱۳ داده‌ی آزمایشگاهی استفاده شده، ۱۱ داده از دو نمونه‌ی المسلم [۲۰]، ۵۹ داده از ۸ نمونه‌ی رحیمی [۲۴]، ۹ داده از ۱ نمونه‌ی دانگ [۲۵]، ۶۸ داده از ۷ نمونه‌ی احمد [۲۶]، ۱۸۰ داده از ۱۴ نمونه‌ی قام [۲۷]، ۹۱ داده از ۷ نمونه‌ی گائو [۲۸]، ۱۸ داده از ۳ نمونه‌ی اصفهانی [۲۹]، ۱۶ داده از ۴ نمونه‌ی دماکوس [۳۰]، ۲۷ داده از ۶ نمونه‌ی سرونی [۳۱] و ۳۴ داده از ۵ نمونه‌ی الگوساندارامورتی [۳۲] استخراج شده‌اند. این داده‌ها دامنه‌ی گسترده‌ای از انواع نمونه‌ها را از لحاظ تغییرات مدول الاستیسیته، مقاومت بتن، نسبت آرماتور، ابعاد مقطع، طول دهانه، فاصله ورق تقویتی از تکیه‌گاه و طول ناحیه‌ی برشی در بر می‌گیرند. اکثر روابط خیز برای سطح بار سرویس تعریف شده‌اند، چون اصولاً کنترل خیز تیرها در محدوده‌ی بارهای بهره‌بردار می‌شوند. لذا نمی‌توان روابط محاسبه‌ی خیز را برای هر سطحی از بار به کار گرفت. در این کار پژوهشی سطح بار سرویس ۶۰٪ بار نهایی آزمایشگاهی در نظر گرفته شده است و تمامی این ۵۱۳ داده از محدوده‌ی سطح بار سرویس نمونه‌ها برداشت شده‌اند. برای تمامی داده‌ها M_{cr} ، I_g ، I_{cr} و I_e از رابطه‌ی برانسون محاسبه شده‌اند. همچنین خیز تئوری بدست آمده با استفاده از ممان اینرسی‌های مختلف محاسبه شده و با خیز تجربی مقایسه می‌گردند.

۴. مقایسه و تحلیل نتایج

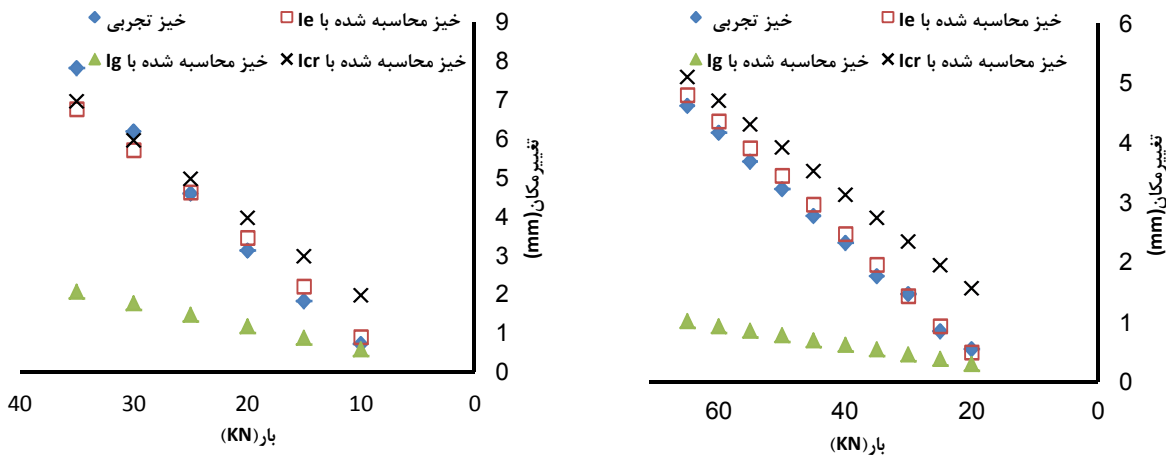
- با مقایسه‌ی نتایج بدست آمده از تیرهای بتن آرمه‌ی تقویت شده با ورق FRP مشاهده می‌شود که در نمونه‌های با شرایط یکسان و در سطح بارگذاری یکسان، افزایش ضخامت ورق FRP، تأثیر مستقیم بر روی کاهش خیز تیر دارد.
- معمولاً برای تقویت تیرها ورق FRP را تا روی تکیه‌گاه ادامه نمی‌دهند و قبل از تکیه‌گاه آنرا قطع می‌کنند. با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده و بررسی بر روی آن‌ها این نتیجه بدست می‌آید که در شرایط یکسان با افزایش فاصله‌ی انتهای ورق تقویتی از تکیه‌گاه، خیز تقریباً به صورت خطی افزایش می‌یابد.
- با افزایش مدول الاستیسیته‌ی ورق FRP خیز تیرهای تقویت شده با آن کاهش می‌یابد.
- افزایش سطح مقطع ورق FRP باعث کاهش خیز تیر می‌گردد.
- به منظور ارزیابی دقت رابطه‌ی برانسون برای محاسبه‌ی ممان اینرسی مؤثر مقطع در تیرهای تقویت شده با ورق FRP، ابتدا ممان اینرسی مؤثر را از رابطه‌ی برانسون بدست آورده و با استفاده از آن خیز وسط دهانه‌ی تیر را توسط رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود. سپس نمودار این خیز (خیز تئوری) در برابر خیز آزمایشگاهی و بهترین خط عبوری از داده‌ها رسم می‌گردد (شکل ۱). هر چه خط رسم شده به خط

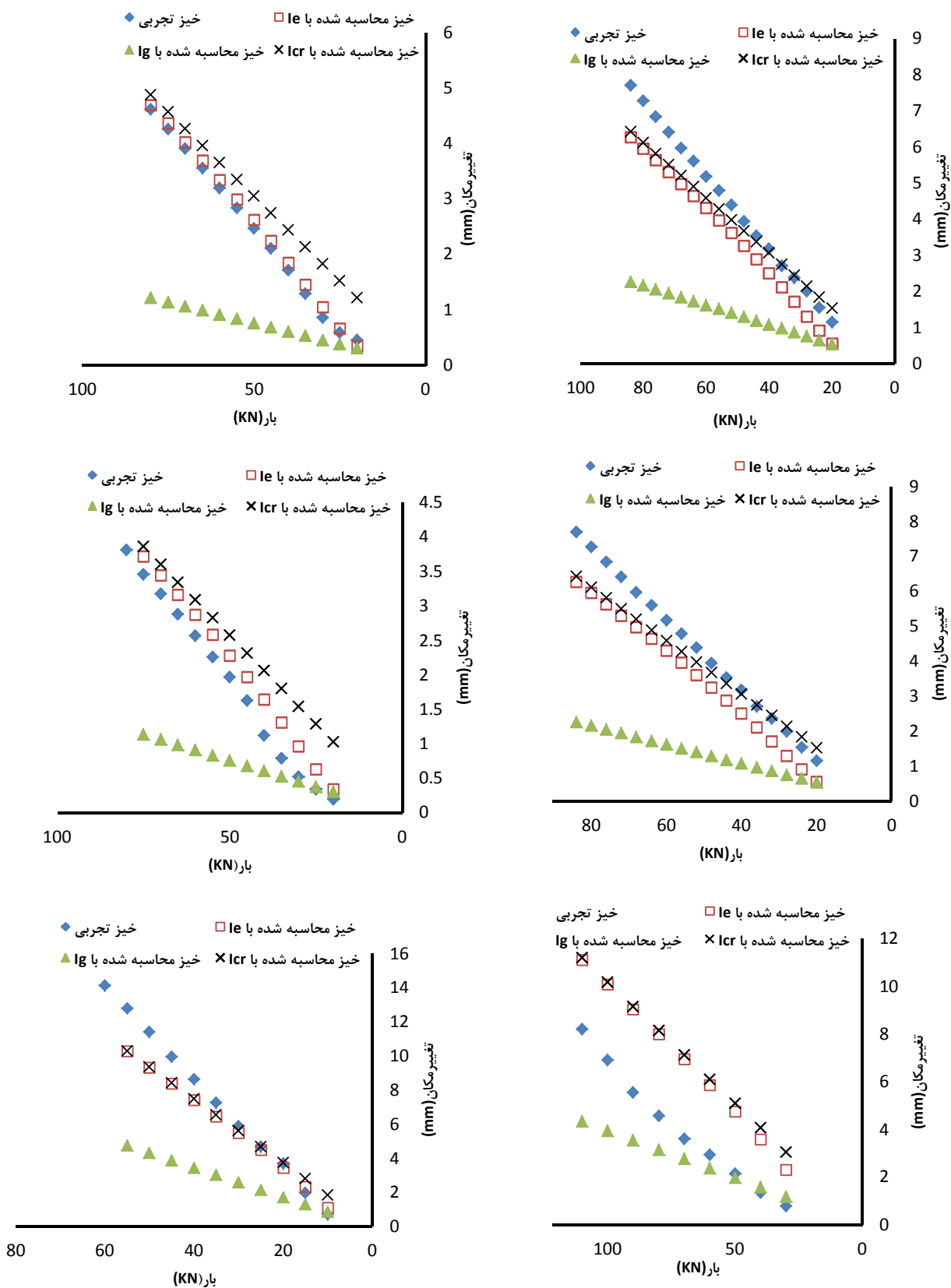
$y=x$ نزدیک تر باشد، نشان دهنده‌ی عملکرد بهتر رابطه‌ی برانسون برای تیرهای تقویت شده با ورق FRP می‌باشد. به این منظور شیب خط رسم شده و همبستگی داده‌ها باید هر چه بیشتر به عدد ۱ نزدیک باشند.



شکل ۱- نمودار خیز تنوری در برابر خیز تجربی

• برای بررسی بیشتر می‌توان نمودار بار-تغییر مکان را برای هر یک از این ۵۷ نمونه رسم نمود و خیز آزمایشگاهی را با خیز تنوری محاسبه شده با I_e ، I_{cr} ، I_g مقایسه کرد. چند نمونه از این نمودارها در زیر نمایش داده شده‌اند (شکل ۲). در مجموع مشاهده می‌شود که خیز محاسبه شده با I_e (ممان اینرسی مؤثر بدست آمده از رابطه‌ی برانسون)، نسبت به خیز محاسبه شده با I_g و I_{cr} تطابق بیشتری با مقادیر آزمایشگاهی دارد.





شکل ۲- نمودار بار در برابر خیز تجربی، خیز محاسبه شده با Ie، خیز محاسبه شده با Ig و خیز محاسبه شده با Icr برای ۸ نمونه از ۵۷ نمونه جمع آوری شده

- برای محاسبه‌ی خطای خیز تئوری از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

(۳) خیز تجربی/(خیز تجربی-خیز تئوری)=خطا

میانگین خطای خیز تئوری محاسبه شده با I_{eT} نسبت به خیز تجربی I_{eE} ، میانگین خطای خیز تئوری محاسبه شده با I_{eT} نسبت به خیز تجربی I_{eE} و میانگین خطای خیز تئوری محاسبه شده با I_{eT} نسبت به خیز تجربی I_{eE} می‌باشد.

- با بررسی داده‌های جمع‌آوری شده مشاهده می‌گردد در نمونه‌هایی که قبل از آزمایش تحت اثر بار قرار گرفته باشند رابطه‌ی برانسون خوب عمل نمی‌کند و وجود ترک‌های ریز و بارگذاری قبلی باعث افزایش خطای خیز محاسبه شده با I_{eT} رابطه‌ی برانسون می‌شود.
- عملکرد رابطه‌ی برانسون برای ورق‌های GFRP بهتر بوده و خطای خیز محاسبه شده در تیرهای تقویت شده با ورق‌های GFRP کمتر از خطای خیز محاسبه شده در تیرهای تقویت شده با ورق‌های CFRP می‌باشد.
- در خیزهای بزرگتر خطای رابطه‌ی برانسون برای محاسبه ممان اینرسی مؤثر تیرهای بتن آرمه‌ی تقویت شده با ورق FRP بیشتر است.

۵. نتیجه‌گیری

برای محاسبه‌ی خیز تیرهای بتن آرمه‌ی تقویت شده با ورق FRP می‌توان از روابط تحلیل سازه استفاده نمود ولی برای تخمین ممان اینرسی مؤثر مقطع در تیرهای تقویت شده با ورق FRP رابطه‌ی خاصی ارائه نشده است. رابطه‌ی مورد استفاده برای محاسبه ممان اینرسی مؤثر مقطع در تیرهای بتن آرمه‌ی تقویت نشده (رابطه‌ی برانسون)، برای تخمین ممان اینرسی مؤثر تیرهای تقویت شده با ورق FRP هم نسبتاً خوب است. اما با توجه به نتایج بدست آمده شاید بتوان با دخالت دادن پارامترهای ضخامت ورق، فاصله‌ی انتهای ورق تقویتی از تکیه‌گاه، سطح بارگذاری و مدول الاستیسیته‌ی FRP رابطه‌ی برای محاسبه‌ی ممان اینرسی مؤثر مقطع این تیرها یافت به گونه‌ای که خیز را دقیق‌تر و با خطای کمتری تخمین بزند.

۶. مراجع

1. Benmokrane, B., Chaallal, O. and Masmoudi, R. (1996), "Flexural Response of Concrete Beams Reinforced with FRP Reinforcing Bar", ACI Structural Journal, Vol. 91, No. 2, pp 46-55.
2. Al-Sunna, R., Pilakoutas, K., Waldron, P. and Al-Hadeed, T. (2005), "Deflection of FRP Reinforced Concrete Beams", Conference Paper In Fourth Middle East Symposium on Structural Composites for Infrastructure Applications (MESC-4), Alexandria.
3. Toutanji, H. and Saffi, M. (2000), "Flexural Behavior of Concrete Beams Reinforced with Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Bars", ACI Structural Journal, Vol. 97, No. 5, pp 712-719.
4. Rafi, M. and Nadjai, A. (2009), "Evaluation of ACI 440 Deflection Model for Fiber-Reinforced Polymer Reinforced Concrete Beams and Suggested Modification", ACI Structural Journal, Vol. 106, No. 6, pp 762-771.
5. American Concrete Institute (ACI) (2001), "Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars", ACI 440.1R-01, ACI Committee 440, Farmington Hills, Michigan.
6. American Concrete Institute (ACI) (2006), "Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars", ACI 440.1R-06, ACI Committee 440, Farmington Hills, Michigan.
7. Alsayed, S.H. and Alhozaimy, A. (1999), "Ductility of Concrete Beams Reinforced with FRP Bars and Steel Fiber", Journal of Composite Materials, Vol. 33, No. 19, pp 1792-1806.
8. Bischoff, P.H. and Gross, S.P. (2011), "Design Approach for Calculating Deflection of FRP Reinforced Concrete", ASCE, Journal of Composites for Construction, Accepted for Publication.
9. Rizkalla, S. and Mufti, A. (2001), "Reinforcing Concrete Structures with Fiber Reinforced Polymers", ISIS Canada: Design Manual No.3, The Canadian Network of Centers of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures, Winnipeg, Manitoba, Canada.
10. Hall, T. and Ghali, A. (2000), "Long-Term Deflection Prediction of Concrete Members Reinforced with Glass Fiber Reinforced Polymer Bars", Can J Civil Eng, Vol. 27, pp 890-898.
11. Mousavi, S. Roohollah. and Esfahani, M. Reza., (2012), "Effective Moment of Inertia prediction of FRP Reinforced Concrete Beams based on Experimental Results", ASCE, Journal of Composites for Construction, Vol. 16, No. 5, pp.490-498.



12. Razaqpur, A.G. and Svecova, D. and Cheung, M.S. (2000), "Rational Method for Calculating Deflection of Fiber Reinforced Polymer Reinforced Beams", *ACI Structural Journal*, Vol. 97, No. 1, pp 175-184.
13. Rasheed, H.A., Nayal, R. and Melhem, H. (2004), "Response Prediction of Concrete Beams Reinforced with FRP Bars", *Composite Structures*, Vol. 65, pp 193-204.
14. Saadatmanesh, H. and Ehsani, MR. (1990), "Flexural Strength of Externally Reinforced Concrete Beams", *Proc. First Materials Engineering Congress, ASCE*, pp 1152-1161.
15. Ritchie, P.A., Thomas, D.A., Lu, L.W. and Conelly, G.M. (1990), "External Reinforcement of Concrete Beams Using Fiber-Reinforced Plastics", *Lehigh University, ATLSS Report No. 90-06*.
16. Almusalam, T.H. and Alsayed, S.H. (1996), "Structural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Bonded Steel or GFRP Plates", *Proceedings of the First International Conference on Composites in Infrastructures, Tucson, Arizona*, pp 786-799.
17. American Concrete Institute (ACI) (2008), "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures", *ACI 440.2R-08, ACI Committee 440, Farmington Hills, MI 48331*.
18. CNR-Advisory Committee on Technical Recommendations for Construction (2004), "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures", *CNR-DT 200/2004*.
19. Fédération internationale du béton (fib-14) (2001), "Externally bonded FRP reinforcement for RC structures", *Task Group 9.3 FRP reinforcement for concrete structures*.
20. Al-Salloum, Y.A. and Almusallam, T.H., "Use of Glass FRP Sheets As External Flexure Reinforcement In RC Beams", <http://faculty.ksu.edu.sa/musallam/Documents/13.pdf>
21. Vinh, A.T. (2009), "Flexural Strengthening of Reinforced Concrete Beams with Prestressed FRP Laminates", *Master Thesis, University of Padova, Italy*.
22. Tumialan, G., Serra, P., Nanni, A. and Belarbi, A. (1999), "Concrete Cover Delamination In RC Beams Strengthened with FRP Sheets", *SP-188, American Concrete Institute, Proc., 4th International Symposium on FRP for Reinforcement of Concrete Structures (FRPRCS4), Baltimore, MD*, pp 725-735.
23. American Concrete Institute (ACI) (2011), "Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary", *ACI 318R-11, ACI Committee 318, Detroit*.
24. Rahimi, H. and Hutchinson, A. (2001), "Concrete beams strengthened with externally bonded FRP plates. *Journal of Composite Construction*", *ASCE*, 5, pp 44-56.
25. Dong, Y., Zhao, M., and Ansari, F. (2002), "Failure characteristics of reinforced concrete beams repaired with CFRP composites", *Proceeding of the third international conference on composites in infrastructure, California, San Francisco, ICCI*, pp 126-40.
26. Ahmed, o., Gemert, D.V., and Vandewall, L. (2001), "Improved model for plate-end shear of CFRP strengthened RC beams", *Journal of Cement & Concrete Composites, ELSEVIER*, 23, pp 3-19.
27. Pham, H., and Al-Mahaidi, R. (2004), "Experimental investigation into flexural retrofitting of reinforced concrete bridge beams using FRP composites", *Journal of Composite Structures, ELSEVIER*, 66, pp 617-625.
28. Gao, B., Kim, J.K., and K.Y. Leung, C. (2006), "Strengthening efficiency of taper ended FRP strips bonded to RC beams", *Journal of Composites Science and Technology, ELSEVIER*, 66, pp 2257-2264.
29. Esfahani, M.R., Kianoush, M.R., and Tajari, A.R. (2007), "Flexural behaviour of reinforced concrete beams strengthened by CFRP sheets", *Journal of Engineering Structures, ELSEVIER*, 29, pp 2428-2444.
30. Demakos, C.B. (2008), "Investigating the influence of FRP sheet anchorage to structural response of reinforced concrete beams", *Sustainable development session. Athens*. http://synenergy.teipir.gr/papers/IV_5.pdf.
31. Ceroni, F., Prota, A., and Pecce, M. (2001), "Experimental behavior of RC beams strengthened by FRP sheets", *International Conference Composites in Construction (CCC2001), Porto (Portugal), 10-12 October 2001. Balkema Publishers, ISBN 90-2651-858-7*, pp 499-504.
32. Almusallam, T.H., Harik, I.E., and Choo, C.C. (2003), "flexural behavior of R/C beams strengthened with CFRP sheets or fabric", *Journal of Composites for Construction, ASCE*, 7(4), pp 292-301.