

گیری م هار داخل بتن را مورب رویی قرار دادن دبرسل استایج، گرد کردن ب مس و راج ه لگ ر قبال م حظه ای برت م رکتنش و در نتیجه م ق لوم بتناصل ال دارد. ه مچنین ب افلازش عمق و زاویه ی مهار و نیز قطر خیره ها ق لوم بتناصل ال فلزايش می یب د [4].

شکل ۱. مه ار های FRP متقیم و خمیده؛ (الف) مه ار متقیم-نم ای چلبی؛ (ب) مه ار متقیم-نم ای چلبی؛ (ج) مه ار خمیده-نم ای چلبی (د) مه ار خمیده-نم ای فوقانی [۲]

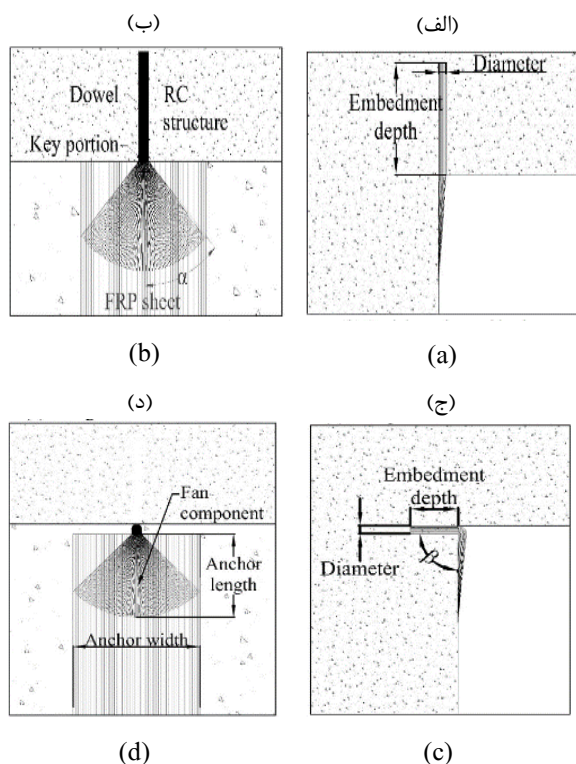


Fig. 1. Straight anchors and bent anchors: (a) Straight FRP anchors-side view; (b) Straight FRP anchors- front view; (c) bent anchors-side view; (d) bent anchors- front view [2]

درس ال ۲۰۱۸ سکتیلو و ه مکاران فیتار لرزه ای شش تون بت ن آرمه ی تقویتش دما ورق ها و مه اره ای FRP رلبروی نمودن. ه دفصل لی آزمایش صجاب ه ی تجبی ظرفیت خمشی ستون ه ای تقویتش دما ورق FRP ه با دو حلات شکرتحت طلی گس یختگی ورق های FRP و یا مه ار FRP بود. اه داف دیگر تحقیق بر روی تأثیر اره ای چرخه ای کشش فش ابر ظرفیت م هار و ارزیابی کفاده از ورق FRP بر فیتارست و ب بودن دبر لیلی ن تایج مشاه دمش دما هار ای چرخه ای تأثیر قبال م حظه ای بر ظرفیت FRP فانی دان. ه مچنین کفاده انتع داد مه اره ای بیشتر

برای اتناصل ورق تقویتی FRP مسطح بتن روش های مختلفی پیش ه ازش ده سلت، که از جمله آن ه روش نصب خارجی (EBR) و روش های شیارزنی (EBROG) سلت تقویت سازه ملیک فاده از ورق های FRP س ازوکاره ای گس یختگی متنوعی را در پی خواه د ه لثت، کم دتاو لترین آن ج داش گی زود ن فگام کلپوزیت FRP پیش از ه تایی بیشترین ظرفیت کششی آن سلت. ج دلش گی زود رس م مکن سل بتناشی از لب ه جایی ریز ترک ها جوت ن باگ ذاری سیکلی، مررض عیغبینتن و ورق FRP شتابه در طراحی و اجر بلش د [1] بنابر این ه مین طور کبه کاپردن ورق های FRP د تقویت سازه ها در ح الگیت رش سلت کفاده از بیشترین ظرفیت کلپوزیت FRP م تلزم ح ذف و یل م تأخیران حلات ن ج دلش گی زود ن فگام ورق تقویتی بلبه کاگیری روش ها وس ازوکاره ایی برای ایجاد م هار کافی میشل د. روش های مختلفی برای ج ل گیری یل م تأخیران حلات ن ج دلش گی زود ن فگام ورق FRP وجود داند، که از جمله آلوات فاده از مه اره ای FRP بلبزنی میشل د. مه اره ای FRP شام ل یکم دته الیاف، یا یکفیک ه ی الیاف لی مش ده، تلخ متبه رزیاب وکی بیه عن وانم ات ریس متن د که یکن ت ه ای آن درون خیره ی آم دمش ده، داخل تنق رارگرت ه اف ت های دیگر آن روی ورق FRP متصل میشل د. این مه اره لبر حرب محل کلپردبه دسرت ه کلی مه اره ای م تقیم و مه اره ای خمیده متقیم میشل د. شکل ۱) انواع مه اره و نیز اجزای تشکیل دهن ده م هار رانشان می ده د [2].

درت تحقیقات گشز نتقا تئظیر لپ لک ره ای مه اره ای FRP م ق لوم بتناصل و مود شکرت نمونه بلبه طور گرت رده م ورد بر رویی قرارگرت سلت. درس ال ۲۰۰۹ زبک اخلو و ه مکاران فیتار گششی مه اره ای FRP ه بت ن رلبروی نمودن د. نتایج بر رویی آن ه انشان می ده ب افلازش ه ر یک از لپ لک ره ای قطر، عمق، و زاویه ی قرارگیری م هار داخل تن نه م طم ق لوم بتناصل کاهش می یب د. ه مچنین م ق لوم بتبتتن م لبرای نمونه ایی که عمق گیرایی م هار دد کوچکی سل ت اه میتپیدا می کدد؛ زیرا شکرت این نمونه م لبر ورت گس یختگی مخروطی جوت تفاق فیک د [3]. درس ال ۲۰۱۷ لورادو و ه مکاران روش ساخت وضب، عمق گیرایی م هار، گرد کردن ب مس و راج ه لگ ر ق و زاویه قرار

به همراه یک یه دوپچ در مح اتصال و نوب فون هلیون، عمل کوپت و ن را درش کلپ ذیری و نیروی ه ایی مود می خد [5].

درس ال ۲۰۲۰ سکت لپو و ه م کاران کیفیت ض ب م هار FRP و تع هیوت فیر فیتل رزه ای ست و ن ه ای ت ن آرم ه ی تق ویتش دما ورق های FRP را م و ر ب ر ی ق ر ا د ا د ن ه ب ر ی ه ا ن ش ا ن م ی د د تع هیوت ن ل س ی ب د ی د م ی ا ت ن ه ا کیفیت پ ا ی ی ن خ ت ی ال ی ه ، ظ ف ی ت خ ش ی و ش کلپ ذیری ست و ن رله خ ط ر ن م ی ا ن د ا د . ه م چ ن ی ن کیفیت ض ب ب ر ع م ل ک ر د م ن ل ب م ه ا ر ب س ی ل ت و ا ث ی ر گ ذ ا ر س ل ت ؛ ض ب ض ع ی ف م ه ا ر ه ای FRP ط و ر ق ب ل ت و ج ه ی ظ ف ی ت م و ر د ا ن ت ظ ل م ی و ن ت ق ویتش دما ورق ها و م ه ا ر ه ای FRP را ک ا ه ش م ی د د . ض ب ص ح ی ج م ه ا ر ه ای FRP ا ط م ی ن ا ن م ی د د ک ه م ی ت و ا ن ب ه ظ ف ی ت م و ر د ظ ا ر ه ت ف ل ت ب د و ن ا ی ن ک ب ر ش کلپ ذیری ا س ت ف ا د ه ا ز چ ن ی ه ورق FRP تق ویت م ی ش و ن د ، ی ک ت ک ن ی ک س ی ا ر س ت ف و ت ق ویتش ا ث ی ر م ق ی ب گ ذ ا ر د [6].

ب ر ا ی ن س ل ا ت ف ا د ه ا ز م ه ا ر ه ای FRP د ر ت ق ویتش ی و خ ش ی ا ع ض ا ی ت ن آ ر م ش ا م ل ت ی ی و ن ت ا ص ا و د ا ل ه ا ن ش ا ن م ی د د ک ب ه ک ا ب ر د ن ا ی ن م ه ا ر ه ا ظ ف ی ت ل ب و ب ر ی ن ه ا ی ی و ش کلپ ذیری و ج ذ ب ا ن ر ژ ی رله ط و ر ق ب ل م ح ظ ه ای ف ل ا ز ا ی ش م ی د د ن [7-9].

ت ل ب ه ا ر ز ب ر ی ی ه ای م ح د و د ی پ ا ی ر ا م ی ت ا ث ی ر ت ک ن ی ک ت ا ص ا ل ر و ق ت ق ویتش ب ر ع م ل ک ر د م ه ا ر ه ای FRP ق ل م ت ق ی م ا ن ج ا م ش د ه س ل ت و پ ا م ت ر ه ای م ه ا ر ه ای FRP ت ن ه ا ی ی و م ر د ب ر ی ی ق ر ا ر گ س ت ل ن د ، ک ه م ا ن ع م ل ل ی د ر ا ج ر ا ی ط ر ح ه ای د ق ی ق و ک ا ر آ م ب ر ا ی م ه ا ر ه ای FRP م و ط م ن ض ی ن س ل ب ر ا ی ن ه ا ت خ ی ق ج ا م ع ی پ ا ی ر ا م و ن م ش خ س ا ت م ه ا ر ه ا ی م ر م ت ق ی م ن ظ ی ر ع م ق ق ر ا گ ی ر ی م ه ا ر ف ل ی خ ن ، ط و ل ب خ ش ب ا ب ی ی و س ن ب ت س ط ح ق ط ع م ه ا ر ب ه ر و ق ت ق ویتش ا ن ج ا ن گ ف ی ت ه س ل ت . ی ک م ی ل ه ک ل ی د ی م و ر د ف ا د ه ا ز م ه ا ر ه ای FRP ع ی ی ن م ش خ س ا ت م و ب ل ت ج ه ب ه ر و ش ت ا ص ا ل و ط و ل ر و ق ت ق ویتش س ل ت ، ک ه ج د ل ش گ ی ورق FRP ب ه ط و ر ک ا م ل ح ذ ف ک ر د ه و م و د ش ک ر ت رله ه گ س ی خ ت گ ی ر و ق ت ق ویتش ت ب د ی ل ک د م ب ر س ل ا س ت خ ی ق ا ت ا ن ج ا م ش د ه و د ا ن ف و گ ل ن ع ی ا ص ف ل ل ی ن ت ف ا د ه ا ز ر و ش ش ی ا ر ز ن ی ا ز ت ک ن ی ک ه ای م و ر د ب ر ا ی ح ذ ف ی ل ب م ت ا خ ی ر ا ن ع ی ت ن ج د ل ش گ ی ز و د ه ن گ ا م ر و ق ت ق ویتش م ی ت . ن ت ا ی ج ت خ ی ق ا ت ن ش ا ن م ی د د ک ه ن م و ن ه ا ی ت ق ویتش دما

روش EBROG ت ل ب ا ن ه ا ی ی و ش ل ک پ ذیری ب ی ش ت ر ی ر ل ی ن ت ب ه ن م و ن ه ا ی ق ی ویتش دما روش EBR ت ج ه م ی ل ک ن ه ب ه ط و ر ی ک ه د ر م و ا ر د ی ر و ش EBROG ت و ا ن ا ی ی ح ذ ف ج ه ل گ ی و ر ق و ت ب د ی ل م و د ش ک ر ت ب ه پ ا ر گ ی و ر ق را د ا ر د [10-18].

درس ال ۱۱ ق ل م ت و ف ی ن ژ ا د و ش ا م ل ی ب ب ر ر س ت ی ا ث ی ر ر و ش ش ی ا ر ز ن ی ، ز م ا ن ی ک ه ا ز چ ن د ی ن ی ه ورق FRP ت ف ا د ه م ی ش و د ، پ ر د ل ی خ ن د . ن م و ن ه ه ا ی ی ب ل ب ع ا د $120 \times 140 \times 1000$ م ی ل ی م ت ر ب ا د و ت ک ن ی ک EBR و EBROG م و ل ی ه ی ی ک ، د و و س ه ی ه و ر ق ت ق ویتش د ن د و ت ح ت ب ا ر گ ذ ا ر ی خ م ش ج ه ا ر ن ق ط ه ای ق ر ا ر گ ر ت ن د . ن ت ا ی ج ح ا ک ی ا ز ا ن س ل ت ک ع ا ص ا ل و ر ق FRP ت ب ر ه ا ی ت ی ن ی م ی ت و ا ن ه ب ا ر ن ه ا ی ی و ه م چ ن ی ن ش کلپ ذیری رله ط و ر م و ر د ی ف ل ا ز ا ی ش د م ی ت ف ا د ه ا ز ر و ش EBROG ت ر ا ی ت ی ر ه ا ی ی ک م ا ب ه م ی ت و ا ن ه ا ی ی ت ب ن م و ن ه ا ی ت ق ویتش دما روش EBR ت ج ه م ی ل ک ن د [11].

درس ال ۱۹ س ل ی م ی ا ن ف ی ت ا ت ا ص ا ل ک ل ه و ز ی ت FRP را ت ح ت س ر ع ت ه ای م ی خ ل ف ع ا ر گ ذ ا ر ی ب ر ی ی ن م و د . ۳۶ ن م و ن ب ا ا ب ع ا د $150 \times 150 \times 350$ م ی ل ی ب ق ا ب ا م ق ا و م ت ف ش ا ر ی ۱۴ ، ۲۸ و ۴۲ ت ه ی ه ش د ب ر س ل ا س ت ا ی ج ل ص ل ا ز آ ز م ا ی ش ب ر ش س م ت ق ی م د ر ن م و ن ه ا ی ت ق ویتش دما روش EBR ب ا ف ل ا ز ا ی ش س ر ع ت ب ا ر گ ذ ا ر ی ظ ف ی ت ت ا ص ا ل و ر ق ت ق ویتش ف ل ا ز ا ی ش م ی ا ی د . ه م چ ن ی ن ف ل ا ز ا ی ش ظ ف ی ت ت ا ص ا ل ب ا ق ا و م ت ب ت ن ا ب ط ه ی ع ک س د ا ر د . ا ز ط ف ی د ر ر و ش EBROG ت ب ه ا ی ن ع ل ت ک ه ش ک ر ت ج و ت ت ف ا ق م ف ی ل ت د م ق ا و م ت ب ت ن ا ظ ف ی ت ت ا ص ا ل ا ب ط م ر م ت ق ی م د ا ر د [12].

درس ال ۲۰۲۲ م ح م د ی پ ا م ت ر ه ا ی ف ص ل ه و و ل ی ت ا ی ش ی ا ر را ک ه د ر ت خ ی ق ا ت پ ی ش ی ن ف ی ل ت د ر ن ظ ر گ ر ت ه م ی ش د ، د ر ک ا ر پ ا م ت ر ه ا ی ع م ق و ع ر ض ش ی ا ر م و ر ه ب ر ی ی ق ر ا ر د ا د . د ر ا ی ن ت خ ی ق ی و ب ر ا ی ال ی ی ر ب ا ر ا ز گ ر و م ش ی ا ی ر ا ی ت ق ویتش ن م و ن م و ا ت ف ا د ه ش م ب ر س ل ا س ت ا ی ج ب ا ک ا ه ش ف ع ل ه ی ب ی ن ش ی ا ر ه ا ق ا و م ت ت ا ص ا ل ف ل ا ز ا ی ش م ی ا ی د . ه م چ ن ی ن ف ا ی ج ح ا ک ی ا ز ا ن س ل ت ک ه م ق ا و م ت ا ت ا ص ا ل د ر ن م و ن ه م ل ش ی ا ر ه ا ی ط ی ی و ع و ض ی ت ق ر پ ا ی ک ن ا ن س ل ت ؛ ا م ا م ک ا ن ی ل ی ن ت ق ا ت ن ش د ر ا ن م ت ف ا و ت م ی ش ل د ب ه ا ی ن گ و ن ه ک ه

۲. مراحل آزمایشگاهی

۲-۱- مشخصات نمونه و بتن مودت فاده

برای بررسی فیتالصال روق تقویتی به سطح بتن عادی نمونه ۱۵۰×۱۵۰×۳۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد و به جهت بررسی ممبرفیت تقویتی به بیرون آم‌گپه آن دازه ۸۰ میلی‌متر در مرکز نمونه قرار گرفته و بتن آن از نمونه برای آن جام دو آزمایش (شکل ۲). برای تعیین مقاومت تفشاری بتن صرفی، ۳ نمونه سه‌لته و آن‌های بالرتفاع ۲۰۰ و قطر ۱۰۰ میلی‌متر از هر مخلوط تهیه شد. آزمایش فشاری تک محوره روی ۳ نمونه پس از ۲۸ روز قراگیری در حوضچه آب، انجام شد.

شکل ۲: نمونه های مورد استفاده جهت تحقیق

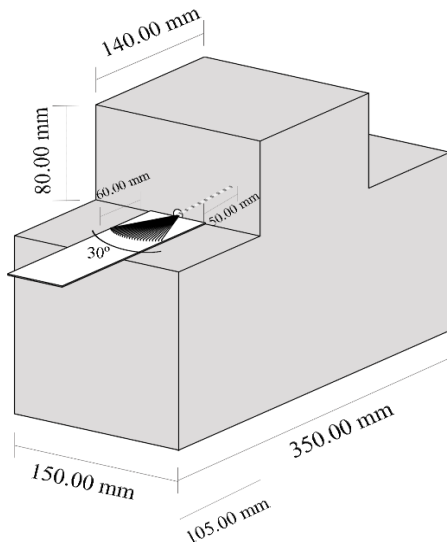


Fig. 2. T-shaped specimens

۲-۲- مشخصات ایف‌بها و کفی مودت فاده

به منظور تقویت نمونه‌ها کله‌وزیت م‌دل‌ش‌ددب‌الایاف رکن (CFRP) م‌س‌ددب‌فاده‌ق‌رارگفت. ورق‌های استفاده‌شده، م‌س‌ولش‌رکت Sika م‌س‌وئیس و بان‌امت‌ج‌اری SikaWrap-230C م‌س‌ددب‌ن‌از رزین برای اتصال دال و رقب‌م‌س‌ط‌ج‌ت‌ن‌و نیز به‌عن‌وان م‌ات‌ریس در کله‌وزیت FRP استفاده می‌شود. دت‌تحقیق ح‌ط‌ر از رزیدل‌پ‌وکسی Quantum-EPR3301 لی‌ددش‌رکت‌واکت‌وم ایران س‌ل‌ف‌اده‌ش‌د. این رزین از دو جزء A و B تشکیل شده است. س‌ن‌ب‌ت‌ج‌زء A به B با ب‌ب‌ا ۳ به ۱ س‌ل‌ت‌ب‌ر س‌ل‌اس‌اکت‌لا‌وگ، زمان لازم برای عمل‌آوری رزیدل‌پ‌وکسی ۷ روز در دمای ۲۵ درجه

س‌ن‌ب‌ت‌ج‌زء B به A س‌ن‌ب‌ت‌ن‌م‌ن‌قل کرده ام‌اش‌یه‌اره‌ای ع‌ض‌ب‌ت‌ن‌ش‌را در س‌ط‌ج‌ت‌ن‌گ‌س‌ت‌ر‌ش‌می‌ده‌د [13].

دت‌تحقیق ح‌ط‌ل‌ر‌ت‌ف‌اده از م‌اره‌ای س‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌ب‌ل‌ج‌زنی در کنار این تکنیک برای م‌رم‌دی کامل از ظفیت و رقت‌ویتی م‌ورد بررسی قرار خ‌واه‌دگفت‌دت‌تحقیق‌ات‌ان‌ج‌ام‌گ‌سته روق‌ب‌ع‌اش‌یار نشان می‌ده‌د عم‌ق‌ش‌یار ۱۰ میلی‌متر ب‌ارگ‌س‌ی‌خ‌ن‌گی‌ن‌مای‌ی‌ورق تقویتی رلتا ۸۰ درصد فلت‌زایش می‌ده‌د و م‌ی‌ت‌وان‌د‌ج‌دل‌ش‌گی‌را س‌ت‌ف‌اده‌ن‌مود (شکل ۲). برای تعیین مقاومت تفشاری بتن صرفی، ۳ نمونه سه‌لته و آن‌های بالرتفاع ۲۰۰ و قطر ۱۰۰ میلی‌متر از هر مخلوط تهیه شد. آزمایش فشاری تک محوره روی ۳ نمونه پس از ۲۸ روز قراگیری در حوضچه آب، انجام شد.

EBROG برای قیوت‌س‌از م‌ل‌ی‌ت‌ن‌آرمه و ج‌ودن‌خ‌واه‌د‌ه‌ل‌ت‌ت‌ح‌ق‌ی‌ات‌گ‌ش‌ن‌ت‌ن‌شان داده‌س‌ل‌ت‌که عم‌ق‌ک‌ف‌ر از ۱۰ میلی‌متر ج‌دل‌ش‌گی‌ورق‌ت‌ق‌ویتی از س‌ط‌ج‌ت‌ن‌رله م‌رام‌ش‌وات‌ه و ام‌کان اس‌ت‌ف‌اده‌ی کامل از ظفیت و رقت‌ویتی در این ح‌ل‌ت‌و ج‌ودن‌خ‌واه‌د‌ه‌ل‌ت‌ف‌ل‌ت‌زایش ع‌رض‌ش‌ی‌اب‌اع م‌ق‌ب‌ل‌ت‌م‌ن‌ج‌ب‌ف‌ل‌ت‌زایش ب‌ارگ‌س‌ی‌خ‌ن‌گی‌ن‌مای‌ی‌م‌ی‌ش‌ود؛ اما افزایش ع‌رض‌ش‌یار بیش از ۱۰ میلی‌متر و صیه‌ن‌م‌ی‌ش‌ود؛ زیرا ای‌جاد این‌ش‌یار م‌ی‌ت‌وان‌د‌آ‌س‌ی‌ب‌زیادی بیه‌ت‌ن‌وارد کرده و از ظف‌ی‌م‌ل‌ول‌ن‌ت‌ف‌اده از چ‌س‌ب‌ل‌وک‌سی رلب‌ق‌دری فلت‌زایش ده‌د، که از ن‌ظ‌ق‌ل‌ت‌ص‌اد‌ی‌ب‌ص‌ف‌ن‌س‌ت [16-17] ب‌ای‌ن‌ر این در این‌ت‌ح‌ق‌ی‌ق‌ازش‌یارهای‌ب‌اع‌م‌ق‌و ع‌رض ۱۰ میلی‌متر و طول‌ات‌ص‌ال‌ی‌ک‌ف‌ر از طول‌ات‌ص‌ال‌م‌و‌ر‌س‌ل‌ف‌اد‌ش‌دت‌ا ام‌کان‌ب‌رو‌ی‌ی‌ع‌ل‌م‌کرد م‌اره‌ل‌وت‌های و رقت‌ویتی، برای ح‌ذ‌ف‌ج‌دل‌ش‌گی‌ورق از س‌ط‌ج‌ت‌ن‌و ج‌ودن‌ش‌وات‌م‌ب‌ل‌د‌ع‌و ب‌ر‌آن‌در اع‌ض‌ای‌ی‌از س‌از‌ه‌اف‌ن‌ت‌ب‌یر‌های T شکل، م‌م‌کن‌س‌ل‌ت‌ت‌أ‌م‌ین‌طول ات‌ص‌ال‌م‌و‌ر‌ام‌کان‌پ‌ذ‌یر‌ن‌ب‌ل‌د‌ب‌ه‌کارگیری م‌اره‌ای FRP ب‌ل‌ج‌زنی یکی از راه‌های ت‌ف‌اده از ب‌ش‌ی‌ت‌رین ظفیت و رقت‌ویتی در این ح‌ل‌ت‌س‌ل‌ت‌ب‌م‌ن‌ظ‌و ب‌رو‌ی‌ت‌ج‌ب‌ف‌ت‌ار م‌اره‌ای س‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌س‌از ب‌م‌اره‌ای ورق‌های FRP، ن‌م‌ونه‌ه‌ل‌ت‌ح‌ت‌آ‌زم‌ای‌ش‌ر‌س‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌قرار می‌گیرند. در م‌ح‌دوده‌پ‌ژوه‌ش‌عم‌ق‌گیری م‌اره‌ای س‌ن‌ب‌ت‌سط‌ح‌ق‌ط‌ع‌م‌اره‌به و رقت‌ویتی، چ‌گون‌گی‌ق‌را‌گیری ق‌س‌م‌ت‌ب‌ل‌ج‌زنی م‌اره‌ای ورق‌های و رقت‌ویتی و روش‌ض‌ب‌ورق تقویتی م‌ورد بررسی قرار خ‌واه‌دگفت.

لنتی گراد میشل د. ه چینین میزان رزین مصرفی پیشین هاش ده
توسددش در کتواقت و پین ۵۰۰ ۱۸۰۰ گرم به ازای هر نفر
مپع لایاف سلدت. ش دخسدات مکانیکی الیاف و رزیدلپ وکدی
موسدت فاده در ج دول (۱) (نشان دادمش ده سلت [18-19].

جدول ۱. مشخصات مکانیکی الیاف و رزین پلوکی موردهستفاده

Material	Modulus of elasticity (GPa)	Tensile strength (MPa)	Thickness (mm)	Ultimate strain (%)
SikaWrap-230C	238	4300	0.131	1.8
Quantom-EPR 3301	4.5	30	-	1.5

Table 1. Mechanical properties of FRP sheets and epoxy matrix

۳-۲ سدتگاه آزمایش برش قی م

نمونه هلس از قواوم سازی به وسیله کلپوزیت FRP داخل
سدتگاه آزمایش برش سیم تقییم، مج هزه یک جک هیدرولیکی با
ظفیت ۳۰۰ کیلوفیت ونقرار می گیرند (شکل ۳).

شکل ۳ سدتگاه آزمایش برش قی م



Fig. 3. Single-lap shear test setup

است فاده از جک هیدرولیکی نیروی ۳۵۰ کیلوفیت ون محکم می
شود. از دو ورق فولادی ۱۰۰×۱۰۰ میلی متر دلت ه ای ورق
تق وایتی ت فاده گردیتا اذپاگی مضعی ورق تق ویتی داخل
سدتگاه چل گیری شود. برای چل گیری از چرخش نمونه داخل
سدتگاه و دبلت تب مقطر ۱۶ میلی نفر و یکش مشف ولادی برای
بی ثار کردن نیروی خارج از محربه کار بردهش د. دت مامی
آزمایش هباگ ذاری بصورت کدرلت غییر مکان اناج امش د. در
سدتگاه حطر رمیت وانسرع تب ارگ ذاری رلین لت ۶۰ میلی متر
بر قیقنظیم نمود. مطلب اطلان دارد [20] ASTM D3039
بارگ ذاری با سرعت ۲ میلی متر برر قیقه در حلات سلتاتیکی
بشین هاد می شود.

۴-۲ طبقه بندی تق ویتن نمونه ای آتشی اگی

نامگ ذاری نمونه های تق ویتش دامت فاده از مه اره ای ب اد
ب زنی مبصورت T-d-f-n سلت که T روش ضرب (روش ضرب
خارجی یا EBR و روش ضرب خارجی روی شیار یا EBROG)،
d طول لب زنی، ثلن تب سطح قطح م هاربه ورق تق ویتی و n
ش ماره تکرار میشل د. ه چینین نمونه های به ع نوان نمونه های
شاه د برای برسی عملکرد م هلتن طلیات فاده از یک یه ورق
FRP تق ویتش د. نامگ ذاری این نمونه مبصورت T-S-n می
بشل د که T روش ضرب ورق تق ویتی و ش ماره تکرار سلت. در
ت مامی آزمایش طلیت هی بکونی مبضخامت ۰/۱۳۱، عرض ۴۸
میلی نفر و طول اتصاال ۷۰ میلی نفر به کار بردهش د. ه چینین
عمق گیری م هار دت مامی نمونه های تق ویتش دامت فاده از
مه اره ای سیم تق یه پلار ۵۰ میلی نفر درنظر گدتش ده سلت. در
نمونه های تق ویتش دمه روش EBROG از دوش یارب اعمق و
عرض ۱۰ میلی نفر فصل ل بربتلر ۲۰ میلی نفر ت فادهش د برای
راستی آزمایی قیایج، هر آزمایش دوبران اناج امگوت. درصورت
وجود خاتلاف غیقب قیبول در قیایج، آزمایش تکرارش دبه
منظور تق ویتن نمونه ا مراحل زیران اناج امگوت:

۱) در روش EBR که در این روش از سطح بتن استفاده از سن گسایش بتن و بتن گدانه های روی سطح بتن در مایان شود؛ در روش EBROG محلشیراها و قرارگیری ورق FRP پس از بتن روی سطح بتن ع‌ تنگ‌داری می‌شود. سپس شیراها به میله‌های گدانه‌های بتن ع‌ تنگ‌داری شده ایجاد می‌شوند برای ایجادشیراها از صفحه سن گسایش بتن استفاده می‌شود (شکل ۴).

شکل ۴: آماده‌سازی سطح بتن‌های آزمونی گاه‌ای؛ (الف) نمونه‌های EBROG؛ (ب) نمونه‌های EBR

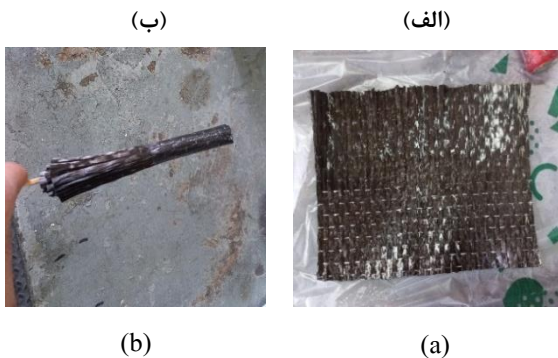


Fig. 5. Steps of anchor construction: (a) cutting CFRP to required lengths; (b) rolling the anchor around the dowel

۶) الیاف رکن SikaWrap-230C که قسمت طول آزاد آن روغن‌ب‌شیرا‌ع‌ش‌ ده‌س‌ل‌ت‌، روی سطح بتن به رزین قرار گرفته و با رزین‌پ‌و‌ک‌ی‌ ش‌ل‌ب‌ا‌ع‌ می‌شود. برای جلوگیری از لح‌راف‌ل‌الیاف‌، ر‌ل‌ت‌ا‌ک‌ن‌ س‌ب‌ا‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از گونی‌ک‌ر‌ل‌ش‌د‌.

۷) باقی‌ارگ‌ت‌ن‌ ورق FRP روی سطح، الیاف‌خ‌ش‌ب‌ا‌د‌ ب‌زنی‌ م‌ه‌ا‌ب‌ر‌ روی سطح و رقبه میله‌های رزین‌ت‌ص‌ل‌ می‌شوند (شکل ۶-ب).

شکل ۶: آماده‌سازی نمونه‌ها

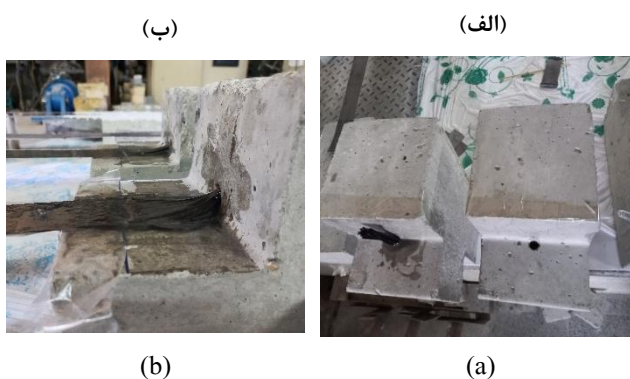


Fig. 6. Preparation of specimens

نمونه‌ها پس از آماده‌سازی به مدت ۷ روز برای عمل‌آوری در شرایط آزمایشگاه قرار داده می‌شوند برای انجام تکنیک PIV،

۲) خ‌ه‌ای‌ب‌ا‌ق‌ط‌ر ۱۲ میلی‌م‌ت‌ر و به عمق ۵۰ میلی‌م‌ت‌ر به وسیله‌ی بتن و قیقاً م‌ ر‌ل‌ت‌ب‌ا‌ محل‌ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌ی‌ری‌ ورق FRP ایجاد می‌شود.

۳) سطح آماده‌شده نمونه، به میله‌های تنگ‌ب‌م‌ پ‌ه‌وا‌ از هرگونه آل‌و‌گ‌ی‌ و گ‌ر‌د‌ و ی‌ع‌ر‌ت‌م‌ی‌ز‌ می‌شود.

۴) الیاف رکن SikaWrap-230C پس از آماده‌سازی بتن در محل قرار داده می‌شود و پس از خ‌ا‌ر‌ج‌ کردن خ‌ه‌ای‌ن‌گ‌ه‌ای‌ن‌ده‌ بین الیاف در قسمت بتن‌ب‌زنی‌ م‌ه‌ا‌ر‌، آ‌ب‌خ‌ش‌ از م‌ه‌ا‌ر‌ که داخل بتن قرار می‌گیرد به میله‌های رزین‌ب‌ا‌ع‌ش‌ ده‌و‌به‌ دور یک‌چ‌وب‌ن‌از‌ک‌ پیچیده می‌شود. م‌ر‌ا‌ح‌ل‌س‌ا‌خ‌ت‌ م‌ه‌ا‌ر‌ در شکل ۵) (نشان‌د‌ا‌م‌ش‌ده‌ س‌ل‌ت‌.

۵) م‌ه‌ا‌ر‌، داخل خ‌ه‌ر‌م‌پ‌ر‌ش‌ د‌ب‌ا‌ چ‌س‌ب‌ق‌ر‌ا‌ر‌ د‌ا‌ده‌ش‌ده‌ و چ‌س‌ب‌ط‌ر‌ف‌ل‌ی‌ خ‌ا‌ر‌ج‌ش‌ده‌ از اطراف آن‌ب‌ش‌و‌ا‌ت‌ه‌ می‌شود. خ‌ه‌ر‌ه‌ا‌

انجام آزمایش از نمونه عکس گشته می شود. شکل ۸ (نحوه ی قراگیری نمونه و ووبین جهت انجام آزمایش را نشان می دهد. پس از پایان آزمایش برش برش می کنیم، عکس تهیه جهت انجام آنالیز نیای به ال‌م‌ل‌ن دی دان د (شکل ۹). در این تحقیق ازالمان مایه به ابعاد ۲۸×۱۲۸ پیکسل لایفلصله ی ۴ پیکسل با فاصله ۰.۵ میلیمتر است. وایت و همکاران در سال ۲۰۰۳ از روش سرعت سنجی تصویر ذره (PIV) در کنار روش فوتوگرامتری جهت ارزیابی تغییر شکل خمی استفاده نمودند. نتایج نشان داد، تکنیک PIV کم‌پایه ی پردازش عکس انجام می شود، وقت بیشتری دارد. همچنین نتایج حاصل از این روش با نتایج الکترونیکی تطبیق خوبی دارد [21].

شکل ۹: ال‌م‌ل‌ن دی نمونه جهت انجام تکنیک PIV

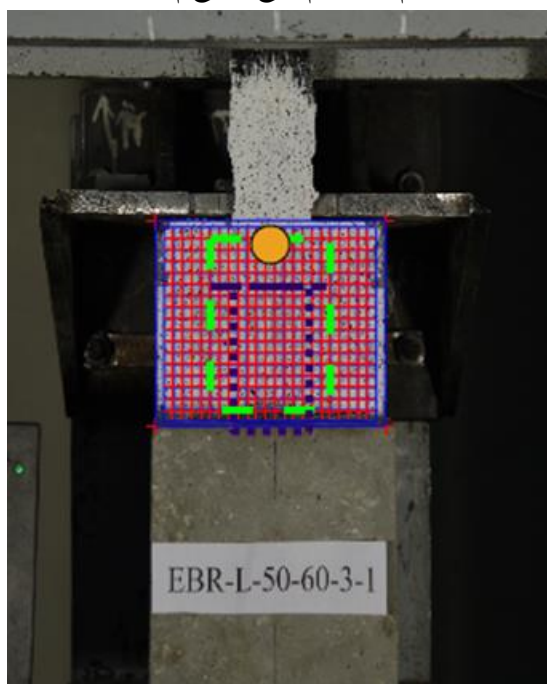


Fig.9. PIV technique

در سال ۲۰۱۲ حسینی و همکاران از این تکنیک برای بررسی میدان جابه جایی استفاده نمودند. آن‌ها به منظور ایجاد هی‌ل‌غزش ورق FRP تغییر مکلنک دایم‌ت‌ت‌صال ورق تقویتی را نصب به تغییر مکان سمت رل‌ت و چ‌پ‌س‌ط‌ج‌ت‌ن‌ب‌ا‌ک‌ف‌ا‌ده از ایل‌ط‌ه ی (۱) به حس‌ت‌ آ‌ود‌ن د [22].

$$S = \delta_{FRP} - \frac{\delta_R + \delta_L}{2} \quad (1)$$

ب‌ک‌دارن گس‌ف‌ی‌د‌اع‌مال‌ش‌د‌پ‌س‌از‌خ‌ش‌ک‌ش‌د‌ن‌ر‌ن‌گ‌ه‌ای‌آ‌بی، س‌ب‌ز‌ق‌ر‌م‌ز‌و‌م‌ش‌ک‌ی‌ب‌ه‌ص‌و‌ت‌ن‌ق‌ط‌ه‌ای‌ش‌ی‌د‌م‌ش‌د‌ن‌د (شکل ۷).

شکل ۷: تقویت نمونه های آزمایشگاهی



Fig. 7. Strengthening of specimens

۳. تکنیک سرعت‌سنجی تصویر ذرات (PIV)

در این تحقیق به جهت ارزیابی میدان‌ل‌غزش از تکنیک PIV استفاده شد. به سبب جهت ایجاد ب‌ل‌ت‌ر‌ن‌گ‌ی‌م‌ن‌ل‌ب‌ج‌ه‌ت‌ب‌ر‌د‌از‌ش‌ع‌ک‌س‌ه‌ا، ب‌و‌ک‌دارن‌گ‌س‌ف‌ی‌د‌ر‌و‌ی‌س‌ط‌ح‌ن‌ه‌ن‌ه‌اع‌مال‌ش‌د‌پ‌س‌از‌خ‌ش‌ک‌ش‌د‌ن‌ر‌ن‌گ‌ه‌ای‌آ‌بی، س‌ب‌ز‌ق‌ر‌م‌ز‌و‌م‌ش‌ک‌ی‌ب‌ه‌ص‌و‌ت‌ن‌ق‌ط‌ه‌ای‌ب‌ر‌و‌ی‌س‌ط‌ح‌پ‌ش‌ل‌ی‌د‌م‌ش‌د‌ن‌د. در حین

شکل ۸: چ‌ن‌م‌ای‌ی‌آ‌زم‌ای‌ش



Fig.8. Test placement

نتایج آزمایشگاهی

از سده طبعیت، DF بیانگر رج دلش ده گیبین ورق تقویتی و م هار بلبزنی و FRP آگی روق تقویتی را نشان می ده د.

نمونه های EBR-S بتن وان نمونه های شامدن هلبا یک یه ورق FRP تقویت شدن د. مودگس یختگی نمونه های شاه هلبت و ج به شکل ۱۰ الحاف ج دلش گیی ورق تقویتی سلبت برلس اس ج دول ۲، در روش EBR تفاده از م هار هاپیلن بتن سطح قطع م هار به ورق تقویتی بلب بتوانایی فلزایش مقوم بتناصل التاح دود ۳۳ درصد بتن به نمونه های شاه د را دن د.

در ایپخش آزمایش هلبرش مودتقیم انج ام گسته روی نمونه های تقویتی و بتن دب روی می گردن د. در آلاز، مقایه اتناصل روق تقویتی درن نمونه ها و مودگس یختگی آن هارایه می شود. در ادا مودن حنی مای بارل غزش نمونه های آزمایش ده گاهی مود بر روی قرار می گیرند.

۴-۱ مقوم بتن ال نمونه های آنتی لک های

برای بررس دهی عملکرد م هار های FRP نتایج لخص ددل از گس یختگی این نمونه هلبس ورت ج دلش گیبین سطح ورق و آزمایش برش سبتقیم شامل مقوم بتن اتناصل، مودگس یختگی و بتن وسط جرق بام هاپ وده سلت. در ادا مود فلزایش بتن سطح درص ده فلزایش مقایه اتناصل هلبت بتن به نمونه های شاه د در ج دول ۲) (رای مش ده سلت. ه م چنیرب مودنظ و رخن اتناصل ددار، مود گس یختگی نمونه هلب اتناصل ده از حروف لاتین بیان می شود و ده این ص ورت که DC بیانگر رج داش گیی زود فگام روق تقویتی

گس یختگی این نمونه هلبس ورت ج دلش گیبین سطح ورق و آزمایش برش سبتقیم شامل مقوم بتن اتناصل، مودگس یختگی و بتن وسط جرق بام هاپ وده سلت. در ادا مود فلزایش بتن سطح درص ده فلزایش مقایه اتناصل هلبت بتن به نمونه های شاه د در ج دول ۲) (رای مش ده سلت. ه م چنیرب مودنظ و رخن اتناصل ددار، مود گس یختگی نمونه هلب اتناصل ده از حروف لاتین بیان می شود و ده این ص ورت که DC بیانگر رج داش گیی زود فگام روق تقویتی

چش گیری فلزایش می ده ده به طوری که فلزایش ح دوداً ۵۸ درصد دی در مقوم بتناصل شاه ده می شود.

ج دول ۲. نتایج نمونه های آزمایشگاهی

Test specimen	P_{test} (kN)	$P_{test,avg}$ (kN)	Increase in bond strength over EBR control specimens (%)	Increase in bond strength over EBROG control specimens (%)	Failure mode
EBR-S-1	8.32	7.95	-	-	DC
EBR-S-2	7.58				DC
EBR-60-2-1	10.74	10.57	33	-	DC + DF
EBR-60-2-2	10.4				DC + DF
EBR-60-3-1	11.97	12.56	58	-	DC + DF
EBR-60-3-2	13.15				DC + DF
EBROG-S-1	12.73	13.2	66	-	DC
EBROG-S-2	13.68				DC
EBROG-60-2-1	19.32	18.76	136	42	FR
EBROG-60-2-2	18.2				FR

Table 2. Results of single-lap shear tests

م ج هشتقالتن ش بیهتن رانشات مبدون این که دچای بیرون کشیدگی شود. ع م ق گیرایی ۵۰ میلی بقمر معوم درقسمت پوششیتن ق رارگیت هسلت، ع مبر آن ق طر خیره ۱۰ میلی م تر بوده و درن واح ی پ ف و از سازه هلیت ن آرم قبل اچ رام پیشلن د. بکت وج مبه این که روش EBROG د بمت اخیران هختن و یاح ذف ج دلش گی روق تقویتی ع م لکره م طلیبی دارد، در ادام ه یت ق یقأت یتصال ور قبا این روش به م راه م اره ای FRP مبرد بر روی ق رارگیت.

هم الگوه که شکل ۱۱) نشان می ده د، در نمونه های EBROG مودگس یختگی درن مونه های شاه د، ج دلش گی ورق تقویتی و درن مونه های تقویش د مبلانک فاده از م اره ای FRP لجب زنی پاگی ورق تقویتی سلت. مبه ذکر سلت، ع دم گس یختگی م هار درن مونه های تقویش د مبه م اره ای م تقیم نشان دهن ده کفایت سطح ق طع م هار افزوت قالتن ش هلیت ن سلت.

شکل ۱۱. مودگس یختگی نمونه های EBROG؛ (الف) نمونه های شاه د؛ (ب) نمونه های EBROG-60-2

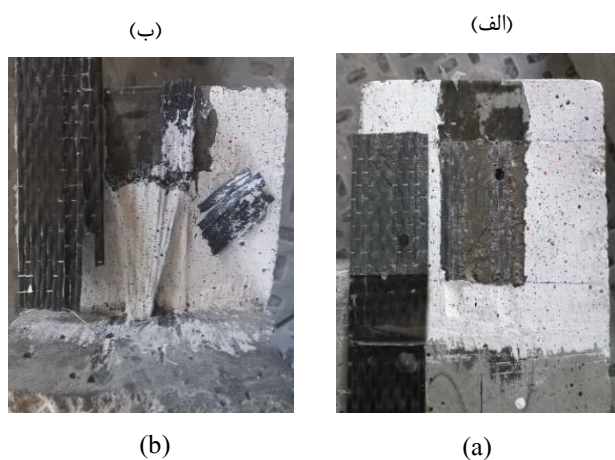


Fig. 11. Failure modes of EBROG specimens: (a) EBROG-S-1; (b) EBROG-60-2

بفدلرالینت فاده از م اره ای بابنی در کنار تکنیکش یازنی، ج دا ش گی ورق تقویتی را ح ذف کرده و امکلنیت فاده از ظفیت کامل آن رافراه م می نماید. نمونه های تقویش د مبلانک فاده از م اره ای م تقیم، فلزایش ۴۲ و ص دی ربه طور میانگین ببت به نمونه های شاه دت چ به کردلن د. مقایسه نتایج این گرومبا نمونه های EBR نشان می د مبلانک فاده از روشش یازنی امکان ح ذف ج دلش گی زوده نگام ورق تقویتی رلبام قادیر کهری از

با این حال، مود شکرت در این حلات غیری نکرده و شلبه نمونه های EBR-60-2، ج داش گیت فاق فیکت د. مود شکرت نمونه های شاه د و نمونه های EBR-60-2 و EBR-60-3 (در شکل ۱۰) نشان دادمش ده سلت.

شکل ۱۰. مودش کرت نمونه های آزمایش؛ (الف) نمونه های شاه د؛ (ب) نمونه های EBR-60-2؛ (ج) نمونه های EBR-60-3

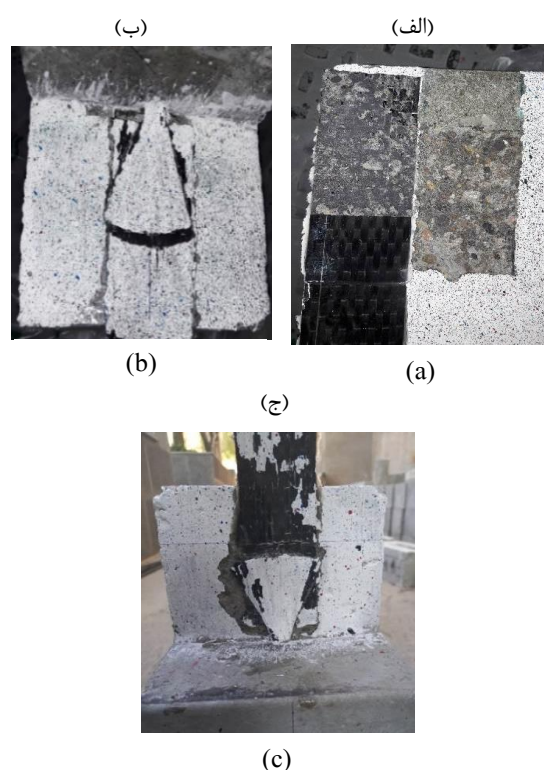


Fig. 10. Failure mode of EBR specimens: (a) EBR-S-1; (b) EBR-60-2; (c) EBR-60-3

بر س است ق ق ات سکت یلو و م کاران در سال ۲۰۱۹ [6]، نمونه های تقویش د د مبلانک فاده از م اره ای FRP با زاویه کتبه خ ش بلب زنی م هار، مقادیربارن هایی بیش تری رلت ج به کردلن د. زیرا در این حلات م قادیرال یاف در سلت ای نیروفلزایش فیلتوت نشبش ددی کاهش می یابد مبلر این در تقویش ن مونه ها سه عی بر ای بود که زاویه لیب زنی ب ه گونه ای پیش د که از ۶۰ درجه کتبهش ده و م هار کام بر روی روق تقویتی ق رارگیت. درت م می نمونه ها، م هار با ع م ق گیرایی ۵۰ میلی بقمر مودر است فاده ق رارگیت. نتایج ح اکی از آن سلت که این ع م ق تواتی

می‌کند، زمان شروع دشت گدی دتصاص ال FRP بر سطح سلب تبر
سلسله منحنی های بار لغزش (در شکل ۱۲)، در نمونه هایی که
ورق تقویتتی به د اتصاص ال بر سطح با روش EBR اتصالات فاده از
مهره ای سم تقویتتی ویت می‌شود، علاوه بر فلزایش مقاومت
اتصال، د بار لغزش ن های با یی رلین بتبه نمونه های شاه د
تحمل می‌کنند.

شکل ۱۲. منحنی های بار لغزش نمونه های تقویتشده به روش EBR
با مهره ای تقویتتی در فته های ورق

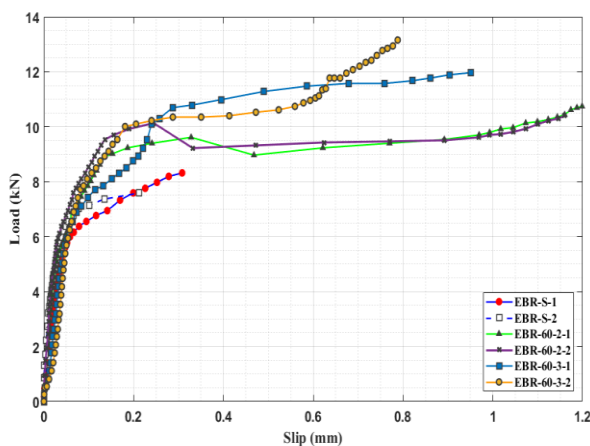


Fig. 12. Load-slip curves of EBR joints

همچنین این منحنی نشان می‌دهد، در نمونه های تقویت
شده با مهره ای سم تقویتتی بت سطح مقطع م هار کمتر لغزش
بیشتری سلب می‌شود و فلزایش بت سطح مقطع م هار به
جهت فلزایش سطح اتصال ورق تقویتتی و شیب سلب زنی م هار و
تولید انقباض بت تقویتش، مقاومت بتصل دال رله طور چشم
گیری فلزایش داه و مقادیر لغزش را کاهش می‌دهد.

منحنی بار لغزش نمونه های تقویتشده به روش
EBROG (در شکل ۱۳) نشان داد شد ده سلت. این نمودار
خلاف نمودارهای گرقه سلب به دورت کاملاً ص د و دیب و ده
فیتا تقویتتی دو خطی نمونه های تقویتشده به روش EBR را
ن دارد. نمودار بار لغزش این گروه دامل یکش داص د و دی
سست، که شیب آن بوبک دای نمودار بیش از انت های آن سست.
در این گروه تفاوت زیادی در لغزش نمونه های دده و ده
نمونه های تقویتشده با مهره ای سم تقویتتی م شاه ده می‌شود و ده
علاوه، مقادیر لغزش در نمونه های تقویتشده با سلسله فاده از

مهره ای سلب زنی ف راه م می‌کند به ع وه در این گروه نمونه م بار
ن های بیشتری رات حمل می‌کنند. همچنین مقاومت اتصاص
نمونه های تقویتشده با تکنیک EBROG به مهره ای
سم تقویتشده فلزایش ۳۶ درصدی رلین بتبه نمونه های شاه د EBR
نشان می‌دهد.

۴-۲ منحنی بار لغزش نمونه های آنتی ایکه ای

فیتا اتصاص ورق FRP بر سطح بتن را مپت و اتصالات فاده از
منحنی های بار لغزش ارزیابی نمود. لغزش از پامک ره ای م م
آزمایش بر شرم تقویت سلت کلمات فاده از آن مپت و انپامک ره ای
دیگری ان د کنش بت نش رله هرت آورد. ه مانگونه که پیش
از این بیان شد، در این تحقیق برای ارزیابی میدان لغزش ات تکنیک
PIV د فاده شد سلب بتبه منظور ایجاد فلت رنگی مپل سلب برای
پردازش عکس ها، بوبک دالون گمفید روی سطح نمونه اع مالش د.
پس از شکش دزن گمفید، رنگ هال سلب سلب زرمز و مشکلی
به صورت نقطه ای روی سطح پیشیده شدند. در حین انجام
آزمایش از نمونه عکس گرفته می‌شود و پس از پایان آزمایش بر شرم
سم تقویت، عکس مبرای انجام آنالیز نیاز به ال مپلن دی دال. در این
تحقیق از لامان های به عداد ۲۸×۱۲۸ پیکسل ب افصل له ۶۴
پیکسل بت فاده شد سلت. واح د طول در این عکس مپیکل
سلب بت انجام PIV، لغزش بت د اتصاص ورق تقویتتی در هنگام
بارگذاری مبراب می‌شود. از طرف دیگر نیروی اع مالش دمه
نمونه در حین آزمایش اتصالات از نیرو سنج های سبتگامبت
می‌گردد و دیترت سیم منحنی بار لغزش برای هر نمونه به هرت
می‌آید. در شکل ۱۲ منحنی های بار لغزش نمونه های EBR
نشان داد شد سلت. در این منحنی ها فیتا بار لغزش نمونه ها
را مپت و انبه دوقسم مت تقسیم کرد به این صورت که در قسم
اول نمودار بار نمونه سلب سلب زیاهتا ق داری نزدیک به بیشترین
مقاومت اتصاص ال فلزایش می‌آید. در این حلت نمونه لغزش کمی
در ح دود ۰/۱۵ میلی مقرر رت چبه می‌کند. قسم اول نمودار
موسوب به بخش سلب سلب تپس از آف منحنی بت غیر فیتا،
وارد شاره ای سلب سلب سلب رت از قسم اول می‌شود. در این
قسمت، نمونه لغزش های زیادی رات الحظه ی شکست چبه
می‌کند. لحظه ی الحظاتی از نمودار که شیب قسم اول بت غیر

فولادی، ورق‌های فولادی بر وجوه کناری تیر، بولت‌های فولادی و ورق‌های FRP به صورت دور پیچ استفاده می‌شود. استفاده از مهارهای باد بزنی FRP نیز یکی از روش‌های مؤثر در حذف جدا شدگی می‌باشد. این روش در مقابل سایر روش‌ها به دلیل استفاده از میزان الیاف کم‌تر، سرعت اجرای بالاتر و نیاز به تخریب کم‌تر بیش‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد. نکته مهم در عمل کردن مناسب مهارهای FRP باد بزنی دقت در اجرای مهار می‌باشد، تا اتصال مناسب بین سطح بتن و مهار و هم چنین اتصال مناسب بین مهار و ورق FRP صورت گیرد.

۶. نتیجه‌گیری

استفاده از بیشترین ظرفیت ورق تقویتی، مستلزم حذف و یا به تأخیر انداختن جدا شدگی زود هنگام آن با به کارگیری روش‌ها و سازوکارهایی برای ایجاد مهار کافی می‌باشد. از روش‌های مؤثر در کنترل جدا شدگی ورق تقویتی، استفاده از مهارهای FRP باد بزنی است. در این تحقیق از آزمایش برش مستقیم در کنار تکنیک PIV، برای بررسی رفتار اتصال و مقاومت نهایی آن هنگام استفاده از مهارهای مستقیم باد بزنی استفاده شد. نتایج تحقیق حاضر به طور خلاصه نشان می‌دهد:

۱) استفاده از مهارهای FRP در روش EBR افزایش مقاومت اتصال را در پی دارد؛ به طوری که در نمونه‌هایی با نسبت سطح مقطع مهار به ورق تقویتی ۲ برابر، افزایش مقاومت اتصال تا حدود ۳۳ درصد نسبت به نمونه‌های شاهد مشاهده می‌شود. گسیختگی این نمونه‌ها، جدا شدگی ورق تقویتی بود.

۲) در روش EBR، افزایش سطح مقطع مهار برای افزایش سطح اتصال ورق تقویتی و بخش باد بزنی مهار و توانایی در انتقال بهتر تنش، مقاومت اتصال را به طور چشم‌گیری افزایش می‌دهد. نمونه‌های EBR-60-3 افزایش حدوداً ۵۸ درصدی در مقاومت اتصال را نسبت به نمونه‌های شاهد تجربه می‌کنند. با این حال، مود شکست در این حالت تغییری نکرده و مشابه نمونه‌های EBR-60-2، جدا شدگی رخ می‌دهد.

۳) استفاده از مهارهای باد بزنی در کنار تکنیک شیار زنی، جدا شدگی ورق تقویتی را حذف کرده و امکان استفاده از ظرفیت کامل آن را فراهم می‌نماید. نمونه‌های تقویت شده با

مهارهای باد بزنی به روش EBROG، به میزان قابل توجهی کم‌تر از نمونه‌های EBR است. این مقدار کم لغزش در مقابل مقاومت اتصال بالای این نمونه‌ها سختی زیاد اتصال را نشان می‌دهد. در نمونه‌های تقویت شده با مهارهای مستقیم علت تفاوت در بار نهایی و مقدار نهایی لغزش را می‌توان ناشی از سرعت زیاد گسیختگی و میسر نبودن عکس برداری از مرحله پایانی آزمایش دانست.

شکل ۱۳. منحنی‌های بار-لغزش نمونه‌های تقویت شده به روش EBROG

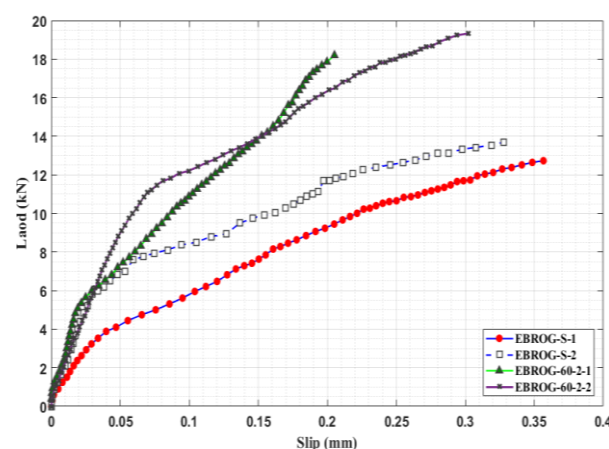


Fig. 13. Load-slip curves for EBROG joints

۵. بحث و گفت و گو

مقاوم سازی ساختمان با FRP به دلیل مقاومت کششی، مقاومت مغناطیسی، مدول الاستیسیته‌ی مناسب و عدم بروز گسیختگی ناشی از پدیده‌ی خزش و نسبت بالای مقاومت به وزن این محصول یکی از روش‌های کاربردی در تقویت سازه‌های بتن آرمه می‌باشد.

مقاوم سازی با ورق FRP از سایر روش‌های متداول سریع‌تر بوده و نیازمند تجهیزات کارگاهی زیادی نمی‌باشد. هم چنین در طی مقاوم سازی نیاز به توقف کاربری سازه نبوده و اعضای مقاوم سازی شده در مدت کوتاهی قابل سرویس دهی می‌باشند.

یکی از مشکلات اساسی استفاده از ورق‌های تقویتی FRP جدا شدگی زود هنگام کامپوزیت FRP پیش از استحصال حداکثر ظرفیت کششی آن می‌باشد. مهارهای خارجی در تقویت اعضای بتن آرمه با ورق‌های FRP، جهت به تأخیر انداختن یا حذف پدیده ی جدا شدگی به کار می‌روند. در بسیاری از تحقیقات از نبشی

- [8] Meisami, M.H., Mostofinejad, D. and Nakamura, H., 2015. Strengthening of flat slabs with FRP fan for punching shear. *Composite structures*, 119, pp.305-314.
- [9] Del Rey Castillo, E., Griffith, M. and Ingham, J., 2018. Seismic behavior of RC columns flexurally strengthened with FRP sheets and FRP anchors. *Composite Structures*, 203, pp.382-395.
- [10] Mostofinejad, D. and Mahmoudabadi, E., 2010. Grooving as alternative method of surface preparation to postpone debonding of FRP laminates in concrete beams. *Journal of Composites for Construction*, 14(6), pp.804-811.
- [11] Mostofinejad, D. and Shameli, M., 2011. Performance of EBROG method under multilayer FRP sheets for flexural strengthening of concrete beams. *Procedia Engineering*, 14, pp.3176-3182.
- [12] Salimian, M.S. and Mostofinejad, D., 2019. Experimental evaluation of CFRP-concrete bond behavior under high loading rates using particle image velocimetry method. *Journal of Composites for Construction*, 23(3), p.04019010.
- [13] Ghahsareh, F.M. and Mostofinejad, D., 2022. Effects of groove angle and pattern on cfrp-to-concrete bond behavior of ebrog joints: Comparison of diagonal with longitudinal and transverse grooves. *Construction and Building Materials*, 342, p.127980.
- [14] Mostofinejad, D., Mostafavizadeh, S.A. and Kashani, A.T., 2012. Grooving method to postpone debonding of FRP sheets used for shear strengthening. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 6(12), pp.1092-1096.
- [15] Mostofinejad, D., Hosseini, S.A. and Razavi, S.B., 2016. Influence of different bonding and wrapping techniques on performance of beams strengthened in shear using CFRP reinforcement. *Construction and Building Materials*, 116, pp.310-320.
- [16] Moshiri, N., Tajmir-Riahi, A., Mostofinejad, D., Czaderski, C. and Motavalli, M., 2019. Experimental and analytical study on CFRP strips-to-concrete bonded joints using EBROG method. *Composites Part B: Engineering*, 158, pp.437-447.
- [17] Mostofinejad, D. and Hajrasouliha, M.J., 2013. Effect of concrete strength and groove dimension on performance of grooving method to postpone debonding of FRP sheets in strengthened concrete beams. *Iranian Journal of Science & Technology*, 37, pp.219-32.
- [18] <http://www.sika.com.my>
- [19] <http://www.QuantomEPR3301.co.uk/>
- [20] ASTM D3039/D3039M, "Tensile properties of polymer matrix composite materials", 2000.
- [21] White, D.J., Take, W.A. and Bolton, M.D., 2003. Soil deformation measurement using particle image velocimetry (PIV) and photogrammetry. *Geotechnique*, 53(7), pp.619-631.
- [22] Hosseini, A., Mostofinejad, D. and Hajjalilue-Bonab, M., 2012. Displacement measurement of bending tests using digital image analysis method. *Int J Eng Technol*, 4(5), p.642.
- [1] س‌ل‌ه‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از م‌ه‌ار‌ه‌ای‌م‌ه‌ت‌ق‌ی‌م‌ در روش EBROG ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش ۴۲ درص‌د‌د‌یا‌ ب‌ه‌ ط‌ور‌ م‌ی‌انگ‌ی‌ن‌ن‌ب‌ت‌ب‌ه‌ ن‌م‌ون‌ه‌‌ای‌ش‌د‌ا‌ ه‌ت‌ج‌ب‌ه‌ ک‌رد‌ل‌ن‌د‌. در این‌ن‌م‌ون‌ه‌ م‌ل‌ن‌ی‌ب‌ت‌ س‌ط‌ح‌ ق‌ط‌ع‌ م‌ا‌و‌ ب‌ه‌ ر‌وق‌ ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌ ب‌ی‌ل‌ر ۲ د‌ر‌ن‌ظ‌ر‌گ‌ی‌ت‌ م‌ش‌د‌.
- [2] س‌ل‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از روش‌ش‌ی‌ارزنی امکان‌ح‌ذف‌ج‌دا‌ش‌گی‌زود‌ه‌نگ‌ام‌ر‌وق‌ ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌ ر‌ق‌ر‌اه‌م‌ می‌ک‌ند‌.
- [3] ۵) م‌ق‌ا‌وم‌ت‌ل‌ص‌د‌د‌ال‌ن‌م‌ون‌ه‌‌ای‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌د‌د‌م‌ب‌ا‌ت‌ک‌ن‌ی‌ک‌ EBROG ب‌ه‌ م‌ر‌اه‌م‌ه‌ ار‌ه‌ای‌م‌ه‌ت‌ق‌ی‌م‌ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش ۳۶درص‌د‌د‌ی‌را‌س‌ن‌ب‌ت‌ب‌ه‌ ن‌م‌ون‌ه‌‌ای‌ش‌ا‌ه‌د‌EBR ا‌ش‌ان‌ می‌ده‌د‌.
- [4] ۶) م‌ق‌اد‌ی‌ر‌ب‌ی‌ش‌د‌ت‌ر‌ی‌ن‌ل‌غ‌ز‌ش‌ب‌ق‌ن‌ش‌در‌ط‌ول‌ر‌وق‌ ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌، در‌ن‌م‌ون‌ه‌‌ای‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌د‌م‌ب‌ل‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از م‌ه‌ار‌ه‌ای‌ب‌ل‌ج‌زنی‌ب‌ت‌ب‌ه‌ ن‌م‌ون‌ه‌‌ای‌ش‌ا‌ه‌د‌ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌چ‌ش‌گ‌ی‌ری‌دار‌د‌.
- [5] ۷) د‌وت‌م‌ا‌م‌ن‌م‌ون‌ه‌‌اع‌م‌ق‌گ‌ی‌رای‌ی‌ ۵۰م‌ی‌لی‌ب‌ق‌رت‌ول‌ا‌ی‌ل‌ی‌ن‌ت‌ق‌ال‌ک‌ام‌ل‌ت‌ن‌ش‌ب‌ب‌ه‌ت‌را‌ه‌ل‌د‌ت‌ه‌و‌م‌ه‌ار‌د‌ل‌ج‌ب‌ی‌رون‌ک‌ی‌د‌ی‌د‌گی‌ش‌د‌ده‌س‌ل‌ت‌.

۱. م‌ض‌ع‌ار‌ض‌م‌ن‌ف‌د‌ع‌

ن‌وی‌س‌د‌ن‌د‌گان‌اع‌م‌می‌ک‌ند‌ک‌ه‌ه‌ی‌چ‌ن‌وع‌ت‌ار‌ض‌م‌ض‌ل‌ع‌ی‌و‌ج‌ود‌ن‌دار‌د‌.

۲. م‌راج‌ع‌

- [1] Neubauer, U. and Rostasy, F.S., 1997. Design aspects of concrete structures strengthened with externally bonded CFRP-plates. *International Conference on Structural Faults and Repair. Volume 2: concrete and composites*.
- [2] Del Rey Castillo, E., Griffith, M. and Ingham, J., 2019. Straight FRP anchors exhibiting fiber rupture failure mode. *Composite Structures*, 207, pp.612-624.
- [3] Ozbakkaloglu, T. and Saatcioglu, M., 2009. Tensile behavior of FRP anchors in concrete. *Journal of Composites for Construction*, 13(2), pp.82-92.
- [4] Llaurodl, P.V., Fernandez-Gomez, J. and Ramos, F.J.G., 2017. Influence of geometrical and installation parameters on performance of CFRP anchors. *Composite Structures*, 176, pp.105-116.
- [5] Del Rey Castillo, E., Griffith, M. and Ingham, J., 2018. Seismic behavior of RC columns flexurally strengthened with FRP sheets and FRP anchors. *Composite Structures*, 203, pp.382-395.
- [6] Del Rey Castillo, E. and Kanitkar, R., 2021. Effect of FRP spike anchor installation quality and concrete repair on the seismic behavior of FRP-strengthened RC columns. *Journal of Composites for Construction*, 25(1), p.04020085.
- [7] Kara, M.E. and Mustafa, Y.A.S.A., 2013. An Investigation of fan type anchorages applied to end of CFRP strips. *Steel and Composite Structures, An International Journal*, 15(6), pp.605-621.

Effect of Anchors on FRP-Concrete Bond Behavior in EBR and EBROG Joints

M. Garakyaragh¹, D. Mostofinejad²

1. MSc of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology (IUT)
2. Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology (IUT)

Received: 2023/02/19

Accepted: 2023/06/21

*dmostofi@cc.iut.ac.ir

Abstract:

Fiber-reinforced polymer (FRP) sheets are lightweight and offer high tensile strength and durability under harsh environmental conditions. For this reason, FRP sheets are used extensively for the strengthening of concrete structures. Concrete structures reinforced with FRP composites commonly experience debonding failure of the reinforcement sheet before the tensile capacity of the FRP sheet has been fully utilized. One method used to prevent the debonding of FRP sheets is the use of FRP anchors. FRP anchors are made by rolling the FRP sheet and impregnating it with epoxy resin as a matrix. One end of the FRP anchor then is placed into a hole drilled in the concrete and the other end is fanned out across the FRP composite. In this research the bond technique, method of fan application, length of fan part, the anchor cross-section to reinforcement sheet cross-section ratio, and converting the failure mode to FRP rupture for straight FRP anchors were investigated. The FRP anchors were examined by the externally-bonded reinforcement (EBR) method and the externally-bonded reinforcement on grooves (EBROG) technique. To strengthen the specimens, FRP with a net thickness of 0.131 mm (SikaWrap-230C), a bond length of 70 mm, and a width of 48 mm was used. In the EBROG technique, two grooves with widths of 10 mm, depths of 10 mm, and spaced 20-mm apart were cut on the concrete surface. The matrix phase of the composite was Quantum-EPR 3301 epoxy resin. FRP composites were prepared by the wet lay-up method. To determine the bond behavior of FRP anchors, 15 single-lap shear tests on T-shaped specimens were conducted. The results showed that, in EBR method an increase in the anchor cross-section had a positive effect on the bond strength, so an increase of about 58% in bond strength of the EBR-60-3 specimens was observed. The failure mode in EBR specimens was debonding. The load-slip curves of the EBR joints showed that in the first part, the load increases sharply and linearly up to the initiation of debonding; in the second part, slippage increased significantly and the slope of the curve decreased. The use of straight FRP anchors significantly increased the bond strength and the final slip values compared to the control specimens. In the EBROG method, anchors with a cross-section ratio of twice eliminated the debonding and the failure mode for this group was the rupture of the FRP sheet. The load-slip curves for the EBROG method ascended and did not exhibit the almost two-line behavior of the EBR specimens. The load-slip curves consisted of an ascending branch with an initial slope that was greater than at the end. The slippage of the EBROG specimens was significantly lower than for the EBR specimens. This small amount of slip versus the high bond strength reveals the high stiffness of the bond. A comparison of the EBR and EBROG methods shows that the EBROG eliminated debonding at lower FRP fan and bond length values. Also, the bond strength of the EBROG specimens with FRP anchors increased by 136% compared to the EBR specimens. In this research, an embedment depth of 50 mm transferred stress to the concrete without pulling out the fibers.

Keywords: Fiber Reinforced Polymers (FRP), Anchor, Debonding, Single-lap shear test.