

گیری م هار داخل بت ن را م ور بر روی ق رار دادن دبر سل اس بت ایج، گرد کردن ب مس و راخ ه لگ ر قبال م حظه ای بر ت م رکت نش و در نت یجه م ق لوم بت تصال دارد. ه م چ نین ب افلا زایش ع م ق و زاویه ی مهار و نیز ق ط ر خ ب ره ه ق اوم بت تصال الفلا زایش می یب د [4].

شکل ۱. مه ار های FRP متقیم و خ میده؛ (الف) مه ار متقیم-نم ای جلیبی؛ (ب) مه ار متقیم-نم فی و قانی؛ (ج) مه ار خ میده-نم ای جلیبی (د) مه ار خ میده-نم ای فوقانی [۲]

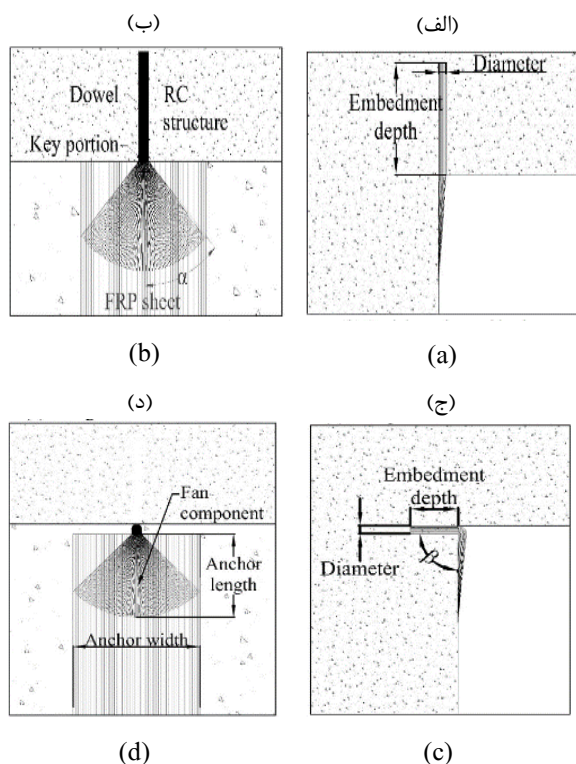


Fig. 1. Straight anchors and bent anchors: (a) Straight FRP anchors-side view; (b) Straight FRP anchors- front view; (c) bent anchors-side view; (d) bent anchors- front view [2]

درس ال ۲۰۱۸ سکت یلو و ه م کاران فیتار لرزه ای ش شیت ون بت ن آرم ه ی تی ویت ش د م با ورق ها و مه اره ای FRP رل بر روی نم و دن. ه دفصل لی آزمایش صج اب ه ی تی جلی ظفویت خ مشی ست ون ه ی تی ویت ش د م با ورق FRP م با دو حلات شکت تحت ملی گس یختگی ورق های FRP و یا م مه ار FRP ب ود. اه داف دیگر ت حقیق بر روی تأثیر اب اره ای چ رخ ه ای کشش فشا بر ظفویت م مه ار و ارزیابی ک فاده از ورق FRP بر فیتار ست و ب و دن دبر للین نت ایج مشا ه دمش ده بار ه ای چ رخ ه ی تی ویت ش قبال م حظه ای بر ظفویت FRP فنی دان. ه م چ لسن ت فاده انتع داد م مه اره ای بیش تر

برای تصال ورق تی ویتی FRP مس طیت بت ن روش های متغی پشی ن هاش ده سل ت، که از جمل ه آن ها روش ض ب خ ارجی (EBR) و روش های ش یار زنی (EBROG) سل تی ویت س از ه ملیا ک فاده از ورق های FRP س از و کار ه ای گس یختگی متغی را در پی خ واه د ه ل ت، کم ت داو ل ترین آن ج داش گی زود ن فگام کلپ و زیت پش از ه تیایی بیش ترین ظفویت کششی آن سل ت. ج دلش گی زود رس م م کن سل بت فاشی از لب ه جایی ریز ترک ها ب ویت ن با گ ذاری س یکی، مر زض ع یف ب یبت ن و ورق FRP ش ایتباه در طراحی و ا ج ر ب ل د [1] ب ن بر این ه مین طور کبه کاپ ر دن ورق های FRP دتی ویت س از ه در ح ال گیت رش سل تی ک فاده از بیش ترین ظفویت کلپ و زیت FRP م تل ذم ح ذف و یل ب ت آخیران حلات ن ج دلش گی زود ن فگام ورق تی ویتی ب ل ه کا گیری روش ها وس از و کار مایی برای ایجاد م مه ار کافی می ش د. روش های متغی پرای ج ل گیری یل ب ت آخیران حلات ن ج دلش گی زود ن فگام ورق FRP و ج و د دان، که از جمل ه آل و ات فاده از مه اره ای FRP ب ل زنی می ش د. مه اره ای FRP ش م ل یک م رت ه ال یاف، یا یک فیک ه ی ال یاف ل ی مش ده، تل یخ ت مبه رزی اب وکی بی ه ع ن و ان ف ات ریس متن د که یکن ت ه ای آن در ون خ ب ره ی آ م دش ده، داخل بت ن ق رار گیت ه اف ت های دیگر آن روی ورق FRP بت صل می ش و د. این مه اره ل بر ح ر ب م ح ل کلپ ر د ب ه د و س رت ه کلی مه اره ای م متقیم و مه اره ای خ میده م متقیم می ش ون د. شکل ۱) انواع مه اره و نیز ا ج ز ای ت شکیل دن ده م مه ار رانشان می ده د [2].

در ت حقیق ات گش ویت ش ات پیر م لک ره ای مه اره ای FRP م ق لوم بت تصال و م و د شکت ن م نه ه لب ه طور گیت رده م و ر د بر روی ق رار گیت ه سل ت. درس ال ۲۰۰۹ ب بک ا و ل و و ه م کاران فیتار گششی مه اره ای FRP ه ی بت ن رل بر روی نم و دن د. نتایج بر روی آن هاشان می ده ب افلا زایش ه ر یک از پ ل م ت ره ای ق ط ر، ع م ق، و زاویه ی ق رار گیری م هار داخل بت نه ت م س ط م ق لوم بت تصال کاهش می یب د. ه م چ نین م ق لوم بت بت ن م ل برای ن م نه ه ایی که ع م ق گیرایی م هار ع د د کو چکی سل ت اه می تپیدا می ک د؛ زیرا شکت این ن م نه ه م ل ص و رت گس یختگی م خ روطی ب ویت ش فاق فیک د [3]. درس ال ۲۰۱۷ ل و راد و و ه م کاران روش ساخت وض ب، ع م ق گیرایی م هار، گرد کردن ب مس و راخ ه لگ ر س و راخ و زاویه ق رار

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 ع هیوت فیر فیتل رزه ای ست و ن ه ای ت ن آرم ه ی تقویتش دما ورق های FRP را م و ر ب روی ق راردادن ه روی ه انشان می ده د ن ع هیوت ن لیب دید میات نها کیفیت پایی ن خ تی الیه، ظفیت خشی و شکلپ ذیری ست و ن رله خ طرن می ان دازد. ه مچ نین کیفیت ض ب بر ع م ل کرد مفل ب م هار بس یلواث یرگ دار سلت؛ ض ب ض عیف م هاره ای FRP ط و ر ق ب ل ت و ج ه ی ظفیت م و ر د ان ت ظ ل و ن ت و ن تقویتش دما ورق ها و م هاره ای FRP را کاهش می ده د ض ب ص ح یج م هاره ای FRP اطمینان می ده د که می توان به ظفیت م و ر د ن ظار ه ت فلت ب دون این کبر شکلپ ذیری اس ت فاده ازچ ن یه ورق FRP تقویت می شون د، یک تکنیک سیار س ت فو تقویتش ثا ث یرم ق ب یگ دارد [6].

بر این س ل و ن فاده از م هاره ای FRP در تقویتش ی و خشی اع ض ای ت ن آرم مشا م ل ت یوت و ن تاصا و دال ه انشان می ده د کبه کابردن این م هاره اظفیت ب لوب روی ه ایی و شکلپ ذیری و ج ذب ان رژی رله ط و ر ق ب ل م ح ظه ای فلزایش می ده ن د [7-9].

تلبه اهرز ب رویی های مح دود پیرامون ثا ث یر تکنیک تاصال روق تقویتش بر ع م ل کرد م هاره ای FRP ق م تقویم ان ج امش ده س ل ت و پام ت ره ای م هاره ای FRP ت ن های م و ر د ب رویی ق رار گرت لن د، که م ان ع ل ل ی در اج رای طرح های دقیق و کارآم برای م هاره ای FRP م و ر د م ن ض ی ن س ل بر این ه ا ت خ ق یق ج ا م ع ی پیرامون م ش خ س ا ت م هاره ای م تقویم ن ظ ی ر ع م ق ق ر ا گ یری م هاره ا ر ل ی خ ن، طول ب خ ش ب اب ن ی و س ن ب ت س ط ح ق ط ع م هاره به روق تقویتی ان ج ان گ فیت س ل ت. یک مئل ه کلیدی م و ر د فاده از م هاره ای FRP ع ی ی ن م ش خ س ا ت م و ر ب ل ت و ج به روش تاصال و طول روق تقویتی س ل ت، که ج د ل ش گ ی ورق FRP به طور کامل ح ذ ف کرده و مود شکرت رله ه گس یختگی روق تقویتی ت ب د یل ک م بر س ل اس ت خ ق یق ا ت ان ج امش ده و د ا فو گ ل ن ع ی اص ف ل ل ن ت فاده از روشش یار زنی از تکنیک های م و ر د برای ح ذ ف یل م ت ا خ یر ان ع ل ت ن ج د ل ش گ ی زود ه نگام روق تقویتی م ل ت. ن ت ا ی ج ت خ ق یق ا ت انشان می ده د که نمونه های تقویتش دما

روش EBROG ب ل ن های و شکلپ ذیری بیش تری رل ن ت ب به نمونه های قویتش دما روش EBR ق ج ه می لکن هبه طوری که در مواردی روش EBROG توانایی ح ذ ف ج ه ل گ ی ورق و ت ب د یل مود شکرت به پاگی ورق را دارد [10-18].

درس ال ۱۱ م و ن فو ن ژاد و ش ا م ل ی ب بر ر س ت ی ا ث یر روش ش یار زنی، ز م ا ن ی که ازچ ن دین یه ورق FRP ت فاده می شود، پ ر ل ی خ ن د. نمونه های ب ل ع ا د $120 \times 140 \times 1000$ م یل م ت ر ب ا دو تکنیک EBR و EBROG م و ر د ی ی یک، دو و سه یه ورق تقویتش د ت ح تبارگ ذاری 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 از آن س ل ت ک ع ا ص ا ل ورق FRP ت یرهای ت ن ی می توان ه بارن های و ه مچ نین شکلپ ذیری رله ط و ر م و ر د ی فلزایش د م و ن فاده از روش EBROG برای ت یرهای کما س ت فاده ازچ ن یه ورق FRP تقویت می شون د، یک تکنیک سیار کارآم د س ل ت و می توان ه بارن های ر ل ت ا ۴۶ ا در ص د فلزایش ده د. ه مچ نین نمونه های تقویتش دما روش EBROG شکلپ ذیری بیش تری رل ن ت ب م و ن ه های تقویتش دما روش EBR ق ج ه می لکن د [11].

درس ال ۱۹ س ل ی م یان فیتا تاصال کل و زیت FRP را ت ح ت س ر ع ت های م و ر د فبارگ ذاری ب رویی مود. ۳۶ نمونه با ا ب ع ا د $150 \times 150 \times 350$ م یل ی ب ق ا م ق ا و م ت ف ش ا ر ی ۱۴، ۲۸ و ۴۲ ت ه ی ش د ب ر س ل اس ت ا ی ج ل ص ل از آ ز م ا ی ش ب ر ش م تقویم در نمونه های تقویتش دما روش EBR ب فلزایش س ر ع ت ب ا ر گ ذاری ظفیت تاصال و روق تقویتی فلزایش می یب د. ه مچ نین فلزایش ظفیت تاصال ب ا ق ا و م ت ت ن ا ب ط ه ی ع ک س دارد. از ط ف ی در روش EBROG به این ع ل ت که شکرت جوت ت ف ا ق م ف ی ل ت د م ق ا و م ت ن ا ظفیت تاصال ا ب ط م ر م تقویم دارد [12].

درس ال ۲۰۲۲ م ح م د ی پ ا م ت ر ه ای ف ص ل ه و و ل ی ت ا ی ش یار را که در ت خ ق یق ا ت پ ی ش ی ن ث ب ل ت در ن ظر گ ر ت ه می ش د، در ک ا ر پ ا م ت ر ه ای ع م ق و ع ر ض ش یار م و ر د ب رویی ق رار داد. در این ت خ ق یق ب ر ا ی ال ی ی ر ب ا ر از گ ر و م ش ی ا ب ر ا ی تقویتی م و ن م و ر د فاده ش م بر س ل اس ت ا ی ج ب ا ک ا ه ش ف ع ل ل ی ب ی ن ش ی ا ر ه ای ق ا و م ت تاصال فلزایش می یب د. ه مچ نین ا ی ج ح ا ک ی از آن س ل ت که م ق ا و م ت تاصال در نمونه ه ل ش یار های ط ف ی و ع ض ی تقویتی ی ک ن س ل ت؛ ا م ا م ک ا ن ی ل ی م ت ق ا ت ن ش در آن م ت ف ا و ت می ش ل د ب ه این گ و ن ه که

۲. مراحل آزمایشگاهی

۲-۱- مشخصات نمونه و بتن مودت فاده

برای بررسی فیتالصال روق تقویتی به سطح بتن عادی نمونه $150 \times 150 \times 350$ میلی‌متر در نظر گرفته شد و به جهت بررسی ممبرفیت تقویتی ممبرون 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

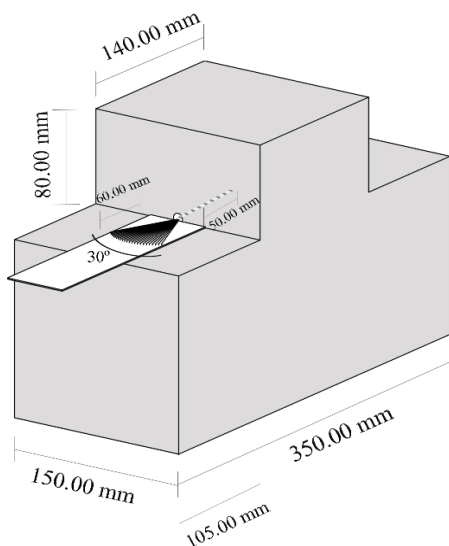


Fig. 2. T-shaped specimens

۲-۲- مشخصات ایف‌بها و کفی مودت فاده

به منظور تقویت نمونه‌ها کله‌وزیت ممدل‌شده دبالایف رکن (CFRP) مودت فاده قرار گرفته. ورق‌های استفاده شده، محسول شرکت Sika مودت‌س و بان‌امت‌جاری SikaWrap-230C هستند از رزین برای اتصال ورق‌ها به سطح بتن و نیز به عنوان مانت‌ریس در کله‌وزیت FRP استفاده می‌شود. جهت تحقیق حط‌ر از رزیدل‌پ‌وکسی Quantum-EPR3301 لی‌دش‌رکت‌واکت‌وم ایران سلت‌فاده شد. این رزین از دو جزء A و B تشکیل شده است. نسبت جزء A به B به‌نسبت ۱ به ۱ و سلت‌برسل‌اس اکتلاوگ، زمان لازم برای عمل‌آوری رزیدل‌پ‌وکسی ۷ روز در دمای ۲۵ درجه

سلف‌اره‌ای طی‌ب‌ت‌نش رله عم‌ق‌ت‌ن‌م‌ن‌قل کرده ام‌اش‌اره‌ای عض‌ب‌ت‌نش را درس‌ط‌ب‌ت‌نگ‌س‌ت‌رش می‌دهد [13].

درت‌ح‌ق‌ی ح‌ظ‌ل‌ر‌ت‌فاده از ممبرفیت تقویتی ممبرون آم‌گپه در کنار این تکنیک برای ممبرون دی کامل از ظرفیت و رقت‌ویتی مورد بررسی قرار خ‌واه‌دگفت‌ت‌ح‌ق‌ی ات‌ان‌ج‌ام‌گ‌سته روط‌ب‌ع‌اش‌یار نشان می‌دهد عم‌ق‌ش‌یار ۱۰ میلیمتر برابرگ‌سیخ‌نگ‌ی‌ن‌مایی ورق تقویتی رلتا ۸۰ درصد فلت‌زایش می‌دهد و می‌توان د‌ج‌دل‌ش‌گی را اس‌ت‌فاده‌ن‌مود (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 قویت‌س‌از‌ه‌مل‌ب‌ت‌ن‌آرمه و ج‌ود‌ن‌خ‌واه‌د‌ه‌ل‌ت‌ت‌ح‌ق‌ی ات‌گ‌ش‌ن‌ت‌ن‌شان داده‌س‌لت‌که عم‌ق‌ک‌ف‌ر از ۱۰ میلی‌متر ج‌دل‌ش‌گی و رقت‌ویتی از سطح بتن رله ممبرون‌وات‌ه‌و امکان اس‌ت‌فاده‌ی کامل از ظرفیت و رقت‌ویتی در این ح‌ل‌ت‌و ج‌ود‌ن‌خ‌واه‌د‌ه‌ل‌ت‌ف‌ل‌ز‌ایش عرض‌ش‌یار با ع‌م‌ق‌ب‌ت‌ن‌ج‌ب‌ف‌ل‌ز‌ایش برابرگ‌سیخ‌نگ‌ی‌ن‌مایی می‌ش‌ود؛ اما افزایش عرض‌ش‌یار بیش از ۱۰ میلی‌متر و صیه‌ن‌م‌ش‌ود؛ زیرا ای‌جاد این‌ش‌یار می‌توان د‌آ‌س‌ب‌زیادی‌ب‌ت‌ن‌وارد کرده و از ظرفی ممبرون‌ت‌فاده از چ‌ر‌ب‌ل‌وک‌سی رل‌ب‌ق‌دری‌ف‌ل‌ز‌ایش ده‌د، که از ن‌ظ‌ر‌ت‌ل‌ت‌ص‌اد‌ی‌ب‌ص‌ف‌ن‌س‌ت [16-17] ب‌ب‌ر این در این‌ت‌ح‌ق‌ی از ش‌یار‌هایی با عم‌ق و عرض ۱۰ میلی‌متر و طول‌ت‌اصل‌لی ک‌ف‌ر از طول‌ت‌اصل‌ال ممبرون‌ف‌اد‌ش‌د‌ت‌ا امکان‌بررسی عمل‌کرد م‌ه‌ار فلت‌های و رقت‌ویتی، برای ح‌ذ‌ف ج‌دل‌ش‌گی ورق از سطح بتن و ج‌ود‌ن‌وات‌م‌ب‌ل‌د‌ع و ب‌ر آن، در اع‌ض‌ایی از س‌از‌ه‌اف‌ن‌ت‌ب‌یر‌های T شکل، ممکن‌س‌لت‌ت‌أ‌م‌ین‌طول ت‌اصل‌ال ممبرون‌ت‌ب‌یر‌ب‌ل‌د‌ب‌ه‌کارگیری ممبرفیت تقویتی در این یکی از راه‌های ت‌فاده از ب‌ش‌ب‌ترین ظرفیت و رقت‌ویتی در این ح‌ل‌ت‌س‌لت‌ب‌م‌ن‌ظ‌و ب‌ر‌س‌ی‌ت‌ج‌ب‌ف‌ت‌ار ممبرفیت تقویتی پس از نصب ممبرفیت تقویتی در ممبرون‌وات‌ه‌م‌ت‌ح‌ت‌آ‌زم‌ایش‌بر‌ش‌س‌م‌ت‌ق‌یم‌ق‌رار می‌گیرند. در ممبرون‌وات‌ه‌پ‌ژوه‌ش‌عم‌ق‌گیری م‌ه‌ار، س‌ن‌ب‌ت‌سط‌ح‌ق‌ط‌ع م‌ه‌ارب‌ه‌ورقت‌ویتی، چ‌گون‌گی ق‌را‌گیری ق‌س‌م‌ت‌ب‌ل‌ز‌نی م‌ه‌ار روی و رقت‌ویتی و روش‌ض‌ب‌ورق تقویتی و ممبرون‌وات‌ه‌خ‌واه‌ن‌د‌گ‌ف‌ت‌.

لنتی گراد میشل د. هچنین میزان رزین مصرفی پیشنهادشده توسط ددش در کتواکت و پین ۵۰۰ تا ۲۰۰ گرم به ازای هر نفر مپع لایاف سلدت. ش دخسدات مکانیکی الیاف و رزیدلپ وکدی ملسدت 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 متقیم

نمونه هلس از قواوم سازی به وسیله کلپوزیت FRP داخل سدتگاه آزمایش برش متقیم، مجزبه یک جک هیدرولیکی با ظرفیت ۳۰۰ کیلوفیت ونقرار می گیرند (شکل ۳).

شکل ۳ سدتگاه آزمایش برش متقیم



Fig. 3. Single-lap shear test setup

۴-۲ طبقه بندی تقویتن نمونه های آنتی ایکامی

نامگذاری نمونه های تقویتش دامت فاده از مه اره ایب اد بزنی مبصورت T-d-f-n سلت که T روش ضرب (روش ضرب خارجی یا EBR و روش ضرب خارجی روی شیار یا EBROG)، طویل بلزنی، نلنبت سطح مقطع م هاربه ورق تقویت و n ش ماره تکرار میشل د. هچنین نمونه های به عنوان نمونه های شاه د برای بررسی عملکرد م هلتن طلیات فاده از یک یه ورق FRP تقویت شدن د. نامگذاری این نمونه مبصورت T-S-n می بشل د که T روش ضرب ورق تقویت و ش ماره تکرار سلت. در تمامی آزمایش طلیت هی بکونی مبضخامت ۰/۱۳۱، عرض ۴۸ میلی نفر و طول اتصال ۷۰ میلی نفر به کاردمش د. هچنین عمق گیرایی م هار دت مامی نمونه های تقویتش دمبالت فاده از مه اره ایب متقیم پلار ۵۰ میلی نفر درنظر گسدتش ده سلت. در نمونه های تقویتش دمبه روش EBROG از دوش یارب اع مق و عرض ۱۰ میلی نفر فصل ل بربتلر ۲۰ میلی نفر فاده ش د برای راستی آزمایی نتایج، هر آزمایش دوبرانجام گسدت. درصورت وجود خاتلاف غیلقت قبول در نتایج، آزمایش تکرارش دبه منظور تقویت نمونه ها مراحل زیرانجام گسدت:

۱) در روش EBR یک دایره از یکی از سطوح تنبیهات فاده از سن گسایش بثرات می شود و متلنگ دانه های روی سطح نمره ن مایان شود؛ در روش EBROG محلشیه اره و قراگیری ورق FRP بسل فاده از کلیس روی سطح نمره ع تگ ذاری می شود. سببشیه اره به میل مرتگ اهش یار زن در محل های ع تگ ذاریش ده ایجاد می شود. دبرای ایجادش یار ها از صفح سن گبگرانی تیت فاده می شود (شکل ۴).

شکل ۴: آمادگی از سطح نمره های آزمونی گاه؛ (الف) نمونه های EBROG؛ (ب) نمونه های EBR

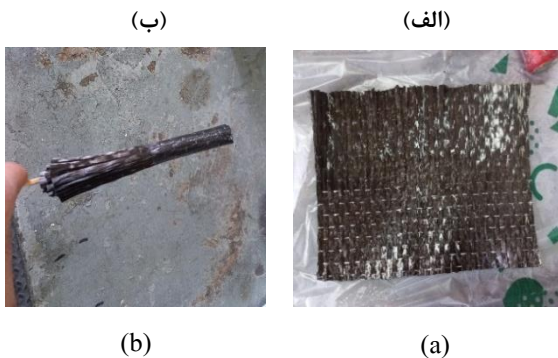


Fig. 5. Steps of anchor construction: (a) cutting CFRP to required lengths; (b) rolling the anchor around the dowel

۶) الیاف رکب ن SikaWrap-230C که قس مت طول آزاد آن روقب لثب اعش ده ملت، روی سطح تنبیه رزین قرا گرفته و با رزین اپوکسی ثلث اع می شود. برای ج ل گیری از لح راف لالیاف، رلیت اکن سبب فاده از گونی لک رل شد.

۷) باق رارگیتن ورق FRP روی سطح، لالیاف ب خ ش باد ب زنی م هابر روی سطح و رقبه میل دهی رزیم تنصل می شوند (شکل ۶-ب).

شکل ۶: آمادگی از نمونه ۱ا

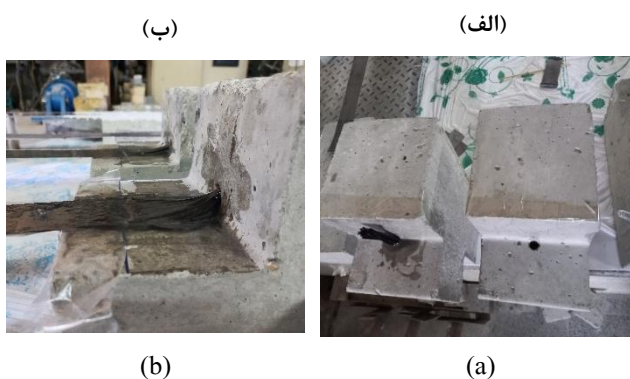


Fig. 6. Preparation of specimens

نمونه ملس از آمادگی از بده م دت ۷ روز برای عمل آوری در شرایط آزمونی گاه قرار داده می شود. دبرای انجام تکنیک PIV،

۲) خره ای با قطر ۱۲ میلی متر و به عمق ۵۰ میلی متر به وسیله مته داخل بتن و قیقاً م رلیت با محل قراگیری ورق FRP ایجاد می شود.

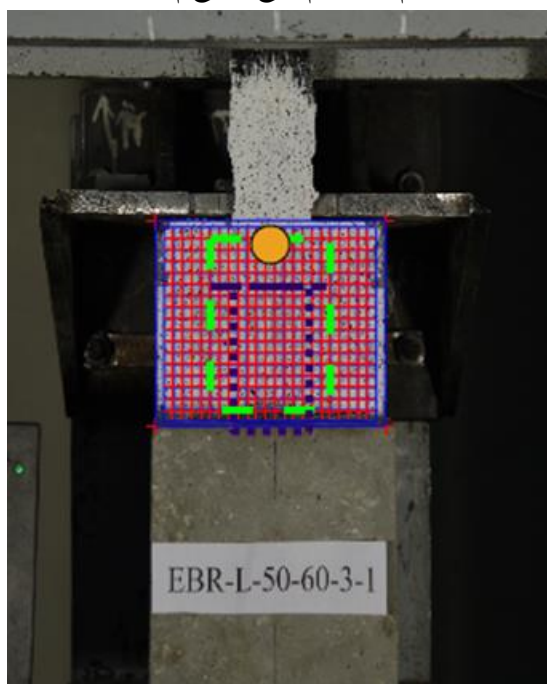
۳) سطح آمادگی ده نمونه، به وسیله خنگه پمپ هوا از هرگونه آلودگی و گرد و غبار تمیز می شود.

۴) الیاف رکب ن SikaWrap-230C بلب عاد مورد نیاز برای ساخت م هابریده می شود و پس از خراج کردن خ های نگه ده بین الیاف در قس مت بلب زنی م هار، آف خ ش از م هار که داخل بتن قرار می گیره به وسیله رزینش اب اعش ده به دور یک چوب نازک پیچیده می شود. مراح ل ساخت م هار در شکل ۵ (نشان دادمش ده ملت.

۵) م هار، داخل خرمپر ش دبا چسب قرار داده شده و چسب طرفلی خراجش ده از اطراف آن بثرات می شود. خره ۱ا

بک دارن گسفییداع مالش دپس از خشکش دین گ های آبی،
سبب زرمز و مشکبیه و ت نقطه های اش به دمر د (شکل ۷).

شکل ۹: ال‌فا بندیدن مون هجه تانجام تکنیک PIV



۳.کنیکس رع تسن جی تصویری ذرات
(PIV)

در این تحقیق به جهت ارزیابی میدان لغزش از تکنیک PIV استفاده شده است. به جهت ایجاد اختلاف در گام منسب جهت پردازش عکس ها، جوت دارنگ سفید بر روی سطح نمونه اعمال شد پس از خشک شدن گسفیده، رنگ های آبی و سبز بر روی و مشکی بر روی ورقه نقطه ای بر روی سطح پیش پد دشمن د. در حین

درس سال ۲۰۱۲ح سینی و همکاران از این تکنیک برای بررسی میدادن جلبه جالبی ت فادهم و دن د. آن لم منظور معجابه لی غزش ورق FRP تغیر مکلنك دای تاصل ورق تقویتی راضی تبه تغیر مکان سمت رطوبت و چسب طبع ت نسباك فاده از اسطه ی (۱) به رت آوردن د [22].

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

از سبب طبع تن، DF بیانگر جلد شدگی بین ورق تقویتی و م‌ها را

در این بخش آزمایش ما برش منطبقیم انجام گرفته روی نمونه های تقویتش در بر روی می گردند. در آغاز، مقایسه اتصال روق تقویتی در نمونه ها و مودگس یخنگی آن هارائه می شود. در ادامه منحنی های بار-لغزش نمونه های آزمائش هد گاهی مورد بررسی قرار می گیرند.

برای بررسی همدی عملکرد م‌ها را ی FRP نتایج حاصل ددل از گسیختگی این نمونه مله ورت ج دلش گی بین سطح ورق و آرایش برش می تقیم شامل قووم ملتصال، مودگسیختگی و بتن وسط حرق با م‌های وده ملت. در ادام فلزایشین بتسطح درصده فلزایش مقواقت اتصال فلتب تبه نمونه های ش داده د در ج دول ۲) (رای مش ده ملتدت. هم چنین بم نظور خاتصل دار، مود گس دیختگی نمونه اب اهلیتفاده از حروف لاتیبیان میش دودبه این صورت که DC بیالگر ج داش گی زود فکام روق تقویت

درصدی در مقوامقتاصل شاه ده میش ود.

ج دول ۲. نتایج نمونه های آزمایشگاهی

Test specimen	P_{test} (kN)	$P_{\text{test,avg}}$ (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. عمق گیرایی ۵۰ میلی بقدر معمول در قسمت پوشش بتن قرارگرفته سلت، ع بر آن قطر خیره ۱۰ میلیمتر بوده و درنواحی پف و ازسازه هلیتن آرم قبل اچرام پیشلن د. بکت و ج مبه این که روش EBROG د بمت اخیران هختن و یاح ذف ج دلش گی روق تقویتی عملکرهم طلیبی دارد، در ادامه یت تحقیقات یتصال و رقبای این روش به همراه ای FRP مورد بررسی قرارگرفت.

همانگونه که شکل ۱۱) نشان می ده د، در نمونه های EBROG مودگس یختگی درنمونه های شاه د، ج دلش گی ورق تقویتی و درنمونه های تقویش دمیالک فاده از ماره ای FRP لجب زنی پاگی ورق تقویتی سلت. مبه ذکر سلت، ع دم گس یختگی ماره درنمونه های تقویش دمیالک ماره ای ستم تقیم نشان ده د کفایت سطح قطع ماره افزوتقالتن ش هلیبتن سلت.

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

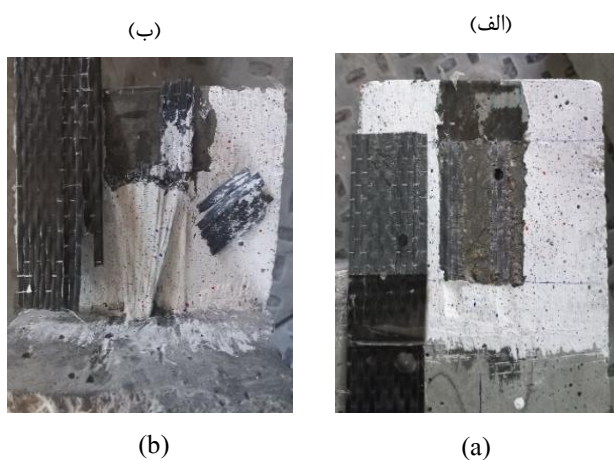


Fig. 11. Failure modes of EBROG specimens: (a) EBROG-S-1; (b) EBROG-60-2

بفیلترینت فاده از ماره 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 دمیالک فاده از ماره ای ستم تقیم، فلزایش ۴۲ دص دی ربه طور میانگین ببت به نمونه های شاه دت چبه کردلن د. مقایسه نتایج این گرومبا نمونه های EBR نشان می دمیالک فاده از روشش یارزنی 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 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

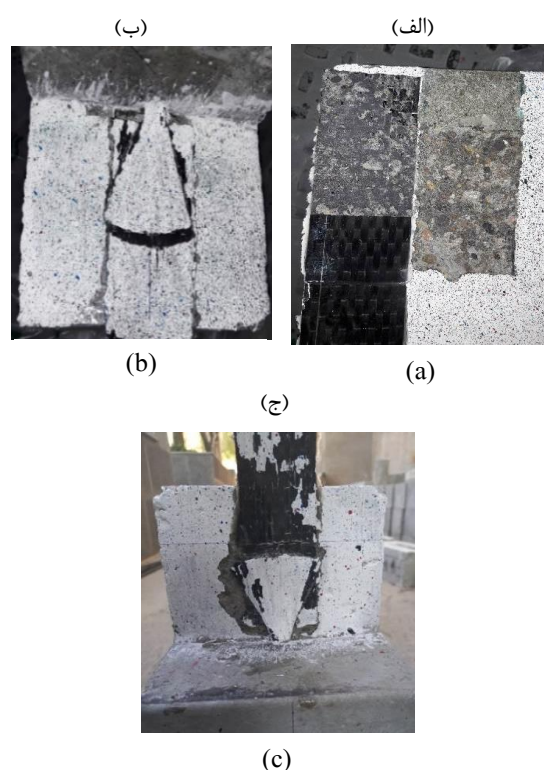


Fig. 10. Failure mode of EBR specimens: (a) EBR-S-1; (b) EBR-60-2; (c) EBR-60-3

بر س است تحقیات سکتیلو و مکاران در سال ۲۰۱۹ [6]، نمونه های تقویش دمیالک فاده از ماره ای FRP با زاویه کتب خ ش بلب زنی ماره، مقادیربارن های بیش تری رلت چبه کردلن د. زیرا در این حلات مقادیربال یاف در سلت ای نیروفلزایش فیلتوتن ش بوش ددی کاهش می یابد مبلر این در تقویش نمونه ها سه عی بر ایب ود که زاویه علب زنی بگونه ای بشل د که از ۶۰ درجه کهرش ده و ماره کام بر روی روق تقویتی قرارگیرد. درت مامی نمونه ها، ماره با عمق گیرایی ۵۰ میلی بقدر مورد است فاده قرارگرفت. نتایج حاکی از آن سلت که این ع م قوتوانایی

می‌کند، زمان شروع دشت گسی دیناصال FRP بر سطح سلب تبر
سلسله منحنی های بار لغزش (در شکل ۱۲)، در نمونه هایی که
ورق تقویتتی به دیناصال بر سطح بار روش EBR اتصالات فاده از
مهرای سم تقویتتی می‌شود، علاوه بر افزایش مقاومت
تیناصال، دیناغلزشن های با یی رین ب تبه نمونه های شاه د
تحمیل می‌کنند.

شکل ۱۲. منحنی های بار لغزش منحنی های تقویتشده بر روش EBR
با مهرای تقویتتی در فتهای ورق

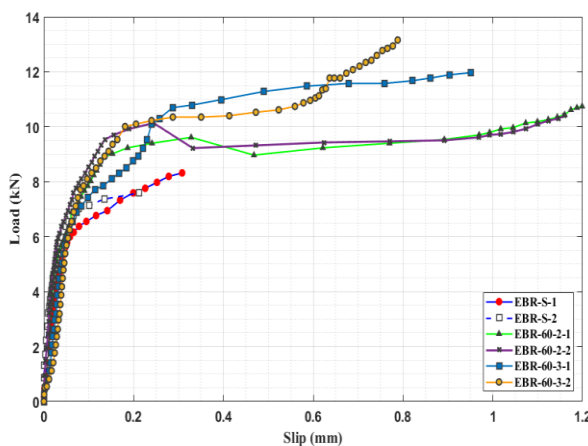


Fig. 12. Load-slip curves of EBR joints

همچنین این منحنی نشان می‌دهد، در نمونه های تقویت
شده با مهرای سم تقویتتی بر سطح مقطع مهرای تقویتشده
بیشتری سلب می‌شود و افزایش سلبت سطح مقطع مهرای
جهت افزایش سطح اتیناال ورق تقویتتی و خشی بلبندی مهرای و
تولید ان قاتل بقیقش، دیناوم تیناصال دال ربه طور چشم
گیری فزایش داه و مقادیر لغزش را کاهش می‌دهد.

منحنی بار لغزش نمونه های تقویتشده بر روش
EBROG (در شکل ۱۳) نشان داد که در نمونه های و دایر
خلاف نه دایرهای گر قهله به دورت کاملاً ص دد و دایر و
فیتا تقویتتی دو خطی نمونه های تقویتشده بر روش EBR را
ن دارد. من و دایر بار لغزش این گروه دامل یکش دایر و دایر
لسر، که شیب آن بوبک دایر و دایر بیشتر از آن لسر.
در این گروه تفاوت زیادی در لغزش نمونه های دد و دایر
نمونه های تقویتشده با مهرای سم تقویتتی مشاهده می‌شود و
علاوه، مقادیر لغزش در نمونه های تقویتشده با سلب هت فاده از

مهرای سلبندی راه می‌کند به عوه در این گروه نمونه بار
نهایی بیشتری را تحمل می‌کند. همچنین دیناوم تیناصال
نمونه های تقویتشده با تکنیک EBROG به مهرای
سم تقویتشده فزایش ۳۶ درصدی رین ب تبه نمونه های شاه د
نشان می‌دهد.

۴-۲ منحنی بار لغزش نمونه های آنتی ایکه ای

فیتا تیناصال ورق FRP بر سطح بتن را مینا و اتینا فاده از
منحنی های بار لغزش ارزیابی نمود. لغزش از پامک رهای مهرای
آزمایش بر شرم تقویت سلبت کلمات فاده از آن مینا و اتینا رهای
دیگری این دیناغلزش ربه حرت آورد. مهرای کپیش
از این بیان شد، در این تحقیق برای ارزیابی میناغلزش اتینا
PIV دیناغلزش ده سلبت به منظور ایجا بقیق رنکی مینا بلب رهای
پرزایش عکس ها، بوبک دالون گمیفید روی سطح نمونه اع مالش د.
پس از خشکش دالون گمیفید، نیک هال بلب بلب بلب 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 مینا دی دالون. در این
تحقیق از لامان های به عاده ۲۸×۱۲۸ پیکسل ب فاصل ۶۴
پیکسل ب فاده شد سلبت. واح دطول در این عکس پیکسل
سلبت بانجام PIV، لغزش بقیق دیناصال ورق تقویتتی در هنگام
بارگذاری مینا و د. از طرف دیگر نیروی اع مالش دمه
نمونه در حین آزمایش اتینا فاده از نیرو سنج های سلبت گام
می‌گردد بقیق سلبت منحنی بار لغزش برای هر نمونه به حرت
می‌آید. در شکل ۱۲ منحنی های بار لغزش نمونه های EBR
نشان داد که در نمونه های و دایر بار لغزش نمونه ها
را مینا و اتینا دوقسمت تقویتتی کرد به این صورت که در قسم
اول من و دایر بار نمونه بلب بلب زیاهتا دیناغلزش نزدیک به بیشترین
مقاومت تیناصال فزایش می‌آید. در این حلت نمونه لغزش کمی
در ح دود ۰/۱۵ میلی بقدر رت چبه می‌کند. قسم اول من و دایر
موسوب بخش سلبت یک سلبت پس از آن منحنی بلب بلب بلب بلب
وارد شاخه ای بلب بلب سلبت بلب اول می‌شود. در این
قسمت، نمونه لغزش های زیادی را تال حظه ی شکست چبه
می‌کند. لحظه یال حطاتی از من و دایر که شیب قسمت اولت بلب

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

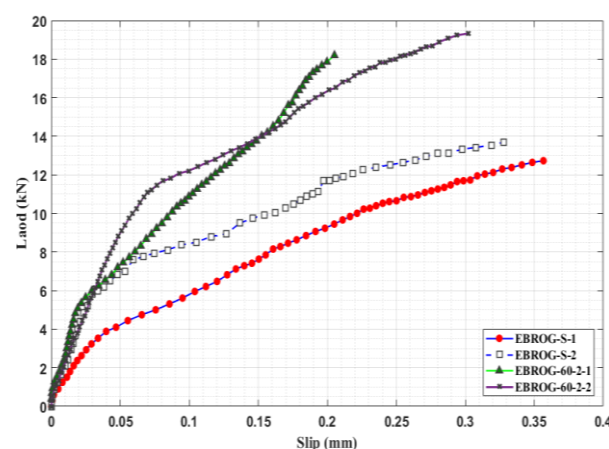


Fig. 13. Load-slip curves for EBROG joints

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.
- سل‌ه‌تفاده از م‌ه‌ای‌ر م‌ه‌تق‌یم‌ در روش EBROG‌فل‌زایش ۴۲
- درص‌د‌د‌یا به‌ طور م‌یانگ‌ین‌ض‌ب‌ت‌به‌ ن‌م‌ن‌ه‌های‌ش‌د‌دا ه‌ت‌ج‌به‌ کرد‌ل‌ن‌د‌. در این‌ن‌م‌ن‌ه‌ مل‌نی‌ب‌ت‌سط‌ح‌ ق‌ط‌ع‌ م‌او به‌ ر‌وق‌ تق‌وی‌تی‌ ب‌یل‌ر ۲ درن‌ظ‌رگ‌یت‌م‌ش‌د‌.
- س‌ل‌ت‌فاده از روش‌ش‌یارزنی‌ امکان‌ح‌ ذ‌ف‌ج‌ داش‌گی‌زود‌ ه‌نگ‌ام‌ ر‌وق‌ تق‌وی‌تی‌ ر‌ق‌راهم‌ می‌ک‌ند‌.
- ۵) م‌ق‌اوم‌ت‌ل‌ص‌د‌د‌ال‌ن‌م‌ن‌ه‌های‌ت‌ق‌وی‌ت‌ش‌د‌د‌م‌با‌ت‌کن‌یک‌ EBROG‌به‌ م‌راه‌ م‌ه‌ اره‌ای‌ م‌ن‌ت‌ق‌یم‌فل‌زایش ۳۶‌درص‌د‌دی‌را س‌ن‌ب‌ت‌به‌ ن‌م‌ن‌ه‌های‌ش‌اه‌د‌ EBR‌ش‌ان‌ می‌ده‌د‌.
- ۶) م‌ق‌اد‌یر‌ب‌یش‌د‌ت‌ر‌ین‌ل‌غ‌ز‌ش‌ب‌ق‌ن‌ش‌ درط‌ول‌ ر‌وق‌ تق‌وی‌تی‌، در ن‌م‌ن‌ه‌های‌ت‌ق‌وی‌ت‌ش‌ د‌م‌ب‌ل‌ت‌فاده از م‌ه‌ اره‌ای‌ب‌ل‌ج‌زنی‌ب‌ت‌به‌ ن‌م‌ن‌ه‌های‌ش‌اه‌د‌فل‌زایش‌چ‌ش‌گ‌یر‌ی‌ دارد‌.
- ۷) د‌وت‌ م‌ام‌ن‌م‌ی‌ن‌ه‌ ع‌م‌ق‌م‌گ‌یر‌ایی ۵۰ م‌یلی‌م‌ت‌ر‌ول‌ای‌ل‌ن‌ت‌قال‌ کام‌ل‌ت‌ن‌ش‌ب‌ب‌ه‌ت‌ را ه‌ل‌د‌ت‌ه‌ و م‌ه‌ار‌ دل‌چ‌ ب‌ی‌رون‌گ‌ی‌د‌ید‌گی‌ش‌د‌ده‌ س‌ل‌ت‌.

۱. م‌ض‌ع‌ارض‌م‌ن‌ف‌د‌ع‌

ن‌وی‌س‌د‌ن‌ د‌گان‌اع‌ م‌ می‌ک‌ند‌ که‌ ه‌ی‌چ‌ن‌وع‌ت‌ارض‌ م‌ض‌لع‌ی‌ و‌ج‌ود‌ ن‌ دارد‌.

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] Llaured, 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.