

تأثیر مهار بر رفتار اتصال FRP به بتن در روش‌های EBR و EBROG

مهرداد گرک‌پراق^۱، داود مستوفی‌نژاد^۲

۱- دانش‌آموخته کتونی‌شناسی ایش‌د، مهندس عمران دانشگاه گلستان اصفهان
۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه گلستان اصفهان

mehrdad.garakyaragh@cv.iut.ac.ir
dmostofi@cc.iut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۳۰

چکیده

استفاده از لپلیمپس‌ل‌ش‌ده‌بال‌یاف (FRP) جهت ویت‌س‌از‌ه‌های‌بتنی‌س‌از‌و‌کار‌های‌س‌یختگی‌مهندسی‌را‌دی‌بی‌خواه‌دلش‌ت، که‌م‌دولت‌رین‌آن‌ج‌هل‌دگی‌زودن‌گ‌ام‌کامپوزیت‌FRP‌پیش‌از‌دستیابی‌به‌بیت‌کششی‌آن‌می‌تواند‌دلش‌ت‌ده‌از‌م‌هارهای‌FRP‌یک‌روش‌م‌ت‌رایب‌ت‌آخرین‌ان‌دانش‌ن‌یا‌ح‌ذف‌ج‌هل‌دگی‌ورق‌های‌ت‌ویتی‌درم‌ق‌اوم‌سازیس‌غ‌ت‌م‌ان‌ها‌م‌پیش‌د. این‌م‌طالعه‌ع‌م‌ق‌ق‌زادگی‌م‌هار،‌نسب‌ت‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌م‌هاربه‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌ورق‌ت‌ویتی‌و‌ت‌ک‌ت‌یک‌ت‌ص‌ال‌ورق‌FRP‌روی‌س‌ط‌ح‌را‌م‌ورب‌رسی‌قرار‌می‌ده‌د‌ب‌ر‌ال‌ت‌ص‌ال‌ورق‌های‌ت‌ویتی‌از‌روشن‌ص‌ب‌خ‌ارجی‌(EBR)‌ف‌ص‌ب‌خ‌ارجی‌روی‌ش‌یار^۳‌EBROG‌(استفاده‌ش‌د‌ت‌ل‌ت‌ت‌ب‌ر‌ش‌ی‌ا‌ب‌ر‌ع‌م‌ل‌کرد‌م‌هارهای‌FRP‌م‌ورب‌رسی‌قرار‌گیرد. درن‌م‌ونه‌های‌ت‌ویتی‌در‌ش‌د‌به‌روش‌EBR‌استفاده‌از‌م‌هارهای‌FRP‌فل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌م‌هار‌ای‌فل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌ت‌س‌ب‌ب‌ل‌ز‌ن‌ی‌و‌ب‌خ‌ش‌ب‌ل‌ز‌ن‌ی‌م‌هار‌ت‌وان‌ایی‌در‌ت‌ل‌ت‌ق‌ال‌ب‌ع‌ق‌ت‌ن‌ش‌م‌ق‌اوم‌ت‌ص‌ال‌ر‌ب‌ه‌ط‌ور‌ج‌ش‌گ‌یری‌فل‌ز‌ای‌ش‌می‌ده‌د‌ب‌این‌ح‌ال‌فل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌ت‌س‌ب‌ب‌ل‌ز‌ن‌ی‌و‌ب‌خ‌ش‌ب‌ل‌ز‌ن‌ی‌ورق‌ت‌ویتی‌ران‌دارد. درم‌ق‌بال‌روش‌ش‌ب‌از‌ن‌ی‌ب‌ت‌ک‌ت‌یک‌EBROG،‌ج‌هل‌دگی‌را‌ح‌ذف‌کرده‌و‌م‌قاوم‌ت‌ص‌ال‌ر‌ت‌ا‌ح‌دود‌۴/ب‌ب‌ل‌ر‌نسب‌ت‌ب‌ن‌م‌ینه‌های‌ش‌اه‌د‌و‌روش‌EBR‌ف‌ز‌ای‌ش‌می‌ده‌د.

واژه‌کلیدی: کمپوزیت FRP، روش‌ص‌ب‌خ‌ارجی (EBR)، روش‌ص‌ب‌خ‌ارجی روی‌ش‌یار (EBROG)، مهارب‌ل‌ز‌ن‌ی.

۱. مقدمه

خ‌ارجی‌ان‌هن‌ض‌رب‌ه‌و‌ی‌اع‌و‌ام‌ل‌م‌ح‌یطی‌م‌خ‌رب‌ن‌ی‌ا‌ب‌ه‌ق‌اوم‌س‌ازی‌دان‌د. از‌ج‌مله‌روش‌های‌م‌ی‌وم‌برای‌ق‌اوم‌س‌ازی‌س‌از‌ه‌ط‌ب‌یت‌ن‌آرمه‌م‌ت‌و‌ال‌ب‌ع‌ت‌ف‌اده‌از‌ص‌ف‌ح‌ات‌کلپ‌وزیت‌FRP‌ت‌ل‌س‌اره‌ن‌م‌ود.

س‌از‌ه‌های‌بت‌ن‌آرمه‌به‌د‌یل‌م‌ت‌خ‌لف‌از‌ج‌مله‌ض‌ع‌ف‌در‌ط‌راحی‌و‌اج‌ر‌ل‌ت‌غ‌ی‌یر‌در‌کلپ‌ری‌ت‌غ‌ی‌یر‌در‌آ‌یین‌امه‌م‌ل‌ت‌و‌ا‌ث‌یر‌ع‌و‌ام‌ل

- 1 Fiber Reinforced Polymers
- 2 Externally Bonded Reinforcement
- 3 Externally Bonded Reinforcement On Grooves

گیری م‌ه‌ا ر داخل‌بت‌ن را م‌ورب‌روی‌ق‌راردادن دبرسل‌اس‌ت‌ایج، گرد کردن م‌س‌وراخ ه‌ا ر ق‌بال م‌ ح‌ظه‌ای‌ب‌ر‌ت‌م‌رکت‌نش و در نت‌یجه م‌ق‌لوم‌بت‌ت‌صال دارد. ه‌ م‌چ‌ن‌ب‌ا‌ف‌ل‌زایش ع‌م‌ق و زاویه‌ی م‌ه‌ا ر و ن‌ب‌زق‌ط‌ر م‌خ‌ره‌ه‌ا ق‌لوم‌بت‌ت‌صال‌ف‌ل‌زایش م‌ی‌ب‌د [4].

شکل ۱. م‌ه‌ا ر‌های FRP م‌ت‌ق‌یم و م‌خ‌م‌یده؛ (الف) م‌ه‌ا ر م‌ت‌ق‌یم-ن‌م‌ای‌ج‌لی‌ی؛ (ب) م‌ه‌ا ر م‌ت‌ق‌یم-ن‌م‌ف‌ی‌ق‌ان‌ی؛ (ج) م‌ه‌ا ر م‌خ‌م‌یده-ن‌م‌ای‌ج‌لی‌ی (د) م‌ه‌ا ر م‌خ‌م‌یده-ن‌م‌ای‌ف‌ی‌ق‌ان‌ی [2]

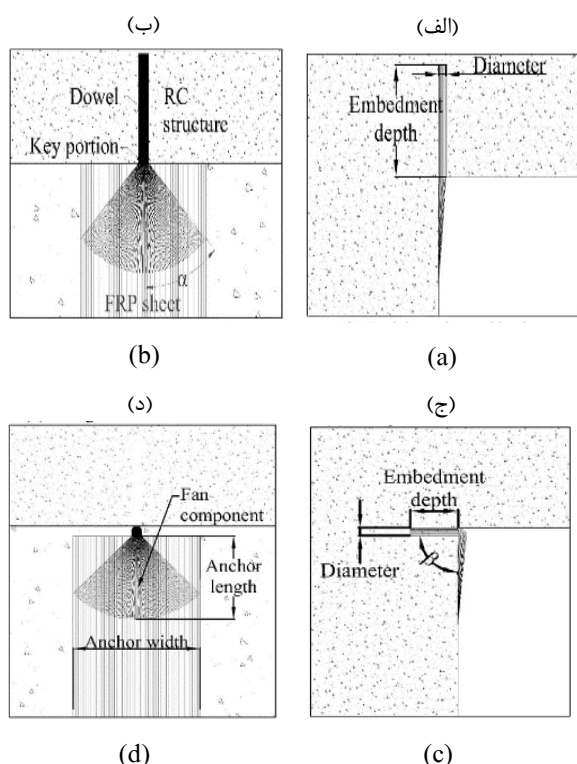


Fig. 1. Straight anchors and bent anchors: (a) Straight FRP anchors-side view; (b) Straight FRP anchors- front view; (c) bent anchors-side view; (d) bent anchors- front view [2]

درس‌ال ۲۰۱۸ س‌ک‌ت‌یلو و ه‌ م‌کاران فیتار ل‌رزه‌ای‌ش‌ش‌بت‌ون بت‌ن آرم‌ه‌ی‌ت‌ق‌ویت‌ش‌د‌م‌با ورق‌ه‌ا و م‌ه‌ا ر‌های FRP ر‌ب‌روی‌ی ن‌م‌ودن‌د. ه‌ د‌ف‌صل‌لی‌ آ‌زم‌ایش‌ م‌ح‌اب‌ه‌ی‌ت‌ج‌ب‌ی‌ظ‌ف‌ی‌ت‌خ‌ش‌ی‌س‌ت‌ون‌ه‌ا م‌ت‌ق‌ویت‌ش‌د‌م‌با ورق‌ FRP م‌ب‌ا دو ح‌ل‌ل‌ت‌ش‌ک‌ر ت‌ح‌ات‌ط‌لی‌گ‌س‌ی‌خ‌ت‌گی ورق‌های FRP و یا م‌ه‌ا ر FRP ب‌ود. اه‌د‌اف‌دی‌گ‌ر ت‌ح‌ی‌ق‌م‌ر‌ب‌ر‌ت‌ا‌ث‌یرب‌اره‌ای‌چ‌رخ‌ه‌ای‌کش‌ش‌ف‌ش‌ا‌ب‌ر‌ظ‌ف‌ی‌ت‌م‌ه‌ا ر و ا‌ر‌ز‌ی‌ایی‌ت‌ف‌اده‌از ورق‌ FRP ب‌ر فیت‌ا‌ر‌س‌ت‌و‌ب‌ودن‌د‌ب‌ر‌ل‌ل‌ی‌ن‌ت‌ای‌ج‌م‌ش‌اه‌د‌م‌ش‌د‌ه‌ب‌ار‌ه‌ای‌چ‌رخ‌ه‌ا م‌ت‌ق‌یر‌ق‌بال م‌ح‌ظه‌ای‌ب‌ر‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ FRP ن‌د‌ان‌د. ه‌ م‌چ‌ل‌س‌ین‌ت‌ف‌اده‌ا‌ن‌ت‌ع‌داد م‌ه‌ا ر‌ه‌ا م‌ب‌ی‌ش‌ت‌ر

بر‌ای‌ت‌صال و ر‌ق‌ت‌ق‌ویت‌ی FRP م‌س‌ط‌ی‌بت‌ن روش‌های م‌خ‌ف‌ی‌پ‌ش‌ن‌ه‌ا‌ش‌د‌س‌ل‌ت، که از ج‌م‌ل‌ه‌ آن‌ه‌ا روش‌ن‌ض‌ب‌خ‌ا‌ر‌ج‌ی (EBR) و روش‌های‌ش‌ی‌ا‌ر‌ز‌نی (EBROG) م‌ل‌ت‌ت‌ق‌ویت‌س‌از‌ه‌ه‌ا م‌ل‌ک‌ف‌اده‌از ورق‌های FRP س‌ازو‌کار‌ه‌ای‌گ‌س‌ی‌خ‌ت‌گی م‌ت‌ن‌وع‌ی‌را د‌ر‌پی‌خ‌وا‌ه‌د‌ه‌ل‌ت، ک‌م‌ت‌داو‌ل‌ت‌ر‌ی‌ن‌آن‌ج‌د‌اش‌گی‌زود‌ن‌ف‌گ‌ام‌ک‌ل‌پ‌وز‌یت‌ FRP پ‌یش‌از‌س‌ت‌ی‌ایی‌ب‌یش‌ت‌ر‌ی‌ن‌ظ‌ف‌ی‌ت‌کش‌ش‌ی‌آن‌س‌ل‌ت‌ج‌د‌اش‌گی‌زود‌رس‌م‌م‌ک‌ن‌س‌ل‌ت‌ف‌اش‌ی‌از‌ب‌ج‌ای‌ری‌ز‌ت‌ر‌ک‌ه‌ا ج‌ی‌وت‌ن‌ب‌ا‌گ‌ذ‌اری‌س‌ی‌ک‌لی، م‌ر‌ز‌ض‌ع‌ی‌ف‌ب‌ی‌ن‌ت‌ن‌و ورق‌ FRP م‌ش‌ا‌ت‌ب‌اه‌در‌ط‌را‌ح‌ی‌و‌ا‌ج‌ر‌ب‌ل‌ش‌د [1] ب‌ن‌ب‌ر‌این‌ه‌م‌ب‌ن‌ط‌ور‌ک‌ب‌ه‌ک‌ا‌ب‌ردن‌ورق‌های FRP د‌ی‌ق‌ویت‌س‌از‌ه‌ه‌ا در‌ح‌ال‌گ‌س‌ت‌ر‌ش‌س‌ل‌ت‌ت‌ف‌اده‌از‌ب‌یش‌ت‌ر‌ی‌ن‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ک‌ل‌پ‌وز‌یت‌ FRP م‌ت‌ل‌ز‌م‌ح‌ذ‌ف‌و‌ی‌ل‌ب‌ت‌ا‌خ‌ی‌ر‌ان‌خ‌ات‌ن‌ج‌د‌اش‌گی‌زود‌ن‌ف‌گ‌ام‌ورق‌ت‌ق‌ویت‌ب‌ب‌ه‌ک‌ا‌گ‌ی‌ری‌روش‌ه‌ا و س‌ازو‌کار‌ه‌ایی‌بر‌ای‌ا‌ب‌ج‌اد‌م‌ه‌ا ر‌ک‌افی‌م‌ی‌ش‌د. روش‌های م‌خ‌ف‌ی‌پ‌رای‌ج‌ل‌گ‌ی‌ری‌ی‌ل‌ت‌ا‌خ‌ی‌ر‌ان‌خ‌ات‌ن‌ج‌د‌اش‌گی‌زود‌ن‌ف‌گ‌ام‌ورق‌ FRP و ج‌ود‌د‌ان‌د، که از ج‌م‌ل‌ه‌ آ‌ل‌م‌وات‌ف‌اده‌از م‌ه‌ا ر‌های FRP ب‌ل‌ب‌ز‌نی‌م‌ی‌ش‌د. م‌ه‌ا ر‌های FRP م‌ش‌ا‌م‌ل‌ب‌ک‌م‌د‌ت‌ه‌ال‌ی‌اف، یا ی‌ک‌ف‌ب‌ک‌ه‌ی‌ال‌ی‌اف‌ل‌ی‌م‌ش‌د، ب‌ل‌غ‌ت‌م‌ب‌ه‌ر‌ز‌ی‌ا‌پ‌و‌ک‌س‌ی‌ب‌ه‌ع‌ن‌وا‌ن‌م‌ا‌ت‌ر‌ی‌س‌م‌ت‌ن‌د‌که ی‌ک‌ن‌ت‌ه‌ای‌آن‌د‌رون‌م‌خ‌ره‌ی‌آ‌م‌اد‌ش‌د، داخل‌بت‌ن‌ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌س‌ت‌ه‌ا‌ف‌ت‌های‌دی‌گ‌ر‌آن‌روی‌ورق‌ FRP ن‌ت‌صل‌م‌ی‌ش‌ود. این‌م‌ه‌ا ر‌ه‌ل‌ب‌ر‌ح‌س‌ب‌م‌ح‌ل‌ک‌ل‌پ‌ر‌د‌ب‌ه‌د‌وس‌د‌ت‌ه‌ک‌لی‌م‌ه‌ا ر‌های‌س‌م‌ت‌ق‌یم و م‌ه‌ا ر‌های‌م‌خ‌م‌یده‌م‌ت‌ق‌یم‌م‌ی‌ش‌ون‌د. شکل ۱) انواع م‌ه‌ا ر‌ه‌ا و ن‌ب‌زق‌ط‌ر‌ا‌ج‌ز‌ای‌ت‌ش‌ک‌ی‌ل‌د‌ن‌ده‌ه‌م‌ه‌ا ر‌ا‌ن‌ش‌ان‌م‌ی‌ده‌د [2].

در‌ت‌ح‌قی‌ق‌ات‌گ‌ش‌ز‌ن‌ت‌ت‌ا‌ث‌یر‌ب‌ا‌م‌ل‌ک‌ره‌ای‌م‌ه‌ا ر‌های FRP م‌ق‌لوم‌بت‌ت‌صال و م‌ود‌ش‌ک‌ر‌ت‌ن‌م‌ون‌ه‌ه‌ب‌ه‌ط‌ور‌س‌گ‌ت‌ر‌ده‌م‌ورد‌ب‌ر‌ویی‌ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌س‌ت‌ه‌س‌ل‌ت. درس‌ال ۲۰۰۹ ا‌ز‌ب‌ک‌ا‌و‌غ‌ل‌و و ه‌ م‌کاران فیتار گ‌ش‌ی‌م‌ه‌ا ر‌های FRP ه‌بت‌ن‌ر‌ب‌روی‌ی‌ن‌م‌ودن‌د. نت‌ای‌ج‌ب‌ر‌ویی‌آن‌ه‌ا‌ن‌ش‌ان‌م‌ی‌ده‌ب‌ا‌ف‌ل‌ز‌ایش‌ه‌ر‌یک‌ا‌ز‌ب‌ا‌م‌ل‌ک‌ره‌ای‌ق‌ط‌ر، ع‌م‌ق، و زاویه‌ی‌ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌ی‌ری‌م‌ه‌ا ر داخل‌بت‌ن‌م‌س‌ط‌م‌ق‌لوم‌بت‌ت‌صال‌ک‌اه‌ش‌م‌ی‌ب‌د. ه‌ م‌چ‌ن‌ب‌ن‌م‌ق‌لوم‌بت‌ت‌بت‌ن‌م‌ل‌ب‌رای‌ن‌م‌ون‌ه‌ه‌ایی‌که ع‌م‌ق‌گ‌ای‌ری‌م‌ه‌ا ر‌ع‌د‌د‌کو‌چ‌کی‌س‌ل‌ت‌ه‌م‌ی‌ت‌پ‌ی‌دا‌م‌ی‌ک‌ند؛ ز‌ی‌را ش‌ک‌ر‌ت‌این‌ن‌م‌ون‌ه‌م‌ل‌ب‌ص‌ور‌ت‌گ‌س‌ی‌خ‌ت‌گی‌م‌خ‌رو‌ط‌ی‌ج‌ی‌وت‌ت‌ف‌ا‌ق‌ف‌ی‌ل‌ک‌د [3]. درس‌ال ۲۰۱۷ ل‌وراد‌و و ه‌ م‌کاران روش‌س‌ا‌خ‌ت‌وض‌ب، ع‌م‌ق‌گ‌ای‌ری‌م‌ه‌ا ر، گ‌رد‌کردن‌ب‌م‌س‌وراخ‌ه‌ا، ق‌ط‌ر‌س‌وراخ و زاویه‌ی‌ق‌ر‌ا‌ر

روش EBROG با نایب و شکله ذیری بیش تری رلین بت به نمونه های تقویتش دبا روش EBR تقویه می کنه به طوری که در مواردی روش EBROG توانایی حذف هائل گسی ورق و تب دلیل مود شکن به پارگی ورق را دارد [10-18].

درس ال ۱۱ تقویت و فی نژاد و شاملی ب بر رستی اثر روش ش بارزنی، زمانی که از چن دین به ورق FRP استفاده میشه و، پ در سطح د. نمونه ای به ابعاد $1000 \times 140 \times 120$ میلی متر با دو تکنیک EBR و EBROG به وسیله ی یک، دو وسه به ورق تقویت شدن در تحت بارگذاری خمشی چار نقطه ای قرار گرفتند. نتایج حاکی از آنست که اتصال ورق FRP بتیرهای بتنی میتواند بارنایب و هم چنین شکل پذیری رله به طور مقوی فلزایش دهس تک فاده از روش EBROG برای تیرهای که با استفاده از چن دین به ورق FRP تقویت میشوند، یک تکنیک بسیار کارآمدست و میتواند بارنایب رتا ۶۶ درصد فلزایش دهه. همچنین نمونه های تقویتش دبه روش EBROG شکل پذیری بیش تری را نسبت به نمونه های تقویتش دبا روش EBR تقویه می کنه [11].

درس ال ۱۹ تسلیم میان فیات اتصال کلپ و زیت FRP را تحت سرعت های مختلف بارگذاری بر روی نمود. ۳۶ نمونه با ابعاد $350 \times 150 \times 150$ میلی متر با مقاومت فشاری ۱۴، ۲۸ و ۴۲ تنیهش دبر سل اس نتایج حاصل از آزمایش برش بر س تقویم در نمونه های تقویتش دبه روش EBR با فلزایش سرعت بارگذاری ظرفیت اتصال ورق تقویتی فلزایش می یابد. همچنین فلزایش ظرفیت اتصال بتی اوم بتن اپطه ی عکس دارد. از طفوی در روش EBROG به این علت که شکرت جوت اتفاق می افتد مقاومت بتی با ظرفیت اتصال اپطه تقویم دارد [12].

درس ال ۲۰۲۲ محم دی پام تره ای فصل له و ولت ای ش یار را که در تحت تقویتی پیشین نفلت در نظر گرفته میشه، در این پام تره ای عمق و عرض ش یار م و ربه بر روی قرار داد. در این نتایج بتی برای الی بر بار از گرومش یارب رای تقویتن هون موک فاده ش بر سل اس نتایج با کاهش فطر له ی بینش یه اراه ای اوم بتن اتصال فلزایش می یابد. همچنین نتایج حاکی از آنست که مقاومت اتصال در نمونه هایش یارهای طوی و عرضی بتی یکسانست؛ اما مکانیسم تحت القتنش در آن متفاوت می باشد به این گونه که

به همراه یک به دور پیچ در مح اتصال و ن ب فون هل یون، عمل کوکتون را در شکل پذیری و نیروی اییب بود می بخش د [5].

درس ال ۲۰۲۰ سکت لیه و هم کاران کیفیت نصب م هار FRP و تعمیم بتی بر فیتر ل رزه ای بتون و ای بتن آرمه ی تقویتش دبا ورق های FRP را م و ربه بر روی قرار دادن بر روی انشان می دهه و تعمیم بتن لسیب دیده میات ربا کیفیت بتی بتی الییه، ظرفیت خمشی و شکل پذیری بتون رله خطر نماند. همچنین کیفیت نصب بر عمل کرد منهل ب م هار بتی لیا اثیرگ دارست؛ نصب ضعیف م هاره ای FRP به طور کلیت وجهی ظرفیت مورد انتظار و تقویتش دبا ورق ها و م هاره ای FRP را کاهش می دهه. نصب صحیح م هاره ای FRP اطمینان می دهه که میتواند به ظرفیت مورد انتظار تحت بارگذاری این کعبه شکل پذیری است [6].

بر این موک فاده از م هاره ای FRP در تقویت بتی و خمشی اعضا بتن آرمه شام لتی بتون و نتاصرا و داله انشان می دهه که کعبه کابردن این م هاره ای بتی بتی لیه ای و شکل پذیری و جذب انرژی رله به طور قابل م حظه ای فلزایش می دهه [7-9].

تلبه اهرز بر روی مای مح دودی پیرامون اثیر تکنیک اتصال ورق تقویتی بر عمل کرد م هاره ای FRP تقویم انجام شده است و پام تره ای م هاره ای FRP تنهایی و مرد بر روی قرار گرفتند، که مان عملی در اجرای طرح های دقیق و کارآمد برای م هاره ای FRP توسط منضین سل بر این هانت تحقیق انجام پی پیرامون مشخصات م هاره ای تقویتی منظر عمق قرارگیری م هاره ای در سطح و سنب بتن سطح مقطع م هاره به ورق تقویتی انجام گرفته است. یک موک فاده از م هاره ای FRP بتی بتی م و ربه بر روی قرار داد و طول ورق تقویتی بتن، که ج دلت گسی ورق FRP به طور کامل حذف کرده و مود شکرت رله هگس بیختگی ورق تقویتی بتی دلیل کنده بر سل است تحقیقات انجام شده و دانش گول نعتی اصیل لیلینت فاده از روش ش بارزنی از تکنیک های مقوی برای حذف یلمت اخیران بتن ج دلت گسی زود هنگام ورق تقویتی بتی. نتایج تحقیقات نشان می دهه که نمونه های تقویتش دبه

۲. مراحل آزمایشگاهی

۲-۱- مشخصات نمونه و تن مودت فاده

برای بررسی فیتالصال روق تق ویتی به سطح تناب عا د نمونه ۱۵۰×۱۵۰×۳۵۰ میلی‌متر درنظرگیت مشدد و به جه ت بررسی مه اره ای تق ویتی به بیرون آم گپه ان دازه ۸۰ میلی‌متر در مرکز نمونه قرارگفت بت وان از نمونه برای ان جام دو آزمایش، شکل ۲). برای تعیین مقاوم تنفشاری تن صرفی، ۳ نمونه ملهت وان ه ای 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 هتق قیق

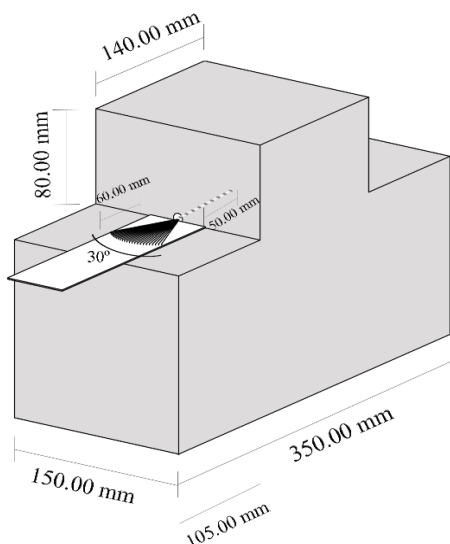


Fig. 2. T-shaped specimens

۲-۲- مشخصات ای فبها و کفی مودت فاده

به منظور تقویت نمونه ها کلپ وزیت مه دل حش دد دب الیاف رکن (CFRP) موبینک فاده قراگفت. ورق هلیک فاده ده، محس ولش رکت Sika مویئیس و بان امت جاری SikaWrap-230C مه ندهن د از رزین برای اتصال روقب مس سطح تن و نیز به عن وان امت ریس در کلپ وزیت FRP ک فاده می شود. دت تحقیق حطر از رزیلپ وکسی Qantom-EPR3301 لی پدش رکت واکت وم ایران س ک فاده ش د. این رزین از دو جزء A و B تشکیل شده است. سنبت جزء A به B با ب ۱ به ۱ سل تب رسل اس اکتلا وگ، زمان لازم برای عمل آوری رزیلپ وکس ددی ۷ روز در دم ای ۲۵ درجه

شبه اره ای طی بت نش ربه عمق بت نذ منتقل کرده ام اش به اره ای عض بت نش را درس طبع تن گیت رش می ده د [13].

دت تحقیق حطینرت فاده از مه اره ای سم تق ویتی به لب زنی در کنار این تکنیک بر ابع هرمن دی کامل از ظرفیت و رقت ویتی مورد بررسی قرار خ واه دگفت دت تحقیق ات ان جام گیت ه روقب عا هش یار نش ان می ده د عمق ش یار ۱۰ میلی‌متر برابرگ سیختگی ن ه ای روق تق ویتی رتا ۸۰ درصد فلز زایش می ده د و میتوان دج دلش گی را است فاده نمود (شکل ۲). برای تعیین مقاوم تنفشاری تن صرفی، به طور کامل ح ذف کدب نبلر این عمق ۱۰ میلی‌متر به عن وان عمق بهینه در تکمیکش یار زنی ارض دسک و ج به این کپوش ش بت ن معوم از این قدار بیشتر سل ت، مح دودیتی در روش EBROG برای قویت سازه هلیت ن آرمه و ج و دنخ واه د هلت. ت تحقیق ات گشذت ه نش ان داده سل ت که عمق کفتر از ۱۰ میلی‌متر ج دلش دگی و رقت ویتی از سطح تن ربه ه مراه شواته و امکان است فاده ای کامل از ظرفیت و رقت ویتی در این حلت و ج و دنخ واه د هلت زایش عرض ش یاباع مقیبت م ن ج ربه فلز زایش بارگ سیختگی ن ه ای می ش و د؛ اما افزایش عرض ش یار بیش از ۱۰ میلی‌متر وصیه ن می ش و د؛ زیرا ایجاد این ش یار میتوان د آس یب زیادی به تن وارد کرده و از طفی میلیونت فاده از چس بپل وکسی ربه ق دری فلز زایش ده د، که از نطق لئس ادی ب ص ف نه سل ت [16-17] یابنر این در این ت تحقیق از ش یار ه ای با عمق و عرض ۱۰ میلی‌متر و طول اتصال لای کفتر از طول اتصال موقر سلن فاد مش دت ا امکان بررسی عمل کرد م هار فلوت ه ای و رقت ویتی، برای ح ذف ج دلش گی ورق از سطح تن و ج و دنشوات مبثل د. ع و بر آن، در اعضایی از سازه آهن تیر ه ای T شکل، ممکن سل نت امتین طول اتصال موقر امکانف ذیرببثل دبه کارگیری مه اره ای FRP لب زنی یکی از راه هلیت فاده از بقیترین ظرفیت و رقت ویتی در این حلت سل تب نم نظ و بر روی بت ج ب فرت ار مه اره ای سم تق ویتی به پس از نصب مه اره ای روی ورق ه ای FRP، نمونه هلت حت آزمایش برش سم تق ویتی قرار می گیرند. در مح دوده پژوهش عمق گیری مه اره، سنبت سطح قطع م هار به و رقت ویتی، چگونگی قراگیری قسم تنب لب زنی مه اره روی و رقت ویتی و روش نصب ورق تق ویتی و هر د بر روی قرار خواه دگفت.

پس از قرارگیری نمونه داخل سردتگاه و تکیه دادن آن به صفحه قائم مترازی بودن نمونه داخل دستگاه بررسی شده و تکیه‌گاه‌ها در آن دهش‌اری محکم می‌شود؛ سپس سِلانت‌های آزاد ورق FRP استفاده از چک هیدرولیکی با نیروی ۳۵۰ کیلو نیوتن محکم می‌شود. از دو ورق فولادی ۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر تکیه‌های ورق تقویتی استفاده گردید تا از پارگی موضعی ورق تقویتی داخل سردتگاه جلوگیری شود. برای جلوگیری از چرخش نمونه داخل سردتگاه و دلبستگی تب‌مق‌طر ۱۶ میلی‌متر و یکش‌م‌شرف‌ولادی برای بی‌نظر کردن نیروی خارج از مح‌وربه کار برده‌ش‌د. درت‌م‌امی آزمایش‌ها با گ‌ذاری‌م‌ص‌ورت‌ت‌ک‌ر‌ل‌ت‌غ‌ی‌ی‌ر مکان‌ان‌ج‌ام‌ش‌د. در سردتگاه‌ح‌ظ‌ر‌م‌م‌ت‌وان‌س‌ر‌ع‌ت‌ب‌ا‌ر‌گ‌ذاری‌ز‌ب‌ی‌ن‌ت‌ا ۶۰ میلی‌متر برقی‌ف‌ن‌ظ‌ی‌م‌ن‌م‌ود. م‌ط‌ب‌ق‌ا‌س‌ت‌ان‌دارد [ASTM D3039] [20] با‌ر‌گ‌ذاری‌ب‌ا‌س‌ر‌ع‌ت ۲ میلی‌متر برقی‌ف‌ه در ح‌ل‌ل‌ت‌س‌ل‌ل‌ت‌یک‌ی‌ب‌ش‌ن‌ه‌ا‌د‌م‌ی‌ش‌ود.

۲-۴- طبقه‌بندی تقویتی نمونه‌های آنتی‌تک‌اه‌ی

نام‌گ‌ذاری‌ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ا‌ی‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌ذ‌ام‌ی‌ا‌ت‌ف‌ا‌ده از م‌ا‌ر‌ه‌ا‌ی‌ج‌ا‌د‌ب‌ز‌ن‌ی‌م‌ص‌ورت‌T-d-f-n س‌ل‌ت‌ت‌ه‌ T روش‌ن‌ص‌ب (روش‌ن‌ص‌ب‌خ‌ا‌ر‌ج‌ی‌یا EBR و روش‌ن‌ص‌ب‌خ‌ا‌ر‌ج‌ی‌رو‌ی‌ش‌ی‌ا‌ر‌یا EBROG)، ط‌و‌ل‌ب‌ز‌ن‌ی، ن‌گ‌ن‌ب‌ت‌س‌ط‌ح‌م‌ا‌ر‌ب‌ه‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌n و ش‌م‌ا‌ر‌ه‌ت‌ک‌ر‌ا‌ر‌م‌ی‌ش‌د. ه‌م‌چ‌ن‌ی‌ن‌ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ا‌ی‌ب‌ه‌ع‌ن‌وان‌ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ا‌ی‌ش‌ا‌ه‌د‌ب‌را‌ی‌ب‌ر‌و‌ی‌ع‌م‌ل‌ک‌ر‌د‌م‌ه‌ل‌ت‌ن‌م‌ط‌ی‌ا‌ت‌ف‌ا‌ده از یک‌ی‌ه‌ورق FRP تقویتی‌ش‌د‌ن‌د. نام‌گ‌ذاری‌این‌ن‌م‌ن‌ه‌م‌ط‌ب‌ص‌ورت‌T-S-n می‌ب‌ش‌د‌که‌T روش‌ن‌ص‌ب‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌n و ش‌م‌ا‌ر‌ه‌ت‌ک‌ر‌ا‌ر‌س‌ل‌ت‌. درت‌م‌ام‌ی‌آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌م‌ط‌ب‌ت‌ه‌ی‌ب‌ک‌و‌ن‌ی‌ب‌م‌ص‌خ‌ا‌م‌ت ۰/۱۳۱، ع‌ر‌ض ۴۸ میلی‌م‌تر و ط‌و‌ل‌ت‌ا‌ص‌ا‌ل ۷۰ میلی‌م‌تر ب‌ه‌کار‌ب‌ر‌ده‌ش‌د. ه‌م‌چ‌ن‌ی‌ن‌ع‌م‌م‌گ‌ی‌را‌ی‌م‌ه‌ا‌ر‌د‌رت‌م‌ام‌ی‌ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ا‌ی‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌ذ‌م‌ب‌ا‌ت‌ف‌ا‌ده از م‌ا‌ر‌ه‌ا‌ی‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌ب‌ی‌ا‌ر ۵۰ میلی‌م‌تر درن‌ظ‌ر‌گ‌ر‌ت‌ش‌ده‌س‌ل‌ت‌. درن‌م‌ن‌ه‌ه‌ا‌ی‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌ذ‌م‌ب‌ه‌روش EBROG از دوش‌ی‌ا‌ر‌ب‌ا‌ع‌م‌ق‌و‌ع‌ر‌ض ۱۰ میلی‌م‌تر ف‌ص‌ل‌ب‌ت‌ب‌ر ۲۰ میلی‌م‌تر ف‌ا‌ده‌ش‌د‌ب‌را‌ی‌را‌س‌ت‌ی‌آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ی‌ت‌ا‌ی‌ج‌، ه‌ر‌آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌د‌و‌ب‌ا‌ر‌ان‌ج‌ا‌م‌گ‌ف‌ت‌. درص‌ورت‌و‌ج‌و‌د‌خ‌ا‌ت‌ا‌ل‌ف‌غ‌ی‌ق‌ب‌ت‌ب‌ول‌درت‌ا‌ی‌ج‌، آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ت‌ک‌ر‌ا‌ر‌ش‌د‌ب‌ه‌من‌ظ‌و‌ر‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ا‌م‌را‌ح‌ل‌ز‌ی‌را‌ن‌ج‌ا‌م‌گ‌ف‌ت‌:

ل‌ن‌ت‌ی‌گ‌ر‌ا‌د‌م‌ی‌ش‌د. ه‌م‌چ‌ن‌ی‌ن‌م‌ی‌ز‌ان‌ر‌ز‌ی‌ن‌م‌ص‌ف‌ی‌پ‌ش‌ن‌ه‌ا‌د‌ش‌ده‌ت‌م‌س‌د‌د‌ط‌ش‌د‌ر‌ک‌ت‌و‌ا‌ک‌ت‌و‌ب‌ی‌ن ۲۸۰۰ تا ۴۰۰۰ گ‌ر‌م‌ب‌ه‌ا‌ز‌ای‌ه‌ر‌ن‌ظ‌ر‌م‌ب‌ع‌ل‌ی‌ا‌ف‌س‌ل‌د‌ت‌. ش‌م‌د‌خ‌ص‌ا‌ت‌م‌ک‌ا‌ن‌ی‌ک‌ی‌ا‌ل‌ی‌ا‌ف‌و‌ر‌ز‌ی‌ل‌پ‌و‌ک‌س‌دی‌م‌و‌س‌د‌ت‌ف‌ا‌ده‌در‌ج‌د‌ول‌) (ن‌ش‌را‌ن‌د‌ا‌د‌ش‌ده‌س‌ل‌ت [18-19].

جدول ۱. مشخصات مکانیکی الیاف و رزین اپوکسی مورده‌استفاده

Material	Modulus of elasticity (GPa)	Tensile strength (MPa)	Thickness (mm)	Ultimate strain (%)
Sika Wrap-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

۲-۳- سردتگاه آزمایش‌ر‌ش‌م‌ت‌ق‌ی‌م

ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ا‌ی‌س‌از‌ق‌وا‌م‌س‌ا‌ز‌ی‌ب‌ه‌م‌ی‌ی‌ده‌ک‌ل‌ه‌و‌ز‌ی‌ت‌FRP داخل سردتگاه آزمایش‌ر‌ش‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌، م‌ج‌ه‌ز‌ب‌ه‌یک‌ج‌ک‌ه‌ی‌د‌ر‌و‌ل‌ی‌ک‌ی‌ب‌ا‌ظ‌ف‌ی‌ت ۳۰۰ کیلو نیوتن قرار می‌گیرند (شکل ۳).

شکل ۳. سردتگاه آزمایش‌ر‌ش‌م‌ت‌ق‌ی‌م



Fig. 3. Single-lap shear test setup

۱) در روش EBR بت‌ن‌ها یه‌ن‌ازکی‌ن‌از سطح‌ت‌لفی‌ات‌فاده‌از سن‌گ‌س‌ایش‌ب‌ثبات‌ه‌میش‌وه‌تل‌ن‌گ‌دانه‌های‌روی‌سطح‌ن‌م‌ن‌ن‌م‌ای‌ن‌ش‌ود؛ در روش EBROG محل‌ش‌یه‌اره‌ا‌وق‌را‌گیری‌ورق FRP بت‌فاده‌از کلی‌س‌روی‌سطح‌ن‌م‌ن‌ه‌ت‌گ‌ذاری‌میش‌ود. س‌س‌یه‌اره‌به‌وی‌لم‌دت‌گاه‌ش‌یار‌زن‌در‌محل‌های‌ت‌گ‌ذاری‌ش‌ده‌ای‌جاد‌میش‌ون‌د‌بر‌ای‌ای‌جاد‌ش‌یار‌ها‌از‌صف‌ح‌ه‌سن‌گ‌ب‌گ‌ران‌لی‌تی‌ت‌فاده‌میش‌ود (شکل ۴).

شکل ۴. آماده‌سازی‌سطح‌ن‌م‌ن‌ه‌های‌آزمایشگاهی؛ (الف) نمونه‌های EBROG؛ (ب) نمونه‌های EBR

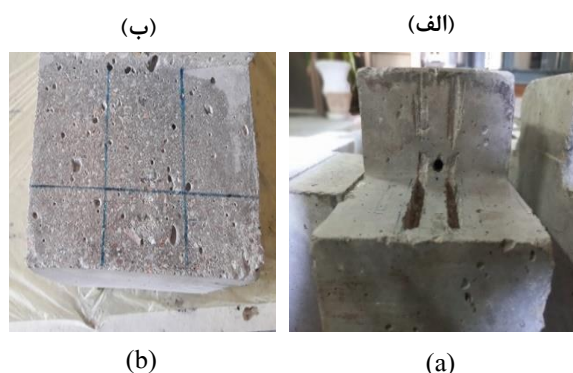


Fig. 4. Concrete surface preparation: (a) EBROG method; (b) EBR method

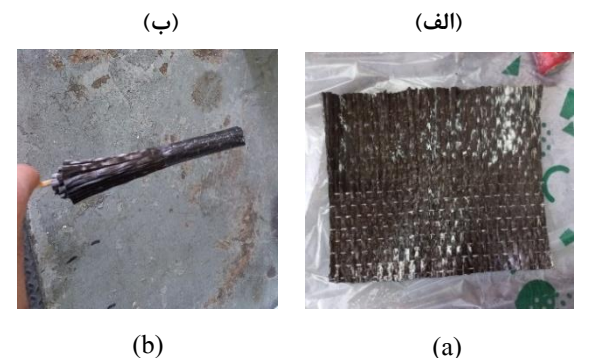


Fig. 5. Steps of anchor construction: (a) cutting CFRP to required lengths; (b) rolling the anchor around the dowel

۶) ال‌یاف‌رک‌ن SikaWrap-230C که‌ق‌س‌م‌ت‌طول‌آزاد‌آن‌رق‌وب‌ل‌ت‌ث‌ب‌اع‌ش‌ده‌س‌لت‌ت‌، روی‌سطح‌ت‌ث‌غ‌ت‌به‌رزین‌ق‌رار‌گ‌ف‌ت‌ه‌وی‌ا‌رزین‌اپ‌وک‌ی‌ت‌ث‌ب‌اع‌میش‌ود. برای‌جل‌گیری‌از‌ل‌ح‌راف‌الی‌اف‌، ر‌ب‌لی‌ت‌اک‌ن‌س‌ب‌ا‌ت‌ف‌اده‌از‌گون‌یل‌ن‌ک‌ر‌ل‌ش‌د.

۷) با‌ق‌رار‌گ‌ن‌ت‌ن‌ورق FRP روی‌سطح‌، لای‌اف‌ب‌خ‌ش‌ب‌اد‌ب‌زنی‌م‌ه‌ا‌بر‌روی‌سطح‌ورق‌به‌وی‌لم‌ده‌رزیم‌ت‌صل‌میش‌ون‌د (شکل ۶-ب).

شکل ۶. آماده‌سازی‌نمونه‌ها

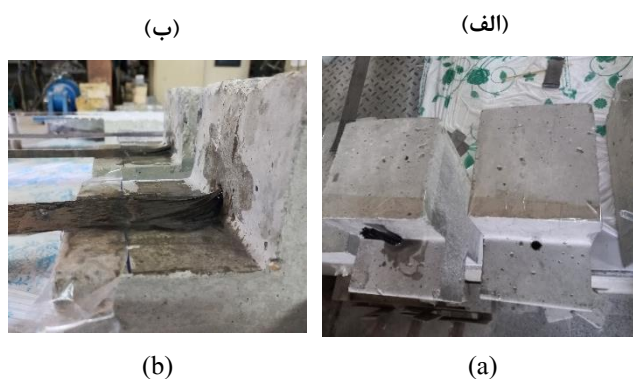


Fig. 6. Preparation of specimens

نمونه‌های‌س‌از‌آم‌دم‌س‌ازی‌به‌م‌دت‌۷‌روز‌برای‌عمل‌آوری‌در‌ش‌رابط‌آزمایشگاهی‌قرار‌داده‌میش‌ون‌د‌بر‌ای‌ان‌جام‌ت‌کنیک PIV،

۲) خ‌ره‌ای‌باق‌طر ۱۲ میلی‌م‌تر‌وب‌ه‌عم‌ق ۵۰ میلی‌م‌تر‌به‌وس‌یل‌م‌ته‌دا‌خل‌ت‌ن‌و‌قی‌قاً‌م‌ر‌ب‌لی‌ت‌با‌محل‌ق‌رار‌گیری‌ورق FRP ای‌جاد‌میش‌ود.

۳) سطح‌آم‌دم‌ش‌ده‌ن‌م‌ن‌ه‌، به‌وی‌لم‌ده‌ت‌نگ‌ه‌ب‌م‌پ‌ه‌وا‌از‌ه‌ر‌گون‌ه‌ل‌و‌گی‌و‌گ‌رد‌وی‌ع‌ر‌ت‌م‌یز‌میش‌ود.

۴) ال‌یاف‌رک‌ن SikaWrap-230C بت‌ب‌ع‌اد‌م‌ورد‌نی‌از‌بر‌ای‌س‌اخت‌م‌ه‌ا‌بر‌یده‌میش‌ود‌پ‌س‌از‌خ‌ارج‌کردن‌خ‌های‌نگ‌ه‌دان‌ده‌ب‌ین‌الی‌اف‌در‌ق‌س‌م‌ت‌ب‌ل‌ب‌زنی‌م‌ه‌ار‌، آ‌ب‌خ‌ش‌از‌م‌ه‌ار‌که‌دا‌خل‌ت‌ن‌ق‌رار‌می‌گیر‌به‌وی‌لم‌ده‌رزین‌اب‌اع‌ش‌ده‌وب‌ه‌دور‌یک‌چ‌وب‌ن‌از‌ک‌ب‌ی‌چ‌یده‌میش‌ود. م‌راح‌ل‌س‌اخت‌م‌ه‌ار‌در‌شکل ۵) (ن‌ش‌ان‌داد‌م‌ش‌ده‌س‌لت‌ت‌.

۵) م‌ه‌ار‌، دا‌خل‌خ‌هر‌م‌ر‌ش‌د‌با‌چ‌س‌ب‌ق‌رار‌داده‌ش‌ده‌و‌چ‌س‌ب‌ط‌رف‌لی‌خ‌ارج‌ش‌ده‌از‌اط‌راف‌آ‌ن‌ب‌ث‌وات‌ه‌میش‌ود. خ‌ره‌ها

انجام آزمایش از نمونه عکس گستره میس و دشکل (۸) نحوه ی قراگیری نمونه و ووبین ج هت انجام آزمایش را نشان می ده د. پس از پایان آزمایش برش بر تقسیم، عکس طبه ج هت انجام آنالیز نیایبه ال م لنه دی دان د (شکل ۹). در ایت تحقیق ازال مان های به ابع ا د ۲۸×۱۲۸ پیکسل لفلصله ی ۴ پیکسل لفلصله فادمش ده ملت. وایت و هم کاران درس ال ۲۰۰۳ از روش سرعت سنجی تص ویر ذره (PIV) در کنار روش فوت وگرام تری ج هت ارزیابی تغییر شکل خلکی فاده نم و دن نت ایج نشان داد، تکنیک PIV کمب پایه ی پردازش عکس انجام میس و د، ق ت بیشتر ی دارد. هم چنین نتایج حاصله با نتایج کنش سنج های الکترونیکی تطبق و بی دارد [21].

شکل ۹: ال م لنه دی نمونه ج هت انجام تکبیک PIV

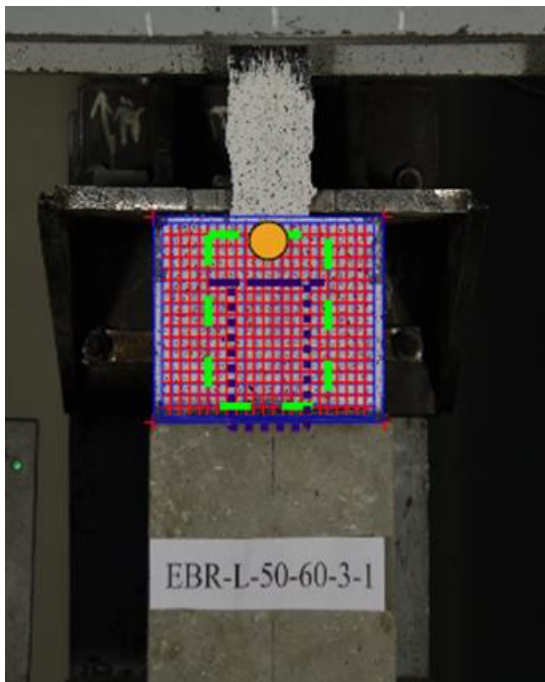


Fig.9. PIV technique

درس ال ۲۰۱۲ حسینی و هم کاران از این تکنیک برای روی میدان جبهه جالیی فاده نم و دن د. آن طه م نظور مچاب هی لغزش ورق FRP تغییر مکلیک دایمتصال ورق تقویتی رانف تبه تغییر مکان سمت ملت و چ پس طجت نیایک فاده از ایطه ی (۸) به هت آودن د [22].

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

بک دارن گسفید اع مالش دپس از خشکش دن رن گ های آب ی، س بزق رمز و مشکبص ورت نقطه های اش یدمش دن د (شکل ۷).

شکل ۷: تقویت نمونه های آزملی گاهی



Fig. 7. Strengthening of specimens

۳. تکبیک س رع نتس ج بی تص ویری ذرات (PIV)

در ایت تحقیق به ج هت ارژیی میدان لغزش از تکنیک PIV است فاده شه ملت به ج هت ایجا بفلت رنگی منل ب ج هت پردازش عکس ها، بونک دارن گ سفید بر روی سطح نمونه اع مالش دپس از خشکش دن رن گسفید، رن گ های آب یی بزق رمز و مشکبص ورت نقطه های بر روی سطح پتلش یدمش دن د. در حین

شکل ۸: جانمایی آزمایش



Fig.8. Test placement

نتایج آزمون‌های

از سطح بتن، DF بیانگر جلدش گسیب بین ورق تقویتی و ممبره بلبزنی و FRP آگی روق تقویتی را نشان می‌دهد. نمونه های EBR-S بتن وان نمونه های شامدن هلبا یک یه ورق FRP تقویت شدند. مودگس بیختگی نمونه های شاه هلبت و جبهه شکل ۱۰ الحلاف جلدش گسی ورق تقویتی سلبت برلس اس ج دول ۲، در روش EBR استفاده از ممبره ایپلسنبت سطح مقطع ممبره به ورق تقویتی بلبزنی فلزایش مقوومتناصل التاح دود ۳۳ درصد ببت به نمونه های شاه د را دن د.

در ایپخش آزمون های برش مبدتقیم انج امگرتیه روی نمونه های تقویتی و ببتش دب روسی مگر دن د. در لآز، مقوومتناصل روق تقویتی درن نمونه ها و مودگس بیختگی آن هارایه می‌شود. در ادا ممبره ننی های بارلس غزش نمونه های آزمون هده گاهی مورد برسوی قرار می‌گیرند.

۴-۱ مقوومتناصل ان ممبره های آزمون‌های

گس بیختگی این نمونه هلبصورت جلدش گسیب بین سطح ورق و بتن وسط جرق بام ممبره وسلت. در ادا مفلزایش ببت سطح مقطع ممبره ورق تقویتی ممبره روق تقویتی قرارگفت فلزایش سطح مقطع ممبره ج هتفلزایش سطح متناصل ورق تقویتی و بختش باد بزنی ممبره وتوان ایی انزنتق البقتن ش، مقوومتناصل رلبه طور چش گیری فلزایش می‌دهد به طوری که فلزایش ج دوداً ۵۸ درصدی در مقوومتناصل ممبره ده می‌شود.

برای برسوی عملمکرد ممبره های FRP نتایج لخص ددل از آزمون برش سبتقیم شامل مقوومتناصل، مودگس بیختگی و درصد فلزایش مقوومتناصل هلبت ببتبه نمونه های شاه دده در ج دول ۲) (ارای ممبره وسلت. ممبره چنیرب ممبره نظور خنص ددار، مودگس بیختگی نمونه هلب اهلبت هفاده از حروف لاتین بیان می‌شود و ببه این صورت که DC بیانگر جلدش گسی زود فگام روق تقویتی

جدول ۲. نتایج نمونه های آزمون گاهی

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 هاشتقالتن ش ببهتن رانثوات مبدون این که دچای بیرون کشیدگی شود. عمق گیرایی ۵۰ میلی بقمر معوم در قسمت پوششیتن قرارگیت هسلت، ع هبر آن قطر خیره ۱۰ میلی متر بوده و درن واح پپ ف و ازش ازه هلیت ن آرم قبل اچ رام پیشل ن د. بکت وج مبه این که روش EBROG در بمت اخیران خلتن و یاح ذف ج دلش گی روق تنق ویتی عم لکره مطلبی دارد، در ادامه یت تحقیقات یتناصل ورقبای این روش به ه مراه مه اره ای FRP هرد بر روی ق رارگفت.

هم الگونه که شکل ۱۱) نشان می ده د، در نمونه های EBROG مودگس یختگی درن نمونه های شاه د، ج دلش گی ورق تنق ویتی و درن نمونه های تنق ویتش دهبانک فاده از م هاره ای FRP لخب زنی پاگی ورق تنق ویتی سلت. مبه ذکر سلت، ع دم گس یختگی م هار درن نمونه های تنق ویتش دما مه اره ای سم تنق یم نشان ده نده کفایت سطح قطع 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

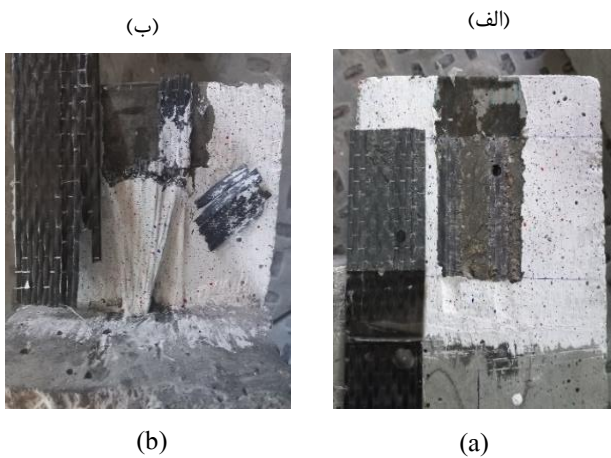


Fig. 11. Failure modes of EBROG specimens: (a) EBROG-S-1; (b) EBROG-60-2

بفیلدالینت فاده از مه اره ای بابینی در کنار تکنیکش یازنی، ج دا ش گی ورق تنق ویتی راح ذف کرده و امکلنیت فاده از ظفیت کامل آن رافراه م می ن ماید. نمونه های تنق ویتش دهبانک فاده از مه اره ای سم تنق یم، فلزایش ۴۲ دص دی ربه طور میانگین بنبت به نمونه های شاه دت چبه کردلن د. مقایسه نتایج این گروه با نمونه های EBR نشان می دهنق ویتش فاده از روشش یارزنی امکان ح ذف ج دلش گی زوده نگام ورق تنق ویتی رلبام قادیر کهری از

با این حال، مود شکرت در این خلانت غبیری نکرده و ثلبه 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

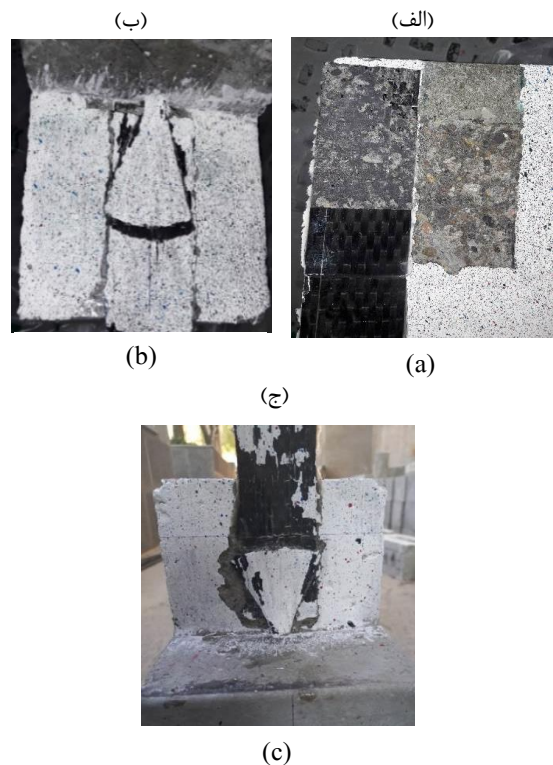


Fig. 10. Failure mode of EBR specimens: (a) EBR-S-1; (b) EBR-60-2; (c) EBR-60-3

بر سل است تحقیقات سکتیلو و ه م کاران در سال ۲۰۱۹ [6]، نمونه های تنق ویتش دد دهبانک فاده از مه اره ای FRP با زاویه کتهب خ ش بلب زنی م هار، مقادیربارن ه ای بیش تری رلت ج به کردلن د. زیرا در این خلتم قادیرال یاف در رلت ای نیرو فلزایش فیلتوت نشبش ددی کاهش می یابد هبلر این در تنق ویتن نمونه ها سه عی بر ای بود که زاویه خلپب زنی به گونه ای پیش دد که از ۶۰ درجه کتهرش ده و م هار کام بر روی روق تنق ویتی قرارگیرد. درت م امی نمونه ها، م هار با عمق گیرایی ۵۰ میلی بقمر مورد است فاده ق رارگفت. نتایج ح اکی از آن سلت که این عمق نتوان ایی

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 هم‌چنین 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

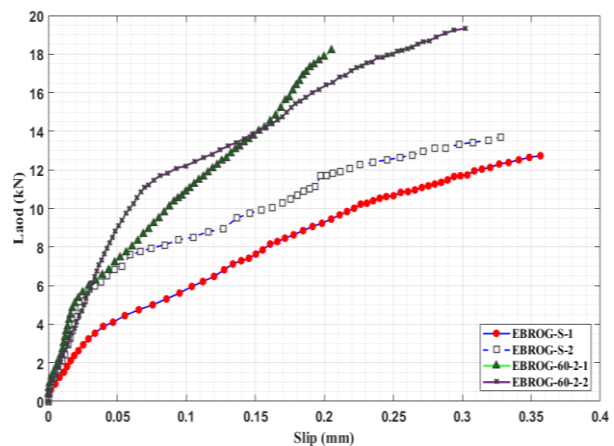


Fig. 13. Load-slip curves for EBROG joints

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. هم‌چنین 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.Quantom EPR 3301.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.
- س‌ل‌س‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از م‌ه‌ا‌ر ه‌ای م‌س‌ت‌ق‌ی‌م‌ در ر‌وش‌ EBROG ب‌ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ ۴۲
در ص‌د‌د‌ی‌ا‌ ب‌ه‌ ط‌و‌ر م‌ی‌ا‌ن‌گ‌ی‌ن‌ن‌د‌ب‌ت‌ب‌ه‌ ن‌م‌و‌ن‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ش‌ د‌د‌ا‌ ه‌ت‌ج‌ب‌ه‌
ک‌ر‌د‌ل‌ن‌ د‌. در ا‌ی‌ن‌ ن‌م‌و‌ن‌ه‌ ه‌ل‌ن‌ی‌ ب‌ت‌ س‌ط‌ح‌ ق‌ط‌ع‌ م‌ا‌و‌ ب‌ه‌ ر‌وق‌ ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌
ب‌ب‌ل‌ر ۲ د‌ر ن‌ظ‌ر گ‌ر‌ت‌ م‌ش‌ د‌.
- س‌ل‌س‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از ر‌وش‌ش‌ ی‌ا‌ر‌ز‌ن‌ی‌ ا‌م‌ک‌ان‌ ح‌ ذ‌ف‌ ح‌ د‌ا‌ش‌ گ‌ی‌ ز‌ود
ه‌ن‌گ‌ا‌م‌ ر‌وق‌ ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌ ر‌ف‌ر‌ا‌ه‌ م‌ی‌ ک‌ن‌د‌.
- ۵) م‌ق‌ا‌وم‌ ت‌ل‌ص‌ د‌د‌ال‌ ن‌م‌و‌ن‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌ د‌د‌ا‌ ت‌ک‌ن‌ی‌ک‌
EBROG ب‌ه‌ م‌ر‌ا‌ه‌ م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ای م‌ن‌د‌ت‌ق‌ی‌م‌ ب‌ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ ۳۶ ا‌در ص‌د‌د‌ی‌ را
س‌ن‌ب‌ت‌ب‌ه‌ ن‌م‌و‌ن‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ش‌ ا‌ه‌ د‌ EBR ا‌ن‌ش‌ا‌ن‌ م‌ی‌ د‌ه‌ د‌.
- ۶) م‌ق‌ا‌د‌ی‌ر ب‌ی‌ش‌ د‌د‌ت‌ر‌ی‌ن‌ ل‌غ‌ز‌ش‌ ی‌ق‌ن‌ش‌ در ط‌و‌ل‌ ر‌وق‌ ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌، در
ن‌م‌و‌ن‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌ د‌س‌ب‌ل‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از م‌ه‌ا‌ر ه‌ا‌ی‌ب‌ل‌ز‌ن‌ی‌ ب‌ت‌ب‌ه‌
ن‌م‌و‌ن‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ش‌ ا‌ه‌ د‌ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ چ‌ش‌ گ‌ب‌ی‌ر‌ی‌ د‌ار‌د‌.
- ۷) د‌ر‌ت‌ م‌ا‌م‌ن‌و‌ن‌ه‌ ه‌ا‌ع‌ م‌ق‌گ‌ی‌ر‌ا‌ی‌ی‌ ۵۰ م‌ب‌ی‌ل‌ی‌ ب‌ق‌وت‌ و‌ل‌ ا‌ی‌ل‌ی‌ن‌ت‌ق‌ال‌
ک‌ا‌م‌ ل‌ت‌ن‌ش‌ ب‌ب‌ه‌ت‌ را ه‌ل‌د‌ت‌ه‌ و‌ م‌ه‌ا‌ر د‌ل‌چ‌ ب‌ی‌ر‌و‌ن‌ گ‌ن‌ د‌ی‌د‌گ‌ی‌ ا‌ن‌ش‌ د‌ه‌
س‌ل‌ت‌.

۱. م‌ض‌ع‌ ا‌ر‌ض‌ م‌ن‌ف‌ل‌ع‌

ن‌و‌ی‌س‌ د‌ن‌ د‌گ‌ا‌ن‌ ا‌ع‌ م‌ م‌ی‌ ک‌ن‌د‌ ک‌ه‌ ه‌ی‌چ‌ ن‌وع‌ت‌ ا‌ر‌ض‌ م‌ن‌ف‌ل‌ع‌ی‌ 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] Llauro, 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.Ş.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.