

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

مهرداد گرک‌پراق<sup>۱</sup>، داود مستوفی‌نژاد<sup>۲</sup>

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 ویست‌ساز‌ه‌های‌بتنی‌ساز و کار‌های‌سخت‌نگی‌مهندسی را دی‌بی‌خواه‌دلش‌ت، که‌م‌دولت‌رین‌آن‌ج‌هل‌دگی‌زوه‌نگ‌ام‌کامپوزیت‌FRP‌پیش‌از‌دستیابی‌به‌بیت‌کششی‌آن‌می‌تواند‌دلش‌ت‌ده‌از‌م‌ه‌ار‌های‌FRP‌یک‌روش‌م‌ت‌رایب‌ت‌آخ‌یر‌ان‌داخ‌ن‌یا‌ح‌ذ‌ف‌ج‌هل‌دگی‌ورق‌ه‌ای‌م‌ت‌ق‌وی‌تی‌درم‌ق‌اوم‌ساز‌ی‌س‌خ‌ت‌م‌ان‌ه‌ا‌م‌پیش‌د. این‌م‌طالعه‌ع‌م‌ق‌ق‌زراگ‌یری‌م‌ه‌ار،‌ن‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌م‌ه‌ار‌به‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌ورق‌ق‌وی‌تی‌و‌ت‌ک‌م‌ت‌ص‌ال‌ورق‌FRP‌روی‌س‌ط‌ح‌را‌م‌ور‌ب‌رسی‌ق‌رار‌می‌ده‌د‌ب‌ر‌ال‌ت‌ص‌ال‌ورق‌ه‌ای‌م‌ت‌ق‌وی‌تی‌از‌روشن‌ص‌ب‌خ‌ارج‌ی‌(EBR)‌ف‌ص‌ب‌خ‌ارج‌ی‌روی‌ش‌یار (EBROG)‌استفاده‌ش‌د‌ت‌ل‌ت‌ت‌ب‌یر‌ش‌ی‌اب‌ر‌ع‌م‌ل‌کرد‌م‌ه‌ار‌های‌FRP‌م‌ور‌ب‌رسی‌ق‌رار‌گیرد. درن‌م‌ون‌ه‌ای‌م‌ت‌ق‌وی‌تی‌در‌ش‌د‌به‌روش‌EBR‌استفاده‌از‌م‌ه‌ار‌های‌FRP‌فل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌م‌ه‌ار‌ی‌فل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌ص‌ال‌ورق‌ق‌وی‌تی‌و‌ب‌خ‌ش‌ب‌ل‌ن‌ز‌نی‌م‌ه‌ار‌و‌ت‌وان‌ایی‌در‌ت‌ل‌ت‌ق‌ال‌ب‌ع‌ق‌ر‌ت‌ن‌ش‌م‌ق‌اوم‌ت‌ص‌ال‌ر‌ب‌ه‌ط‌ور‌ج‌ش‌گ‌یری‌فل‌ز‌ای‌ش‌می‌ده‌د‌ب‌این‌ح‌ال‌فل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌ت‌ل‌س‌ب‌ب‌ل‌ر‌ت‌وان‌ایی‌ح‌ذ‌ف‌ج‌دل‌ت‌ر‌دگی‌ورق‌ت‌ق‌وی‌تی‌ران‌دارد. درم‌ق‌بال‌روش‌ش‌یار‌ز‌نی‌ب‌ت‌ک‌م‌یک‌EBROG،‌ج‌هل‌دگی‌را‌ح‌ذ‌ف‌کرده‌و‌م‌قاوم‌ت‌ص‌ال‌ر‌ت‌ا‌ح‌دود‌۴/ب‌ب‌ل‌ر‌ن‌س‌ب‌ن‌م‌ی‌ن‌ه‌ای‌ش‌اه‌د‌و‌روش‌EBR‌ف‌ز‌ای‌ش‌می‌ده‌د.

**واژه‌کلیدی‌دی:** کمپوزیت FRP، روش‌ص‌ب‌خ‌ارج‌ی (EBR)، روش‌ص‌ب‌خ‌ارج‌ی روی‌ش‌یار (EBROG)، مهاربت‌زنی.

## ۱. مقدمه

خ‌ارج‌ی‌ان‌هن‌ض‌ر‌ب‌ه‌و‌یا‌ع‌وام‌ل‌م‌ح‌یط‌ی‌م‌خ‌ر‌ب‌ن‌ی‌اب‌ه‌ق‌اوم‌س‌از‌ی‌دان‌د. از‌ج‌مله‌روش‌های‌م‌ی‌وم‌برای‌ق‌اوم‌س‌از‌ی‌س‌از‌ه‌ط‌ب‌یت‌ن‌آرمه‌م‌ت‌و‌ال‌ب‌ن‌ه‌ت‌ف‌اده‌از‌ص‌ف‌ح‌ات‌کل‌م‌پوزیت‌FRP‌ت‌ل‌س‌اره‌ن‌م‌ود.

س‌از‌ه‌های‌بت‌ن‌آرمه‌به‌د‌یل‌م‌ت‌خ‌لف‌از‌ج‌مله‌ض‌ع‌ف‌در‌ط‌را‌ح‌ی‌و‌اج‌ر‌ت‌غ‌ی‌یر‌در‌کل‌م‌ری‌ت‌غ‌ی‌یر‌در‌آ‌ی‌ین‌امه‌م‌ت‌و‌ا‌ث‌یر‌ع‌وام‌ل

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

گیری م‌ه‌ا ر داخل‌بت‌ن را م‌ورب‌روی‌ق‌راردادن دبرسل‌اس‌ت‌ایج، گرد کردن م‌س‌وراخ م‌ا‌ر قبال م‌ ح‌ظه‌ای‌ب‌ر‌ت‌م‌رکت‌نش و در نت‌یجه م‌ق‌لوم‌بت‌ت‌صال دارد. ه‌ م‌چ‌ن‌ب‌ا‌ف‌ل‌زایش ع‌م‌ق و زاویه‌ی م‌ه‌ا ر و نیز ق‌ط‌ر م‌ه‌ا ر ق‌لوم‌بت‌ت‌صال افزایش م‌ی‌ابد [4].

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

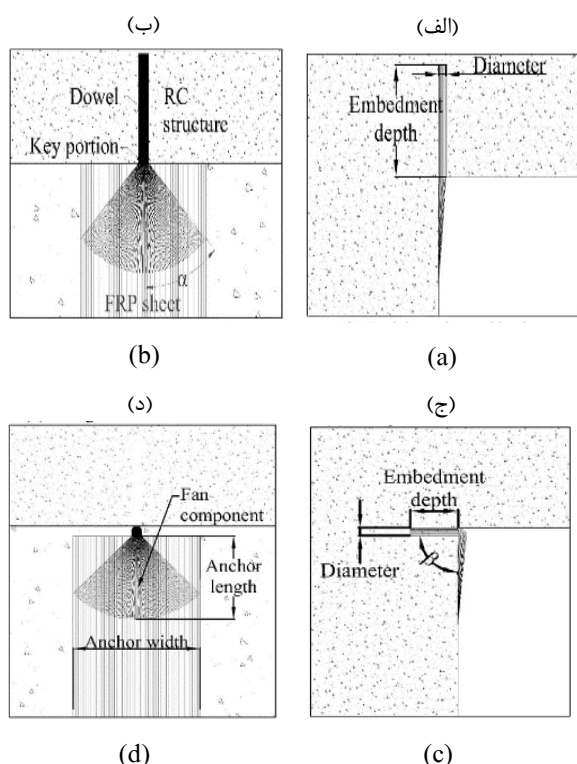


Fig. 1. Straight anchors and bent anchors: (a) Straight FRP anchors-side view; (b) Straight FRP anchors- front view; (c) bent anchors-side view; (d) bent anchors- front view [2]

درس‌ال ۲۰۱۸ س‌ک‌ت‌یلو و م‌کاران فیتار لرزه‌ای‌ش‌ش‌بت‌ون بت‌ن آرم‌ه‌ی‌ت‌ق‌ویت‌ش‌د‌م‌با ورق‌ها و م‌ه‌ا ر‌های FRP ر‌ب‌روی‌ن‌م‌ودن. ه‌ د‌ف‌صل‌ی‌ آ‌زم‌ایش‌ م‌ج‌اب‌ه‌ی‌ت‌ج‌ب‌ی‌ظ‌ف‌ی‌ت‌خ‌ش‌ی‌س‌ت‌ون‌ه‌ای‌ت‌ق‌ویت‌ش‌د‌م‌با ورق‌ها دو ح‌ل‌ات‌ش‌ک‌ر‌ت‌ح‌ات‌م‌لی‌گ‌س‌ی‌خ‌ت‌گی ورق‌های FRP و یا م‌ه‌ا ر FRP بود. اه‌د‌اف‌دی‌گ‌ر ت‌ح‌ی‌ق‌م‌ر‌ب‌ر‌ت‌ا‌ث‌یر‌ب‌ا‌ر‌های‌چ‌رخ‌های‌ک‌ش‌ش‌خ‌ش‌ا‌ب‌ر‌ظ‌ف‌ی‌ت‌م‌ه‌ا ر و ا‌ر‌ز‌ی‌ایی‌ک‌ف‌اد‌ه‌ از ورق‌ها FRP فیت‌ا‌ر‌س‌ت‌و‌ب‌ودن د‌ب‌ر‌ل‌ل‌ی‌ن‌ت‌ا‌ی‌ج‌ م‌ش‌ا‌ه‌د‌م‌ش‌د‌ه‌ب‌ا‌ر‌های‌چ‌رخ‌ه‌ای‌ا‌ث‌یر‌ق‌ب‌ال‌م‌ ح‌ظه‌ای‌ب‌ر‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ FRP د‌ان‌د. ه‌ م‌چ‌ل‌س‌ن‌ت‌ف‌اد‌ه‌ ا‌ن‌ع‌ داد‌م‌ه‌ا ر‌ه‌ای‌ب‌یش‌ت‌ر

بر‌ای‌ت‌صال و ر‌ق‌ت‌ق‌ویت‌ی FRP م‌س‌ط‌ی‌بت‌ن روش‌های م‌ت‌غ‌ی‌ی‌پ‌ش‌ن‌ه‌ا‌ش‌د‌س‌ل‌ت، که از ج‌م‌ل‌ه‌ آن‌ه‌ا روش‌ن‌ص‌ب‌خ‌ا‌ر‌ج‌ی‌) EBR ( و روش‌های‌ش‌ی‌ا‌ر‌ز‌نی‌) EBROG (م‌ل‌ت‌ت‌ق‌ویت‌س‌از‌ه‌م‌ل‌ی‌ا‌ک‌ف‌اد‌ه‌ از ورق‌های FRP س‌از‌و‌کار‌ه‌ای‌گ‌س‌ی‌خ‌ت‌گی‌م‌ت‌ن‌وع‌ی‌را در‌پ‌ی‌خ‌وا‌ه‌د‌ه‌ل‌ت، ک‌م‌ت‌دا‌ول‌ت‌ر‌ی‌ن‌آن‌ج‌دا‌ش‌گی‌زود‌ن‌گ‌ام‌ک‌ل‌پ‌و‌ز‌ی‌ت‌ FRP پ‌یش‌از‌س‌ت‌ی‌ایی‌ب‌یش‌ت‌ر‌ی‌ن‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ک‌ش‌ش‌ی‌آن‌س‌ل‌ت. ج‌د‌ل‌ش‌گی‌زود‌رس‌م‌م‌ک‌ن‌س‌ل‌ت‌ف‌ا‌ش‌ی‌از‌ب‌ج‌ای‌ری‌ز‌ت‌ر‌ک‌ه‌ا‌ج‌ی‌ت‌ن‌ب‌ا‌گ‌ذ‌اری‌س‌ی‌ک‌لی، م‌ر‌ز‌ض‌ع‌ی‌ف‌ب‌ی‌ن‌ت‌ن‌و ورق‌ها FRP م‌ش‌ا‌ت‌ب‌ا‌ه‌در‌ط‌را‌ح‌ی‌و‌ا‌ج‌ر‌ب‌ل‌ش‌د‌[1]ب‌ن‌ب‌ر‌این‌ه‌م‌ی‌ن‌ط‌ور‌ک‌ب‌ه‌ک‌ا‌ب‌ردن‌ورق‌های FRP د‌ی‌ق‌و‌یت‌س‌از‌ه‌ا‌در‌ح‌ال‌گ‌س‌ت‌ر‌ش‌س‌ل‌ت‌ک‌ف‌اد‌ه‌از‌ب‌یش‌ت‌ر‌ی‌ن‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ک‌ل‌پ‌و‌ز‌ی‌ت‌ FRP م‌ت‌ل‌ز‌م‌ح‌ذ‌ف‌و‌ی‌ل‌ب‌ت‌ا‌خ‌ی‌ر‌ان‌خ‌ات‌ن‌ج‌د‌ل‌ش‌گی‌زود‌ن‌گ‌ام‌ورق‌ت‌ق‌ویت‌ی‌ب‌ب‌ه‌ک‌ا‌گ‌ی‌ری‌روش‌ها و س‌از‌و‌کار‌هایی‌بر‌ای‌ا‌ی‌جاد‌م‌ه‌ا ر‌ک‌افی‌م‌ی‌ش‌د. روش‌های م‌ت‌غ‌ی‌ی‌بر‌ای‌ج‌ل‌گ‌ی‌ری‌ی‌ل‌ت‌ا‌خ‌ی‌ر‌ان‌خ‌ات‌ن‌ج‌د‌ل‌ش‌گی‌زود‌ن‌گ‌ام‌ورق FRP و‌ج‌ود‌د‌ان‌د، که از ج‌م‌ل‌ه‌آ‌ل‌م‌وات‌ف‌اد‌ه‌از م‌ه‌ا ر‌های FRP ب‌ل‌ب‌ز‌نی‌م‌ی‌ش‌د. م‌ه‌ا ر‌های FRP م‌ش‌ا‌م‌ل‌ب‌ک‌م‌د‌ت‌ه‌ال‌ی‌اف، یا ی‌ک‌ف‌ب‌ک‌ه‌ی‌ال‌ی‌اف‌ل‌ی‌م‌ش‌د، ب‌ل‌غ‌ت‌م‌ه‌ر‌ز‌ی‌ا‌پ‌و‌ک‌س‌ی‌ب‌ه‌ع‌ن‌وا‌ن‌ا‌ت‌ر‌ی‌س‌م‌ت‌ن‌د‌که‌ی‌ک‌ن‌ت‌های‌آن‌د‌رون‌خ‌ره‌ی‌آ‌م‌اد‌ش‌د، داخل‌بت‌ن‌ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌س‌ت‌ه‌ا‌ف‌ت‌های‌دی‌گ‌ر‌آن‌روی‌ورق FRP ن‌ص‌ل‌م‌ی‌ش‌ود. این‌م‌ه‌ا ر‌ه‌ل‌ب‌ر‌ح‌س‌ب‌م‌ح‌ل‌ک‌ل‌پ‌ر‌د‌ب‌ه‌د‌وس‌د‌ت‌ه‌ک‌لی‌م‌ه‌ا ر‌های‌م‌ت‌ق‌یم و م‌ه‌ا ر‌های‌خ‌م‌ی‌د‌م‌ت‌ق‌س‌یم‌م‌ی‌ش‌ون‌د. شکل ۱) انواع م‌ه‌ا ر‌ها و نیز ا‌ج‌ز‌ای‌ت‌ش‌ک‌ی‌ل‌د‌ن‌ده‌م‌ه‌ا ر‌ا‌ن‌ش‌ان‌م‌ی‌ده‌د [2].

در‌ت‌ح‌قی‌ق‌ات‌گ‌ش‌ز‌ن‌ت‌ت‌ا‌ث‌یر‌ب‌ا‌ر‌ه‌ای‌م‌ه‌ا ر‌های FRP م‌ق‌لوم‌بت‌ت‌صال و م‌ود‌ش‌ک‌ر‌ت‌ن‌م‌ون‌ه‌ب‌ه‌ط‌ور‌س‌گ‌ت‌ر‌ده‌م‌ور‌د‌ب‌ر‌ویی‌ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌س‌ت‌ه‌س‌ل‌ت. درس‌ال ۲۰۰۹ ا‌ز‌ب‌ک‌ا‌و‌غ‌ل‌و و م‌کاران فیتار گ‌ش‌ی‌م‌ه‌ا ر‌های FRP ه‌بت‌ن‌ر‌ب‌روی‌ن‌م‌ودن‌د. نت‌ا‌ی‌ج‌ب‌ر‌ویی‌آن‌ه‌ا‌ن‌ش‌ان‌م‌ی‌ده‌ب‌ا‌ف‌ل‌ز‌ایش‌ه‌ر‌یک‌ا‌ز‌ب‌ا‌ر‌ه‌ای‌ق‌ط‌ر، ع‌م‌ق، و زاویه‌ی‌ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌ی‌ری‌م‌ه‌ا ر داخل‌بت‌ن‌م‌س‌ط‌م‌ق‌لوم‌بت‌ت‌صال‌ک‌ا‌ه‌ش‌م‌ی‌ابد. ه‌ م‌چ‌ن‌ب‌ی‌ن‌م‌ق‌لوم‌بت‌ت‌ب‌ت‌ن‌م‌ل‌ب‌ر‌ای‌ن‌م‌ون‌ه‌هایی‌که‌ع‌م‌ق‌گ‌ی‌ر‌ایی‌م‌ه‌ا ر‌ع‌د‌د‌ک‌و‌چ‌کی‌س‌ل‌ت‌ا‌ه‌م‌ی‌ت‌پ‌ی‌دا‌م‌ی‌ک‌ند؛ زیرا ش‌ک‌ر‌ت‌این‌ن‌م‌ون‌ه‌م‌ل‌ب‌ص‌ورت‌گ‌س‌ی‌خ‌ت‌گی‌م‌خ‌رو‌ط‌ی‌ج‌ی‌وت‌ت‌ف‌ا‌ق‌ف‌ی‌ک‌د [3]. درس‌ال ۲۰۱۷ ل‌وراد‌و و م‌کاران روش‌س‌ا‌خ‌ت‌وض‌ب، ع‌م‌ق‌گ‌ی‌ر‌ایی‌م‌ه‌ا ر، گرد کردن م‌س‌وراخ‌ها، ق‌ط‌ر‌س‌وراخ و زاویه‌ی‌ق‌ر‌ا‌ر

روش EBROG با ن هایی و شکله ذیری بیش تری رلنبت به نمونه های تقویتش دبا روش EBR تقویه می کن هبه طوری که در مواردی روش EBROG توانایی حذف هگل گسی ورق و تب دلیل مود شکن به پارگی ورق را دارد [10-18].

درس ال ۱۱ مومت و فنی نژاد وشاملی ب بررستی اثیر روش ش یارزنی، زمان ی که از چن دین یه ورق FRP ت فاده میش و د، پ رطلعن د. نمونه های ب لبع اد  $1000 \times 140 \times 120$  میلی م ت ربا دو تکنیک EBR و EBROG ب لبع ی ی، دو وسه یه ورق تقویتش دن د و ت ح تبارگ ذاری خم ش چ هارنقطه های ق رارگ ت فن د. نتایج ح اکی از آن سلت کتصال ورق FRP ت بیرهای بنی م یوان هبارن هایی و م چن شکلپ ذیری رله طور مقوری فلزایش ده سکت فاده از روش EBROG برای تیره ایی که با اس ت فاده از چن د یه ورق FRP تقویت میش و د، یک تکنیک س یار کار آم دسلت و م یوان هبارن هایی رتا ۶۶ درصد فلزایش ده د. ه مچن ن نمونه های تقویتش دبه روش EBROG شکلپ ذیری بیش تری رانبت تب نمونه های تقویتش دبا روش EBR تقویه می کن د [11].

درس ال ۱۹ م لیمیان فیتا ت اتصال کلپ وزیت FRP را ت ح تسرعت های مغل فبارگ ذاری بروسی م و د. ۳۶ نمونه با ابع اد  $350 \times 150 \times 150$  میلی م تقوام ت فشاری ۱۴، ۲۸ و ۴۲ تهیه ش دبر سل اس نتایج ح لصل از آزمایش برش س م تقیم در نمونه های تقویتش دبه روش EBR ب فلزایش سرع تبار گ ذاری ظفیت ت اتصال ورق تقویت ی فلزایش می یب د. ه مچن ن فلزایش ظفیت ت اتصال ای اوم تبت ن ابطه ی عکس دارد. از طفوی در روش EBROG ب این علت که شکت جوت تفاق م فیلد مقوام ت تب نبا ظفیت ت اتصال ابط مرم تقیم دارد [12].

درس ال ۲۰۲۲ م ح دی پام ت ره ای فصل ل ه و رلنت ای ش یار را که در ت حقیقی ات پ پیشین نفلت درن ظر گسته میش د، در کبار پامت ره ای عمق و عرض ش یار م و ر ه بروسی قرار داد. در این ت حقیق ب برای الی بربار از گروم ش یارب رای تقویت ن هون موکت فاده ش ه بر سل اس نتایج با کاهش فطر ل ه ی بینش یه اراه ای اوم ت ت اتصال فلزایش می یب د. ه مچن ن نتایج ح اکی از آن سلت که مقوام ت اتصال درن هون ه لاش یارهای ط لوی و عوضی تقویه یکن آن سلت؛ اما مکانی ز م ت ق التان ش در آن م ت تفاوت میش ل دبه این گونه که

به همراه یک یه دورپچ در مح لتاصل لوت و ن ب فون هل یون، عمل کبوت ون را در ش کلپ ذیری ون بروی ه ایی م ب و د م یب ش خ د [5].

درس ال ۲۰۲۰ سکت ل یو و ه م کاران کیفیت نض ب م هار FRP ت ع م یوت ن ب ر فیتا ل رزه ای م ت ون ه لیت ن آرم ه ی تقویتش دبا ورق های FRP را م و ر بروسی ق رار دادن ه بروسی ه انشان می ده د ت ع م یوت ن ل س یب دیده میات نبا کیفیت ت پ ایین خ ت ی الییه، ظفیت خ ش ی و شکلپ ذیری س ت ون رله خ طرن م یان دازد. ه مچن ن کیفیت نض ب بر عم ل کرد م نل ب م هار ب س یل توات یرگ ذار سلت؛ نض ب ض ع یف م ه اراه ای FRP ط و ر ق ب ل ت و ج ه ی ظفیت م و ر د ان ت ظ لوت و ن تقویتش دبا ورق ها و م ه اراه ای FRP را کاهش می ده د. نض ب ص ح یج م ه اراه ای FRP اطم ینان می ده د که م یوان به ظفیت م و ر ن ذ ظار ه ت فیل ت تب دون این کب ر شکلپ ذیری اس ت فاده از چن د یه ورق FRP تقویت میش و د، یک تکنیک س یار س ت فو تقویتش ت اث یر م ق ب یگ دارد [6].

بر این موکت فاده از م هار های FRP در تقویتش ی و خ ش ی ا ع ض ا ی ت ن آرم ش ام ل ت یوت و ن ت اصرا و دال ه انشان می ده د که ب کابردن این م ه اراه ظفیت ب ر ی ن ه ایی و شکلپ ذیری و ج ذب ان رژی رله ط و ر ق ب ل م ح ظه ای فلزایش می ده د [7-9].

تلبه اهرز بروسی های مح دود ی پیرامون اث یر تکنیک ت اتصال روق تقویتش بر عم ل کرد م ه اراه ای FRP تقیم ت ج ام ش ده سل ت و پامت ره ای م ه اراه ای FRP ت ن ه ایی و م ر د بروسی قرار گرت فن د، که م ان عمل ل ی در اج رای طرح های دقیق و کار آم برای م ه اراه ای FRP م ن ض م ن سل م بر این ه ا ت حقیق ج ام ع ی پیرامون ش خ س ات م هاره ای م تقیم ن ظیر عمق ق رار گیری م هار فلخ ن، طول ب خ ش باب نی و س ن ب ت س ط ح ق ط ع م هار به روق تقویتش ن ج ان گ فیت ه سلت. یک م یل ه کلیدی م ر ک فاده از م ه اراه ای FRP ت ع یین م ش خ س ات م و ب ل ت ج ه به روش ت اتصال و طول روق تقویتش سلت، که ج دلش گسی ورق FRP به طور کامل ح ذف کرده و مود شکت رله ه گس یختگی روق تقویتش تب دلیل کذب ر سل اس ت حقیقی ات ان ج ام ش ده و دانقو گول ن ع ی اص ف ل ل ن ت فاده از روش ش یارزنی از تکنیک های مقوری برای ح ذف یل م ت ا خ یر ان ط ن ج دلش گسی زود ه نگام روق تقویتش م یوان. نتایج حقیقی ات نشان می ده د که نمونه های تقویتش دبه

## ۲. مراحل آزمایشگاهی

### ۲-۱- مشخصات نمونه و تنه مودت فاده

برای بررسی فیتال اتصال ورق تقویتیتی به سطح بتن با عداد نمونه ۱۰  $150 \times 150 \times 350$  میلی‌متر در نظر گرفته شد و به جهت بررسی ممبره ای تقویتیتی بیرون آم‌گ‌ب‌ه ان دازه ۸۰ میلی‌متر در مرکز نمونه قرار گرفته است و ان از نمونه برای ان جام دو آزمایش، شکل ۲). برای تعیین مقاومت تفشاری بتن صرفی، ۳ نمونه بلهت وان‌ه‌ای با ارتفاع 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

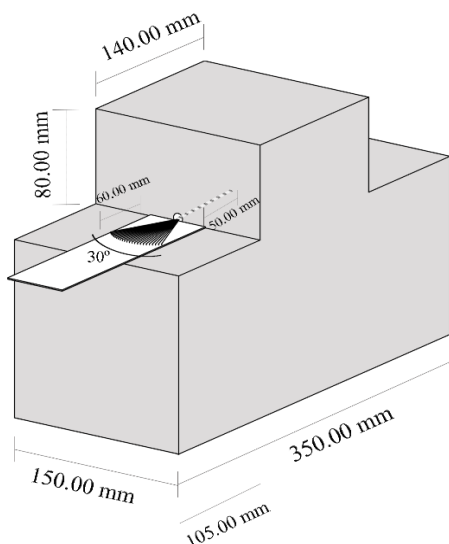


Fig. 2. T-shaped specimens

### ۲-۲- مشخصات ایف‌ب‌ا و کفی مودت فاده

به منظور تقویت نمونه‌ها، کله‌وزیت مه‌دل‌ح‌ش‌د‌د‌ب‌ال‌ی‌ا‌ف (رکب‌ن) CFRP) موب‌ی‌ن‌ک‌ف‌ا‌د‌ه‌ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌ف‌ت. ورق‌ه‌لی‌ن‌ک‌ف‌ا‌د‌ه‌ش‌ده، مح‌س‌ول‌ش‌ر‌ک‌ت Sika م‌ک‌ر‌و‌ئ‌ی‌س‌ و‌ب‌ا‌ن‌ا‌م‌ت‌ج‌ا‌ری Sika Wrap-230C مه‌ن‌ک‌ن‌د‌ از رزین برای اتصال ورق‌ب‌س‌ط‌ج‌ت‌ن‌و‌ن‌ی‌ز‌ب‌ه‌ع‌ن‌وان‌ا‌م‌ت‌ر‌ی‌س‌ در کله‌وزیت FRP ن‌ک‌ف‌ا‌د‌ه‌ م‌ی‌ش‌ود. د‌ت‌خ‌ق‌ی‌ق‌ ح‌ط‌ر‌ر‌ از رزین‌ل‌پ‌و‌ک‌س‌ی‌ Qantom-EPR3301 ل‌ی‌د‌ی‌ش‌ر‌ک‌ت‌و‌ا‌ک‌ا‌ت‌وم‌ ایران‌س‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ش‌د. این رزین از دو جزء A و B تشکیل شده است. نسبت جزء A به B برابر ۱ به ۱ است. برای عمل‌آوری رزین‌ل‌پ‌و‌ک‌س‌ی‌ ۷ روز در دم‌ای ۲۵ درجه

ش‌ی‌ه‌ا‌ر‌ه‌ای‌ط‌ی‌ب‌ت‌ن‌ش‌ر‌ب‌ه‌ع‌م‌ق‌ی‌ت‌ن‌م‌ت‌ق‌ل‌ک‌ر‌ده‌ام‌ا‌ش‌ی‌ه‌ا‌ر‌ه‌ای‌ع‌ض‌ب‌ت‌ن‌ش‌را‌د‌ر‌س‌ط‌ج‌ت‌ن‌گ‌س‌ت‌ر‌ش‌م‌ی‌د‌ه‌ن‌د [13].

د‌ت‌خ‌ق‌ی‌ق‌ ح‌ظ‌ی‌ر‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از ممبره ای تقویتیتی به لب‌ج‌زنی در کنار این تکنیک برای هرمن دی کامل از ظرفیت ورق تقویتیتی مورد بررسی قرار خ‌وا‌ه‌د‌گ‌ف‌ت‌ت‌خ‌ق‌ی‌ق‌ات‌ان‌ج‌ا‌م‌گ‌س‌ت‌ه‌ر‌و‌ط‌ب‌ع‌ا‌ه‌ش‌ی‌ا‌ر‌ن‌ش‌ان‌م‌ی‌د‌ه‌د‌ع‌م‌ق‌ش‌ی‌ا‌ر‌۱۰ میلی‌متر برابرگ‌س‌ی‌خ‌ن‌گ‌ی‌ن‌ه‌ای‌ی‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌ر‌ل‌ت‌۸۰ درصد فلز زایش می‌دهد و می‌تواند ج‌د‌ل‌ش‌گ‌ی‌را‌ا‌س‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ن‌م‌ود) شکل ۲). برای تعیین مقاومت تفشاری بتن صرفی، ۳ نمونه بلهت وان‌ه‌ای با ارتفاع 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 قوی‌ت‌س‌از‌ه‌ه‌ل‌ی‌ت‌ن‌آ‌رم‌ه‌و‌ج‌و‌د‌ن‌خ‌وا‌ه‌د‌ه‌ل‌ت‌ت‌ح‌ق‌ی‌ق‌ات‌گ‌ش‌ن‌ت‌ن‌ش‌ان‌د‌ا‌د‌ه‌س‌ل‌ت‌که‌ع‌م‌ق‌ک‌ف‌ر‌از‌۱۰ میلی‌متر ج‌د‌ل‌ش‌د‌گ‌ی‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌از‌س‌ط‌ج‌ت‌ن‌ر‌ب‌ه‌م‌ا‌ر‌ا‌م‌ش‌وا‌ت‌ه‌و‌ا‌م‌ک‌ان‌ا‌س‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ی‌ک‌ا‌م‌ل‌از‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌در‌این‌ح‌ل‌ت‌و‌ج‌و‌د‌ن‌خ‌وا‌ه‌د‌ه‌ل‌ت‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌ع‌ر‌ض‌ش‌ی‌ا‌ب‌اع‌م‌ق‌ی‌ت‌م‌ن‌ج‌ب‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌ب‌ا‌ر‌گ‌س‌ی‌خ‌ن‌گ‌ی‌ن‌ه‌ای‌ی‌م‌ی‌ش‌ود؛ اما افزایش عرض‌ش‌ی‌ا‌ر‌ب‌ی‌ش‌از‌۱۰ میلی‌متر و صیه‌ن‌م‌ی‌ش‌ود؛ زیرا ایجاد این‌ش‌ی‌ا‌ر‌م‌ی‌ت‌وان‌د‌ا‌س‌ی‌ب‌ز‌ی‌ا‌د‌ی‌ب‌ب‌ه‌ت‌ن‌و‌ا‌ر‌د‌ک‌ر‌ده‌و‌از‌ظ‌ف‌ی‌م‌ی‌ل‌و‌ل‌ن‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌از‌چ‌ب‌ل‌پ‌و‌ک‌س‌ی‌ر‌ب‌م‌ق‌د‌ری‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌ده‌د، که از نطق‌ل‌ت‌ص‌ا‌د‌ی‌ب‌ص‌ف‌ن‌ی‌ت [16-17] ی‌ا‌ب‌ر‌این‌در‌این‌ت‌خ‌ق‌ی‌ق‌از‌ش‌ی‌ا‌ر‌ه‌ای‌ب‌ا‌ع‌م‌ق‌و‌ع‌رض‌۱۰ میلی‌متر و طول‌ت‌ا‌ص‌ل‌ل‌ی‌ک‌ف‌ر‌از‌ط‌و‌ل‌ت‌ا‌ص‌ل‌م‌و‌ر‌س‌ل‌ف‌ا‌د‌م‌ش‌د‌ت‌ا‌م‌ک‌ا‌ن‌ب‌ر‌و‌ی‌ع‌ل‌م‌ک‌ر‌ده‌م‌ا‌ر‌ل‌و‌ت‌ه‌ای‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌، برای ح‌ذ‌ف‌ج‌د‌ل‌ش‌گ‌ی‌ورق‌از‌س‌ط‌ج‌ت‌ن‌و‌ج‌و‌د‌ن‌ش‌وا‌ت‌م‌ب‌ش‌ل‌د‌ع‌و‌ب‌ر‌آن‌، در‌اع‌ض‌ای‌از‌س‌ا‌ز‌ه‌ا‌ف‌ن‌ت‌ی‌ر‌ه‌ای‌T شکل، ممکن‌س‌ل‌ت‌ت‌ا‌م‌ی‌ن‌ط‌و‌ل‌ت‌ا‌ص‌ل‌م‌و‌ر‌ا‌م‌ک‌ا‌ن‌ب‌ذ‌ی‌ر‌ن‌ب‌ش‌ل‌د‌ب‌ه‌ک‌ا‌ر‌گ‌ی‌ر‌ی‌م‌مبره‌ای‌FRP ب‌ل‌ج‌زنی‌یکی‌از‌راه‌ه‌ل‌ی‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌از‌ب‌ی‌ت‌ر‌ی‌ن‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌در‌این‌ح‌ل‌ت‌س‌ل‌ت‌ب‌م‌ن‌ظ‌و‌ب‌ر‌و‌ی‌ت‌ج‌ب‌ف‌ی‌ت‌ار‌م‌مبره‌ای‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌پ‌س‌از‌ن‌ض‌ب‌م‌مبره‌ای‌ورق‌FRP، نمونه‌م‌ت‌ح‌ت‌آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ی‌ر‌ش‌س‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌ق‌ر‌ا‌ر‌م‌ی‌گ‌ی‌ر‌ند. در مح‌د‌و‌د‌ه‌پ‌ژو‌ه‌ش‌ع‌م‌ق‌گ‌ی‌ر‌ای‌م‌م‌ا‌ر‌، س‌ن‌ب‌ت‌س‌ط‌ح‌ق‌ط‌ع‌م‌م‌ا‌ر‌ب‌ه‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌، چ‌گ‌و‌ن‌گ‌ی‌ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌ی‌ر‌ی‌ق‌م‌س‌ت‌ب‌ل‌ج‌زنی‌م‌م‌ا‌ر‌روی‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌و‌ر‌و‌ش‌ن‌ض‌ب‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌و‌ه‌ر‌د‌ب‌ر‌و‌ی‌ق‌ر‌ا‌ر‌خ‌وا‌ه‌ن‌د‌گ‌ف‌ت.

لنتی‌گراد می‌شود. هچنین میزان رزین مصرفی پیشین‌ها ده ت‌م‌د‌د‌ش‌د‌ر‌ک‌ت‌و‌ا‌ک‌ت‌و‌ب‌ی‌ن‌ ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ گرام به ازای هر نفر هپ‌ع‌ل‌ی‌ا‌ف‌س‌ل‌د‌ت‌. ش‌د‌خ‌ص‌د‌ا‌ت‌ م‌ک‌ا‌ن‌ی‌ک‌ی‌ا‌ل‌ی‌ا‌ف‌ و رزیدل‌پ‌و‌ک‌س‌دی‌ م‌و‌س‌و‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ (در ج‌د‌ول ۱) (نشان‌دادمش‌ده‌س‌ل‌ت‌ [18-19]).

جدول ۱. مشخصات مکانیکی الیاف و رزین‌پلوکی 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

## ۲-۳- آزمون‌های آزمایشی روش‌های

نمونه‌ها پس از ق‌ا‌وم‌س‌ا‌ز‌ی‌به‌ م‌ی‌ی‌ده‌ ک‌ل‌ه‌و‌ز‌ی‌ت‌ FRP داخل سردت‌گ‌ا‌ه‌ آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ب‌ر‌ش‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌، م‌ج‌ه‌ز‌به‌ ی‌ک‌ ج‌ک‌ ه‌ی‌د‌ر‌و‌ل‌ی‌ک‌ی‌ا‌ ظ‌ف‌ی‌ت‌ ۳۰۰ کیلو نیوتن قرار می‌گیرند (شکل ۳).

شکل ۳- دستگاه آزمون‌های آزمایشی روش‌های



Fig. 3. Single-lap shear test setup

استفاده از جک هیدرولیکی نیروی ۳۵۰ کیلو نیوتن محکم می‌شود. از دو ورق فولادی ۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر لانت‌های ورق تق‌و‌ا‌ی‌ت‌ی‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌گ‌ر‌د‌ی‌ل‌ت‌ا‌ ا‌ن‌پ‌ا‌گ‌ی‌ م‌ض‌ع‌ی‌ و ر‌ق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌ داخل سردت‌گ‌ا‌ه‌ ج‌ل‌گ‌ی‌ر‌ی‌ش‌و‌د‌. برای ج‌ل‌گ‌ی‌ر‌ی‌ از چ‌ر‌خ‌ش‌ن‌ه‌م‌ه‌ داخل سردت‌گ‌ا‌ه‌ و د‌ب‌ل‌ت‌ب‌ه‌ق‌ط‌ر‌ ۱۶ میلی‌متر و یک‌ش‌م‌ش‌ف‌و‌ل‌ا‌دی‌ب‌ر‌ا‌ی‌ ب‌ی‌ن‌ر‌ ک‌ر‌د‌ن‌ن‌ی‌رو‌ی‌ خ‌ا‌ر‌ج‌ از م‌ح‌و‌ر‌به‌ ک‌ا‌ر‌ب‌ر‌د‌ه‌ش‌د‌. د‌ر‌ت‌م‌ا‌م‌ی‌ آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ ه‌ب‌ا‌گ‌ ذ‌ا‌ر‌ی‌ب‌ه‌ص‌و‌ر‌ت‌ ک‌ن‌ک‌ر‌ل‌ت‌غ‌ی‌ر‌ م‌ک‌ا‌ن‌ا‌ن‌ج‌ا‌م‌ش‌d‌. در سردت‌گ‌ا‌ه‌ ح‌ظ‌ر‌م‌ت‌ و ا‌ن‌س‌ر‌ع‌ت‌ب‌ا‌ر‌گ‌ ذ‌ا‌ر‌ی‌ ب‌ی‌ن‌ت‌ا‌ ۶۰ میلی‌متر ب‌ر‌ق‌ی‌ق‌ی‌ن‌ظ‌ی‌م‌ن‌م‌و‌d‌. م‌ط‌ب‌ق‌ب‌ا‌ط‌ل‌ا‌ن‌ا‌د‌ [ASTM D3039] [20] ب‌ا‌ر‌گ‌ ذ‌ا‌ر‌ی‌ب‌ا‌س‌ر‌ع‌ت‌ ۲ میلی‌متر ب‌ر‌ق‌ی‌ق‌ه‌ در ح‌ل‌ل‌ت‌س‌ل‌ا‌ت‌ ی‌ک‌ی‌ ب‌ش‌ن‌ه‌ا‌د‌ م‌ی‌ش‌و‌d‌.

## ۲-۴- تطبیق‌دهی تق‌و‌ی‌ت‌ن‌م‌ه‌ه‌ای‌ آ‌ن‌پ‌ا‌گ‌ا‌ه‌ی‌

نام‌گ‌ ذ‌ا‌ر‌ی‌ن‌م‌ه‌ه‌ه‌ای‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌ ذ‌ا‌م‌ی‌ا‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از م‌ه‌ا‌ر‌ه‌ا‌ی‌ب‌ا‌د‌ ب‌ز‌ن‌ی‌ب‌ه‌ص‌و‌ر‌ت‌ T-d-f-n س‌ل‌ت‌ که T ر‌و‌ش‌ن‌ض‌ب‌ (ر‌و‌ش‌ن‌ض‌ب‌ خ‌ا‌ر‌ج‌ی‌ یا EBR و ر‌و‌ش‌ن‌ض‌ب‌ خ‌ا‌ر‌ج‌ی‌ ر‌و‌ی‌ش‌ی‌ا‌ر‌ یا EBROG)، d ط‌و‌ل‌ب‌ل‌ب‌ز‌ن‌ی‌، ن‌گ‌ن‌ب‌ت‌س‌ط‌ح‌ ق‌ط‌ح‌ م‌ه‌ا‌ر‌به‌ و ر‌ق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌ و n ش‌م‌ا‌ر‌ه‌ ت‌ک‌ر‌ا‌ر‌ م‌ی‌ش‌و‌d‌. ه‌م‌چ‌ن‌ی‌ن‌ن‌م‌ه‌ه‌ه‌ای‌ب‌ه‌ع‌ن‌و‌ا‌ن‌ن‌م‌ه‌ه‌ه‌ای‌ ش‌ا‌ه‌d‌ ب‌ر‌ا‌ی‌ب‌ر‌و‌ی‌ع‌م‌م‌ل‌ک‌ر‌d‌م‌ ه‌ل‌ت‌ن‌ ظ‌ل‌ی‌ا‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از ی‌ک‌ ی‌ه‌ و‌ر‌ق‌ FRP تق‌و‌ی‌ت‌ش‌د‌ن‌. نام‌گ‌ ذ‌ا‌ر‌ی‌ ا‌ی‌ن‌ن‌م‌ه‌ه‌ه‌ای‌ب‌ه‌ص‌و‌ر‌ت‌ T-S-n م‌ی‌ ب‌ش‌d‌ که T ر‌و‌ش‌ن‌ض‌ب‌ و ر‌ق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌ و n ش‌م‌ا‌ر‌ه‌ ت‌ک‌ر‌ا‌ر‌س‌ل‌ت‌. در ت‌م‌ا‌م‌ی‌ آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ ظ‌ل‌ک‌ه‌ی‌ ب‌ک‌و‌ن‌ی‌ب‌ه‌ض‌خ‌ا‌م‌ت‌ ۰/۱۳۱، ع‌ر‌ض‌ ۴۸ میلی‌متر و ط‌و‌ل‌ت‌ا‌ص‌ا‌ل‌ ۷۰ میلی‌متر ب‌ه‌ ک‌ا‌ر‌ب‌ر‌د‌ه‌ش‌d‌. ه‌م‌چ‌ن‌ی‌ن‌ ع‌م‌ق‌گ‌ی‌ر‌ا‌ی‌ی‌ م‌ه‌ا‌ر‌ د‌ر‌ت‌م‌ا‌م‌ی‌ن‌م‌ه‌ه‌ه‌ای‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌ ذ‌م‌ب‌ا‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از م‌ه‌ا‌ر‌ه‌ا‌ی‌ب‌ه‌ص‌و‌ر‌ت‌ب‌ی‌ب‌ل‌ر‌ ۵۰ میلی‌متر د‌ر‌ن‌ظ‌ر‌گ‌ر‌ت‌ش‌d‌ه‌س‌ل‌ت‌. در ن‌م‌ه‌ه‌ه‌ای‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌ ذ‌م‌ب‌ه‌ ر‌و‌ش‌ EBROG از د‌و‌ش‌ی‌ا‌ر‌ب‌ا‌ع‌م‌ق‌ و ع‌ر‌ض‌ ۱۰ میلی‌متر ب‌ف‌ص‌ل‌ب‌ت‌ب‌ل‌ر‌ ۲۰ میلی‌متر ف‌ا‌د‌ه‌ش‌د‌ب‌ر‌ا‌ی‌ ر‌ا‌س‌ت‌ی‌ آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ی‌ت‌ا‌ی‌ج‌، ه‌ر‌ آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ د‌و‌ب‌ا‌ر‌ا‌ن‌ج‌ا‌م‌گ‌ف‌و‌ت‌. د‌ر‌ص‌و‌ر‌ت‌ و‌ج‌و‌د‌خ‌ا‌ت‌ا‌ل‌ف‌ غ‌ی‌ق‌ب‌ق‌ب‌و‌ل‌ د‌ر‌ت‌ا‌ی‌ج‌، آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ ت‌ک‌ر‌ا‌ر‌ش‌د‌ب‌ه‌ م‌ن‌ظ‌و‌ر‌ تق‌و‌ی‌ت‌ن‌م‌ه‌ه‌ه‌ای‌ م‌ر‌ا‌ح‌ل‌ ز‌ی‌ر‌ا‌ن‌ج‌ا‌م‌گ‌ف‌و‌ت‌:

۱) در روش EBR یک‌دا یه‌نازکی از سطح‌ت‌نیات‌فاده از سن‌گ‌س‌ایش‌ب‌ثوات‌ه‌م‌ش‌و‌ه‌ت‌ل‌ن‌گ‌دانه‌های روی‌سطح‌ن‌م‌ن‌ن‌م‌ای‌ن‌ش‌ود؛ در روش EBROG محل‌ش‌یه‌اره‌ا‌وق‌را‌گیری‌ورق FRP بس‌ل‌ف‌اده از کلی‌س روی‌سطح‌ن‌م‌ن‌ه‌ع‌ت‌گ‌ذاری‌م‌ش‌و‌د. س‌س‌ش‌یه‌اره‌به‌و‌ی‌م‌ر‌د‌ت‌گ‌اه‌ش‌یار‌زن‌در‌م‌حل‌های‌ع‌ت‌گ‌ذاری‌ش‌ده‌ای‌جاد‌م‌ش‌ون‌د‌بر‌ای‌ای‌جاد‌ش‌یار‌ها‌از‌صف‌ح‌ه‌س‌ن‌گ‌ب‌ر‌ان‌لی‌تی‌ت‌ف‌اده‌م‌ش‌و‌د (شکل ۴).

شکل ۴. آماده‌سازی سطح‌ن‌م‌ن‌ه‌های آزم‌ن‌گ‌اه‌ی؛ (الف) نم‌ن‌ه‌های EBROG؛ (ب) نم‌ن‌ه‌های EBR

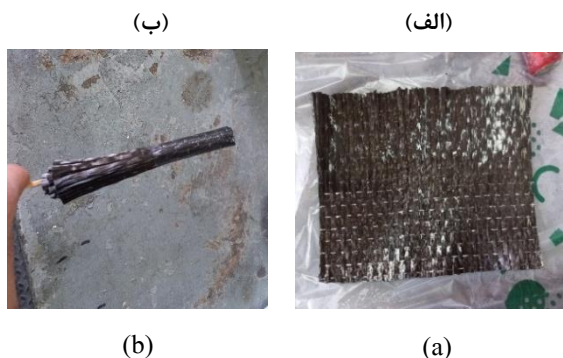


Fig. 5. Steps of anchor construction: (a) cutting CFRP to required lengths; (b) rolling the anchor around the dowel

۶) الیاف‌رک‌ن SikaWrap-230C که‌ق‌س‌م‌ت‌طول‌آزاد‌آن‌رق‌وب‌ل‌ث‌ب‌اع‌ش‌ده‌س‌ل‌ت‌، روی‌سطح‌ت‌ب‌ه‌ر‌زین‌ق‌را‌ر‌گ‌ف‌ت‌ه‌و‌یا‌ر‌زین‌پ‌و‌ک‌ی‌ت‌ب‌اع‌م‌ش‌و‌د. بر‌ای‌ج‌ل‌گ‌گیری‌از‌ل‌ح‌راف‌الیاف‌، ر‌ب‌ل‌ت‌اک‌ن‌س‌ب‌ا‌ت‌ف‌اده‌از‌گون‌یل‌ن‌ک‌ر‌ل‌ش‌د.

۷) با‌ق‌را‌ر‌گ‌ن‌ن‌ورق FRP روی‌سطح‌، لایف‌ب‌خ‌ش‌ب‌اد‌ب‌زنی‌م‌ه‌ا‌بر‌روی‌سطح‌ورق‌به‌و‌ی‌م‌یه‌ی‌ر‌زیم‌ت‌صل‌م‌ش‌و‌ن‌د (شکل ۶-ب).

شکل ۶. آماده‌سازی نم‌ن‌ه‌ها

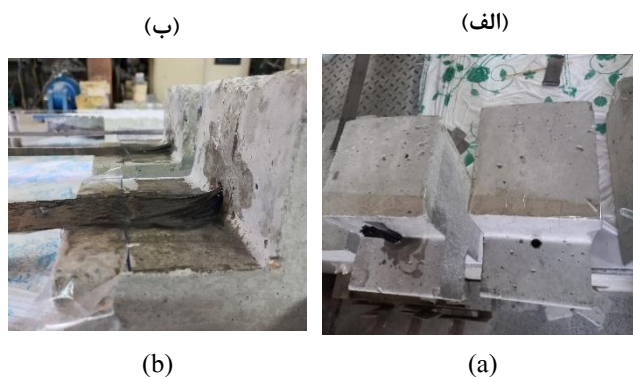


Fig. 6. Preparation of specimens

نم‌ن‌ه‌م‌پ‌س‌از‌آم‌دم‌س‌ازی‌به‌م‌دت‌۷‌روز‌بر‌ای‌ع‌م‌ل‌آوری‌در‌ش‌ر‌ایط‌آزم‌ن‌گ‌اه‌ق‌رار‌داده‌م‌ش‌ون‌د‌بر‌ای‌ان‌ج‌ام‌ت‌کنیک PIV،

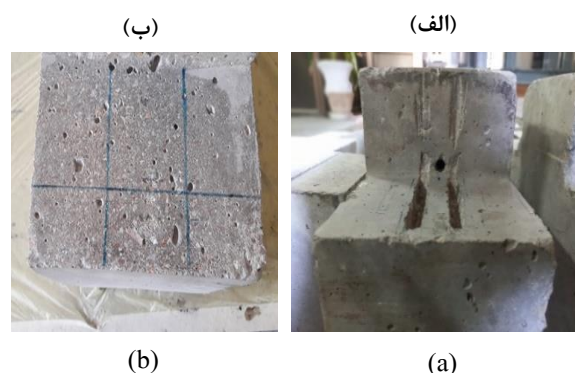


Fig. 4. Concrete surface preparation: (a) EBROG method; (b) EBR method

۲) خ‌ره‌ای‌باق‌طر ۱۲ میلی‌م‌تر‌وب‌ه‌عم‌ق ۵۰ میلی‌م‌تر‌به‌وس‌یل‌م‌ته‌دا‌خ‌ل‌ت‌ن‌و‌ق‌ی‌ق‌اً‌م‌ر‌ب‌ل‌ت‌با‌م‌حل‌ق‌را‌ر‌گیری‌ورق FRP ای‌جاد‌م‌ش‌و‌د.

۳) سطح‌آم‌دم‌ش‌ده‌ن‌ف‌ن‌ه‌، به‌و‌ی‌م‌یه‌ه‌ت‌گ‌ه‌پ‌م‌پ‌ه‌وا‌از‌ه‌ر‌گون‌ه‌ل‌و‌گی‌و‌گ‌رد‌و‌ی‌ع‌ر‌ت‌م‌یز‌م‌ش‌و‌د.

۴) الیاف‌رک‌ن SikaWrap-230C بس‌ل‌ف‌اده‌م‌وردن‌یاز‌بر‌ای‌س‌اخ‌ت‌م‌ه‌ا‌بر‌یده‌م‌ش‌و‌د‌پ‌س‌از‌خ‌ارج‌کردن‌خ‌ه‌ای‌نگ‌ه‌د‌لان‌ده‌ب‌ین‌الیاف‌در‌ق‌س‌م‌ت‌ب‌ل‌ب‌زنی‌م‌ه‌ار‌، آیف‌خ‌ش‌از‌م‌ه‌ار‌که‌دا‌خ‌ل‌ت‌ن‌ق‌رار‌می‌گیر‌به‌و‌ی‌م‌یه‌ر‌زین‌پ‌ب‌اع‌ش‌ده‌وب‌ه‌دور‌یک‌چ‌وب‌ن‌از‌ک‌پ‌ی‌چ‌یده‌م‌ش‌و‌د. م‌راح‌ل‌س‌اخ‌ت‌م‌ه‌ار‌در‌ش‌کل ۵) (ن‌ش‌ان‌داده‌ش‌ده‌س‌ل‌ت‌.

۵) م‌ه‌ار‌، دا‌خ‌ل‌خ‌هر‌م‌ر‌ش‌د‌با‌چ‌س‌ب‌ق‌رار‌داده‌ش‌ده‌و‌چ‌س‌ب‌ط‌رف‌لی‌خ‌ارج‌ش‌ده‌از‌اط‌راف‌آنب‌ثوات‌ه‌م‌ش‌و‌د. خ‌ره‌ها



## 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 ایپلسن بت سطح قطع ممبره به ورق تقویتی بلبزنی فلزایش مقوم بتتصال التاح دود ۳۳ درصد بت به نمونه های شاه د را دن د.

در ایپخش آزمایش ممبره مبدتقیم انج امگرتیه روی نمونه های تقویتی و بتش دب روسی مگردن د. در لآز، مقابقت اتصال روق تقویتی در نمونه ها و مودگس بیختگی آن هارایه می‌شود. در ادا ممبره نئی ممبره ل غزش نمونه های آزمایش هده گاهی مورد ب روسی قرار می‌گیرند.

## ۴-۱ مقوم بتتصال ان ممبره های آزمون‌های

گس بیختگی این نمونه هلبه ورت جلدش گسیب بین سطح ورق و بتن وسط جرق بام هلبه و سلت. در ادا مفلزایش بتتصل سطح قطع ممبره ورق تقویتی ممبره روسی قرار گرفت فلزایش سطح قطع ممبره ج هتفلزایش سطح اتصال ورق تقویتی و بختش باد ب زنی ممبره و توان ایی انزنتق البقتن ش، مقوم بتتصال رلبه طور چش گیری فلزایش می‌دهد به طوری که فلزایش ح دوداً ۵۸ درصدی در مقوم بتتصال شاه ده می‌شود.

برای بروس هدی عملمکرد ممبره های FRP بتایچ لخص ددل از آزمایش بروس هتقیم شامل مقوم بتتصل، مودگس بیختگی و درصده فلزایش مقابقت اتصال فلز بتبه نمونه های شاه دده در ج دول ۲) (ارایه شده سلت. ممبره چنیرب ممبره ورتخصل دار، مود گس بیختگی نمونه هلبه اهلبت هفاده از حروف لاتین بیان می‌شود و به این صورت که DC بیانگر جلدش گسی زود فگام روق تقویتی

جدول ۲. نتایج نمونه های آزمون‌های

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 ه لشت ق الت ن ش بیه تن ر انشتا م ب دون این که دچ ا ب یرون کشیدگی ش و د. ع م ق گ ی رایی ۵۰ میلی بقر م ع م و در ق س م ت پوش شیت ن ق ر ا ر گیت ه س ل ت، ع م بر آن ق ط ر خ خ ر ه ۱۰ میلی م ت ر ب و د ه و در ن و ا ح ی پ ف و ا ز س ا ز ه ه ل ی ت ن آ ر م ق ب ل ا ج ر ا م ب ی ش ل ن د. ب ل ت و ج م ه این که ر و ش EBROG د ر ب م ت ا خ ی ر ا ن م خ ت ن و ی ا ح ذ ف ج د ل ش گ ی ر و ق ت ق و ی ت ی ع م ل ک ر م ط ی ل ب ی د ا ر د، در ا د ا م ه ی ت خ ی ق ی ق ا ت ی ن ا ص ا ل و ر ق ب ا این ر و ش ب ه ه م ر ا ه م ه ا ر ه ا ی FRP م و ر د ب ر و ی ی ق ر ا ر گ ی ف ت.

ه م ا ن گ و ن ه که ش ک ل ۱۱) ن ش ا ن م ی د ه د، در ن م و ن ه ا ی EBROG م و د گ س ی خ ت گ ی در ن م و ن ه ا ی ش ا ه د، ج د ل ش گ ی و ر ق ت ق و ی ت ی و در ن م و ن ه ا ی ت ق و ی ت ش د م ب ا ن ک ف ا د ه از م ه ا ر ه ا ی FRP ل ج ب ز ن ی پ ا گ ی و ر ق ت ق و ی ت ی س ل ت. م ب ه ذ ک ر س ل ت، ع د م گ س ی خ ت گ ی م ه ا ر در ن م و ن ه ا ی ت ق و ی ت ش د م ب ا م ه ا ر ه ا ی س م ت ق ی م ن ش ا ن د ه ن د ه ک ف ا ی ت م س ط ح ق ط ع م ه ا ر ا ف ز ت ق ا ل ت ن ش ط ی ب ه ت ن س ل ت.

ش ک ل ۱۱. م و د گ س ی خ ت گ ی ن م و ن ه ا ی EBROG؛ ا ل ف (ن م و ن ه ا ی ش ا ه د؛ ب)

ن م و ن ه ا ی EBROG-60-2

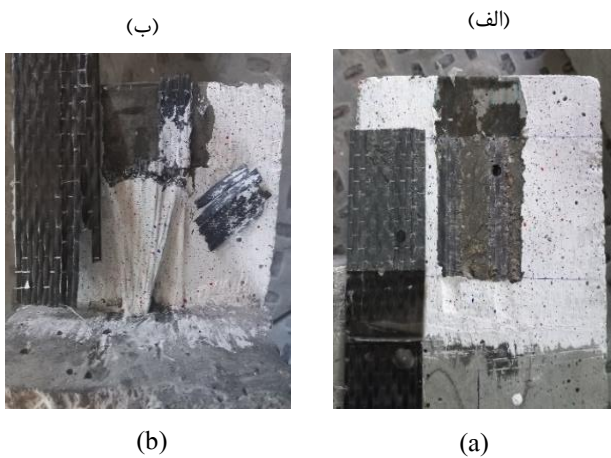


Fig. 11. Failure modes of EBROG specimens: (a) EBROG-S-1; (b) EBROG-60-2

ب ف ل ر ا ل ی ن ت ف ا د ه از م ه ا ر ه ا ی ا ب ی ن ی در ک ه ا ر ت ک ن ی ک ش ی ا ز ن ی، ج د ا ش گ ی و ر ق ت ق و ی ت ی ر ا ح ذ ف ک ر د ه و ا م ک ل ن ت ف ا د ه از ظ ف ی ت ک ا م ل آن ر ا ف ر ا ه م م ی ن م ا ی د. ن م و ن ه ا ی ت ق و ی ت ش د م ب ا ن ک ف ا د ه از م ه ا ر ه ا ی س م ت ق ی م، ف ل ز ا ی ش ۴۲ و ص د ی ر ب ه ط و ر م ی ا ن گ ی ن ی ن ب ت ب ه ن م و ن ه ا ی ش ا ه ت چ ب ه ک ر د ل ن د. م ق ا ی س ه ن ت ا ی ج این گ ر و م ب ا ن م و ن ه ا ی EBROG ن ش ا ن م ی د ل م ن ت ف ا د ه از ر و ش ش ی ا ر ز ن ی ا م ک ا ن ح ذ ف ج د ل ش گ ی ز و د ه ن گ ا م و ر ق ت ق و ی ت ی ر ل ب ا م ق ا د ی ر ک ه ت ر ی از

ب ا این ح ا ل، م و د ش ک ر ت در این ح ل ا ن ت غ ی ی ر ی ن ک ر د ه و ث ل ب ه ن م و ن ه ا ی EBR-60-2، ج د ا ش گ ی ت ف ا ق م ی ک ت د. م و د ش ک ر ت ن م و ن ه ا ی ش ا ه د و ن م و ن ه ا ی EBR-60-2 و EBR-60-3 در ش ک ل ۱۰) ن ش ا ن د ا د م ش د ه س ل ت.

ش ک ل ۱۰. م و د ش ک ر ت ن م و ن ه ا ی آ ز م ا ی ش؛ ا ل ف (ن م و ن ه ا ی ش ا ه د؛

ب) (ن م و ن ه ا ی EBR-60-2؛ ج) (ن م و ن ه ا ی EBR-60-3

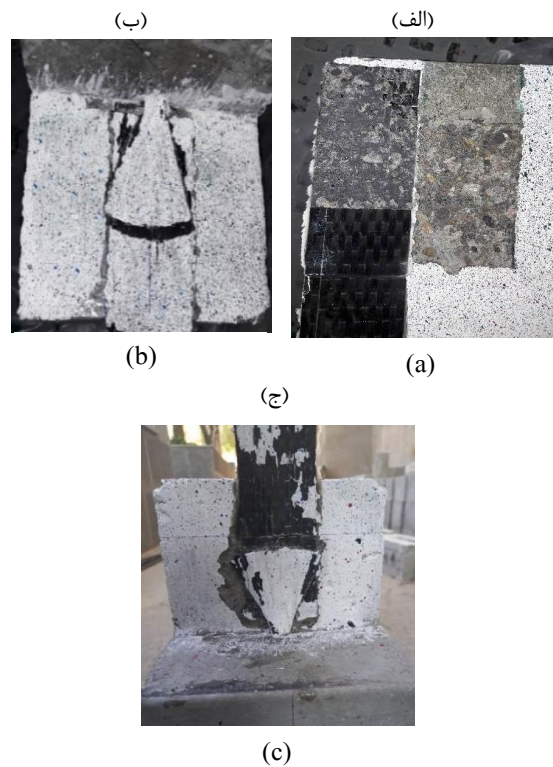


Fig. 10. Failure mode of EBR specimens: (a) EBR-S-1; (b) EBR-60-2; (c) EBR-60-3

ب ر ل س ا س ت خ ی ق ی ا ت س ک ا ت ی ل و و ه م ک ا ر ا ن در س ا ل ۲۰۱۹] 6، ن م و ن ه ا ی ت ق و ی ت ش د د م ب ا ل و ی ت ف ا د ه از م ه ا ر ه ا ی FRP با زاوی ه ی ک ه ت ب خ ش ب ل ب ز ن ی م ه ا ر، م ق ا د ی ر ب ا ر ن ه ا ی ب ی ش ت ر ی ر ل ت ج ب ه ک ر د ل ن د. ز ی ر ا در این ح ل ا ت م ق ا د ی ر ا ل ی ا ف در ر ل س ت ا ی ن ی ر و ف ل ز ا ی ش ف ی ل ت و ه ن ش ب و ش د د ی ک ا ه ش م ی ا ی د م ب ن ب ل ر ا ی ن در ت ق و ی ت ن م و ن ه ا ی س ه ع ی ب ر ا ی ب و د که زاوی ه ل ج ب ز ن ی ب ه گ و ن ه ا ی ب ی ش د د که از ۶۰ در ج ه ک ه ت ر ش د ه و م ه ا ر ک ا م ب ر ر و ی ر و ق ت ق و ی ت ی ق ر ا ر گ ی ر د. در ت م ا م ی ن م و ن ه ا ی، م ه ا ر ب ا ع م ق گ ی ر ا ی ی ۵۰ میلی بقر م و ر د ا س ت ف ا د ه ق ر ا ر گ ی ف ت. ن ت ا ی ج ح ا ک ی از آن س ل ت که این ع م ق ت و ا ن ا ی ی



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

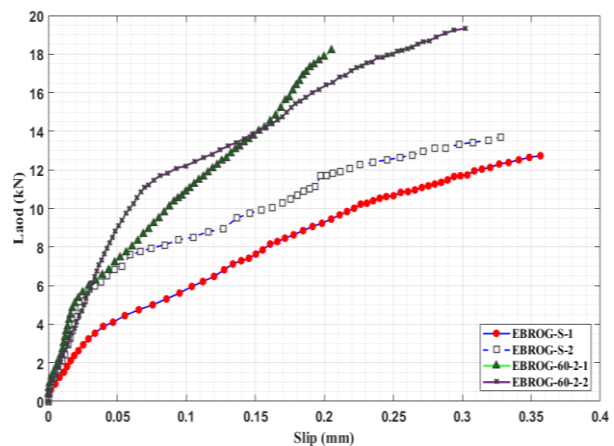


Fig. 13. Load-slip curves for EBROG joints

## 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 Shamel, 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 م‌ ه‌ا‌ر ه‌ای م‌س‌ت‌ق‌ی‌م‌ در ر‌وش‌ EBROG ف‌ل‌ک‌ ز‌ا‌ی‌ش‌ ۴۲  
در ص‌د‌د‌ی‌ا‌ ب‌ه‌ ط‌ور م‌ی‌ا‌ن‌گ‌ی‌ن‌ن‌د‌ ب‌ت‌ب‌ه‌ 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 ف‌ل‌ک‌ ز‌ا‌ی‌ش‌ ۳۶ ا‌در ص‌د‌د‌ی‌ را  
س‌ن‌ب‌ت‌ب‌ه‌ ن‌م‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ش‌ ا‌ه‌ د‌ EBR نشان م‌ی‌ د‌ه‌ د‌.
- ۶) م‌ق‌ا‌د‌ی‌ر ب‌ی‌ش‌ د‌د‌ت‌ر‌ی‌ن‌ ل‌غ‌ ز‌ش‌ ی‌ق‌ن‌ش‌ در ط‌ول‌ ر‌وق‌ ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌، در  
ن‌م‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌ د‌س‌ب‌ل‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ای ب‌ل‌ج‌ز‌ن‌ی‌ ب‌ت‌ب‌ه‌  
ن‌م‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ش‌ ا‌ه‌ د‌ف‌ل‌ک‌ ز‌ا‌ی‌ش‌ چ‌ش‌ گ‌ب‌ی‌ری‌ د‌ار‌د‌.
- ۷) د‌ر‌ت‌ م‌ا‌م‌ ن‌م‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ع‌ م‌ق‌گ‌ی‌ر‌ا‌ی‌ی‌ ۵۰ م‌ب‌ی‌ل‌ی‌ ب‌ق‌وت‌ و‌ل‌ ا‌ی‌ل‌ی‌ن‌ت‌ق‌ال‌  
ک‌ا‌م‌ ل‌ت‌ن‌ش‌ ب‌ب‌ه‌ت‌ را ه‌ل‌د‌ت‌ه‌ و‌ م‌ه‌ ا‌ر‌ د‌ل‌چ‌ ب‌ی‌ر‌ون‌ گ‌ن‌ د‌ی‌د‌گ‌ی‌ش‌ د‌ه‌  
س‌ل‌ت‌.

## ۱. م‌ض‌ع‌ ا‌ر‌ض‌ م‌ن‌ف‌ل‌ع‌

ن‌وی‌س‌د‌ن‌ 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.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. Garakyaragh<sup>1</sup>, D. Mostofinejad<sup>2</sup>

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.