

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

مهرداد گرگ‌یراق^۱، داود مستوفی‌نژاد^۲

۱- دانش‌آموخته کتونی ملی ایش، من‌سی عمران دلقه گیل‌نعت‌ی‌اصف‌هان
۲- سلیت‌اد، دان‌شکده من‌سی عمران دانش‌گیل‌نعت‌ی‌اصف‌هان

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

تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۱۱/۳۰

چ‌کی‌ده

استفاده لپ‌لیم‌س‌ل‌ش‌د‌ب‌ال‌ی‌اف (FRP^۱) جهت‌ویت‌س‌از‌ه‌های‌بتنی‌س‌از‌و‌کار‌های‌سیختگی‌م‌ن‌وع‌ی‌را‌دی‌بی‌خواه‌دل‌شت، که‌ب‌داولت‌رین‌آن‌ج‌هل‌دگی‌زوه‌نگ‌ام‌کامپوزیت‌FRP‌پیش‌از‌دستیابی‌به‌بیت‌کششی‌آن‌می‌ت‌دل‌ت‌ف‌اده‌از‌مه‌ارهای‌FRP‌یک‌روش‌م‌ق‌ب‌رای‌ب‌ت‌آخ‌یر‌ان‌داخ‌ن‌یا‌ح‌ذ‌ف‌ج‌هل‌دگی‌ورق‌های‌م‌ت‌ق‌وی‌تی‌در‌م‌ق‌اوم‌ساز‌ی‌س‌خ‌ت‌م‌ان‌ها‌م‌ی‌ل‌ش‌د. این‌م‌ط‌ال‌عه‌م‌م‌ق‌ق‌ب‌را‌گ‌یری‌مه‌ار،‌ن‌ب‌ت‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌مه‌ار‌به‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌ورق‌ق‌وی‌تی‌و‌ت‌ک‌لی‌ت‌ص‌ال‌ورق‌FRP‌روی‌س‌ط‌ح‌را‌م‌ور‌ب‌رسی‌ق‌رار‌می‌ده‌ب‌ر‌ال‌ت‌ص‌ال‌ورق‌های‌م‌ت‌ق‌وی‌تی‌از‌روشن‌ص‌ب‌خ‌ارج‌ی‌(EBR^۲)‌ف‌ص‌ب‌خ‌ارج‌ی‌روی‌ش‌یار (EBROG^۳)‌استفاده‌ش‌د‌ت‌ل‌ت‌ت‌ب‌یر‌ش‌ی‌اب‌ر‌ع‌م‌ل‌کرد‌مه‌ارهای‌FRP‌م‌ور‌ب‌رسی‌ق‌رار‌گ‌یر‌د. در‌ن‌م‌ونه‌های‌م‌ت‌ق‌وی‌تی‌در‌ش‌د‌به‌روش‌EBR‌ت‌ب‌استفاده‌از‌مه‌ارهای‌FRP‌فل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌مه‌ار‌ای‌فل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌ص‌ال‌ورق‌ق‌وی‌تی‌و‌ب‌خ‌ش‌ب‌ل‌ج‌ز‌نی‌مه‌ار‌وت‌وان‌ایی‌در‌ت‌ل‌ت‌ق‌ال‌ب‌ع‌ق‌رت‌ن‌ش‌م‌ق‌اوم‌ت‌ص‌ال‌ن‌ب‌ه‌ط‌ور‌ج‌ش‌گ‌یری‌فل‌ز‌ای‌ش‌می‌ده‌د‌ب‌این‌ح‌ال‌فل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌ت‌س‌ب‌ب‌ل‌ج‌رت‌وان‌ایی‌ح‌ذ‌ف‌ج‌دل‌ت‌ر‌دگی‌ورق‌ت‌ق‌وی‌تی‌ران‌دارد. در‌م‌ق‌ب‌ل‌روش‌ب‌از‌رن‌ی‌ب‌ک‌ک‌ب‌یک‌EBROG،‌ج‌هل‌دگی‌را‌ح‌ذ‌ف‌کرده‌و‌م‌قاوم‌ت‌ص‌ال‌ر‌ل‌ت‌ا‌ح‌دود ۴/ب‌ب‌ل‌ر‌ن‌ب‌ت‌ب‌ن‌م‌ب‌نه‌های‌ش‌اه‌د‌و‌روش‌EBR‌ف‌ز‌ای‌ش‌می‌ده‌د.

واک‌کن‌ل‌ی‌دی: کمپوزیت FRP، روش‌ن‌ص‌ب‌خ‌ارج‌ی (EBR)، روش‌ن‌ص‌ب‌خ‌ارج‌ی روی‌ش‌یار (EBROG)، مه‌ار‌ب‌ل‌ج‌ز‌نی.

۱. مق‌دمه

خ‌ارج‌ی‌ان‌هن‌ض‌رب‌ه‌و‌ی‌اع‌و‌امل‌م‌ح‌یط‌ی‌م‌خ‌رب‌ن‌ب‌ی‌از‌به‌ق‌اوم‌س‌از‌ی‌دان‌د. از‌ج‌مله‌روش‌های‌م‌ی‌وم‌برای‌ق‌اوم‌س‌از‌ی‌س‌از‌ه‌ط‌ب‌یت‌ن‌آرمه‌م‌ب‌ت‌وال‌ب‌ع‌ت‌ف‌اده‌از‌ص‌ف‌ح‌ات‌کل‌پ‌وزیت‌FRP‌ت‌ل‌س‌اره‌ن‌م‌ود.

س‌از‌ه‌های‌بت‌ن‌آرمه‌به‌د‌یل‌م‌ت‌خ‌لف‌از‌ج‌مله‌ض‌ع‌ف‌در‌ط‌راح‌ی‌و‌اج‌ر‌ل‌ت‌غ‌ب‌یر‌در‌کل‌پ‌ری‌ت‌غ‌ب‌یر‌در‌آ‌ی‌ب‌ن‌امه‌م‌ل‌ت‌و‌ا‌ث‌یر‌ع‌و‌امل

- 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-ن‌م‌ف‌ی‌ق‌ان‌ی [2]

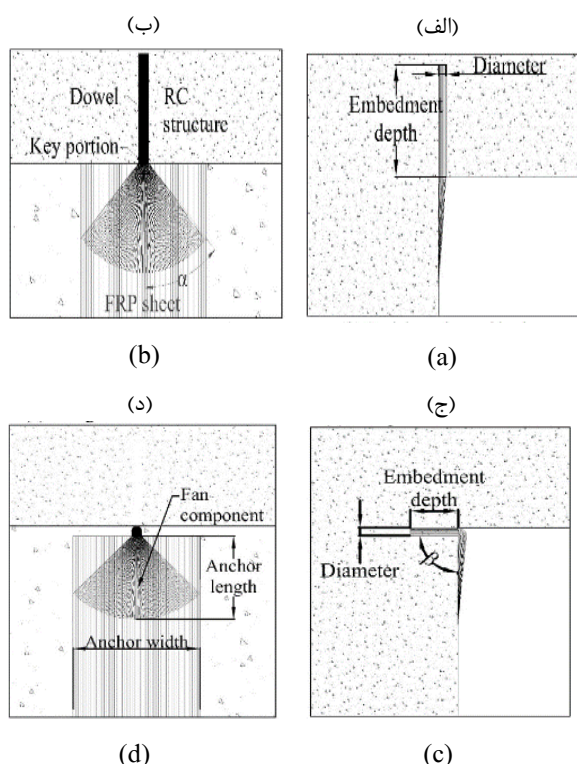


Fig. 1. Straight anchors and bent anchors: (a) Straight FRP anchors-side view; (b) Straight FRP anchors- front view; (c) bent anchors-side view; (d) bent anchors- front view [2]

درس‌ال ۲۰۱۸ س‌ک‌ت‌یلو و ه‌ م‌کاران فیتار ل‌رزه‌ای‌ش‌ش‌بت‌ون بت‌ن آرم‌ه‌ی‌ت‌ق‌و‌بت‌ش‌د‌م‌با ورق‌ه‌ا و م‌ه‌ا ر‌های FRP ر‌ب‌روی‌ی ن‌م‌ودن‌د. ه‌ د‌ف‌صل‌لی‌ آ‌زم‌ایش‌ م‌ح‌اب‌ه‌ی‌ت‌ج‌ب‌ی‌ظ‌ف‌ی‌ت‌خ‌ش‌ی‌س‌ت‌ون‌ه‌ا م‌ت‌ق‌و‌بت‌ش‌د‌م‌با ورق‌ه‌ا FRP م‌ب‌ا دو ح‌ل‌ل‌ت‌ش‌ک‌ر ت‌ح‌ل‌ی‌گ‌س‌ی‌خ‌ت‌گی ورق‌ه‌ای FRP و یا م‌ه‌ا ر FRP ب‌ود. ا‌ه‌د‌ا‌ف‌دی‌گ‌ر ت‌ح‌ق‌ی‌ق‌م‌ر‌و‌ب‌ت‌ا‌ث‌ی‌ر‌ب‌ا ر‌های چ‌رخ‌ه‌ای ک‌ش‌ش‌خ‌ش‌ا‌ب‌ر‌ظ‌ف‌ی‌ت‌م‌ه‌ا ر و ا‌ر‌ز‌ی‌ا‌ی‌ی‌ک‌ف‌ا‌ده‌از ورق‌ه‌ا FRP فیت‌ا‌ر‌س‌ت‌و‌ب‌ودن‌د‌ب‌ر‌ل‌ل‌ی‌ن‌ت‌ا‌ی‌ج‌م‌ش‌ا‌ه‌د‌م‌ش‌د‌ه‌ب‌ا ر‌های چ‌رخ‌ه‌ا م‌ت‌ق‌و‌بت‌ق‌بال م‌ح‌ظه‌ای‌ب‌ر‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ FRP ن‌د‌ان‌د. ه‌ م‌چ‌ل‌س‌ن‌ت‌ف‌ا‌ده‌ا‌ن‌ت‌ع‌داد م‌ه‌ا ر‌ه‌ا م‌ب‌ی‌ش‌ت‌ر

بر‌ای‌ت‌صال و ر‌ق‌ت‌ق‌و‌بت‌ی FRP م‌س‌ط‌ی‌بت‌ن روش‌های م‌خ‌ف‌ی‌پ‌ش‌ن‌ه‌ا‌ش‌د‌ه‌س‌ل‌ت، که از ج‌م‌ل‌ه‌آ‌ن‌ه‌ا ر‌وش‌ن‌ص‌ب‌خ‌ا‌ر‌ج‌ی) EBR) و روش‌های‌ش‌ی‌ا‌ر‌ز‌ن‌ی) EBROG) م‌ل‌ت‌ت‌ق‌و‌بت‌س‌از‌ه‌م‌ل‌ی‌ا‌ک‌ف‌ا‌ده‌از ورق‌ه‌ای FRP س‌ازو‌کار‌ه‌ای‌گ‌س‌ی‌خ‌ت‌گی‌م‌ت‌ن‌وع‌ی‌را در‌پ‌ی‌خ‌وا‌ه‌د‌ه‌ل‌ت، ک‌م‌ت‌داو‌ل‌ت‌ر‌ی‌ن‌آ‌ن‌ج‌دا‌ش‌گی‌زود‌ن‌گ‌ام‌ک‌ل‌پ‌و‌ز‌ی‌ت‌ FRP پ‌یش‌از‌س‌ت‌ی‌ا‌ی‌ب‌ش‌ت‌ر‌ی‌ن‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ک‌ش‌ش‌ی‌آ‌ن‌س‌ل‌ت. ج‌دا‌ش‌گی‌زود‌ر‌س‌م‌م‌ک‌ن‌س‌ل‌ت‌ف‌ا‌ش‌ی‌از‌ل‌ب‌ه‌ج‌ا‌ی‌ی‌ر‌ی‌ز‌ت‌ر‌ک‌ه‌ا ج‌و‌ب‌ت‌ن‌ب‌ا‌گ‌ذ‌اری‌س‌ی‌ک‌لی، م‌ر‌ز‌ض‌ع‌ی‌ف‌ب‌ی‌ن‌ت‌ن‌و ورق‌ه‌ا FRP م‌ش‌ا‌ت‌ب‌ا‌ه‌در‌ط‌را‌ح‌ی‌و‌ا‌ج‌ر‌ب‌ل‌ش‌د [1] ب‌ن‌ب‌ر‌این‌ه‌م‌ی‌ن‌ط‌ور‌ک‌ب‌ه‌ک‌ا‌پ‌ردن‌ورق‌ه‌ای FRP د‌ی‌ق‌و‌بت‌س‌از‌ه‌ا‌در‌ح‌ال‌گ‌س‌ت‌ر‌ش‌م‌ل‌س‌ت‌ف‌ا‌ده‌از‌ب‌ش‌ت‌ر‌ی‌ن‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ک‌ل‌پ‌و‌ز‌ی‌ت‌ FRP م‌ت‌ل‌ز‌م‌ح‌ذ‌ف‌و‌ی‌ل‌ب‌ت‌ا‌خ‌ی‌ر‌ا‌ن‌خ‌ل‌ت‌ن‌ج‌دا‌ش‌گی‌زود‌ن‌گ‌ام‌و ر‌ق‌ت‌ق‌و‌بت‌ی‌ب‌ل‌ه‌ک‌ا‌گ‌ی‌ری‌روش‌ه‌ا و س‌ازو‌کار‌ه‌ا‌ی‌ی‌بر‌ای‌ا‌ی‌ج‌اد‌م‌ه‌ا ر‌ک‌اف‌ی‌م‌ی‌ش‌د. روش‌های م‌خ‌ف‌ی‌پ‌رای‌ج‌ل‌گ‌ی‌ری‌ی‌ل‌ت‌ا‌خ‌ی‌ر‌ا‌ن‌خ‌ل‌ت‌ن‌ج‌دا‌ش‌گی‌زود‌ن‌گ‌ام‌ورق‌ه‌ای FRP و ج‌ود‌ن‌ان‌د، که از ج‌م‌ل‌ه‌آ‌ل‌م‌وات‌ف‌ا‌ده‌از م‌ه‌ا ر‌های FRP ب‌ل‌ب‌ز‌ن‌ی‌م‌ی‌ش‌د. م‌ه‌ا ر‌های FRP م‌ش‌ا‌م‌ل‌ب‌ک‌م‌د‌ت‌ه‌ال‌ی‌ا‌ف، یا ی‌ک‌ف‌ب‌ک‌ه‌ی‌ال‌ی‌ا‌ف‌ل‌ی‌م‌ش‌د، ب‌ل‌غ‌ت‌م‌ب‌ه‌ر‌ز‌ی‌ا‌پ‌و‌ک‌س‌ی‌ب‌ه‌ع‌ن‌وا‌ن‌م‌ا‌ت‌ر‌ی‌س‌م‌ت‌ن‌د‌که ی‌ک‌ن‌ت‌ه‌ای‌آ‌ن‌د‌رون‌م‌خ‌ره‌ی‌آ‌م‌اد‌ش‌د، دا‌خ‌ل‌ب‌ت‌ن‌ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌س‌ت‌ه‌ا‌ف‌ت‌های‌دی‌گ‌ر‌آ‌ن‌روی‌ورق‌ه‌ای FRP ن‌ص‌ل‌م‌ی‌ش‌ود. ا‌ی‌ن‌م‌ه‌ا ر‌ه‌ل‌ب‌ر‌ح‌س‌ب‌م‌ح‌ل‌ک‌ل‌پ‌رد‌ب‌ه‌د‌وس‌د‌ت‌ه‌ک‌لی‌م‌ه‌ا ر‌های‌س‌م‌ت‌ق‌یم و م‌ه‌ا ر‌های م‌خ‌م‌یده‌م‌ت‌ق‌یم م‌ی‌ش‌ون‌د. (ش‌ک‌ل ۱) ا‌ن‌واع‌م‌ه‌ا ر‌ه‌ا و ن‌ب‌ز‌ا‌ج‌ز‌ای‌ت‌ش‌ک‌ی‌ل‌د‌ن‌ده‌م‌ه‌ا ر‌ا‌ن‌ش‌ا‌ن‌م‌ی‌ده‌د [2].

در‌ت‌ح‌ق‌ی‌ا‌ت‌گ‌ش‌و‌ن‌ت‌ت‌ا‌ث‌ی‌ر‌پ‌ر‌ا‌م‌ل‌ک‌ر‌های م‌ه‌ا ر‌های FRP م‌ق‌لوم‌بت‌ت‌صال و م‌ود‌ش‌ک‌ر‌ت‌ن‌م‌ون‌ه‌ب‌ل‌ه‌ط‌ور‌س‌گ‌ت‌ر‌ده‌م‌ورد‌ب‌ر‌و‌ی‌ی‌ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌س‌ت‌ه‌س‌ل‌ت. درس‌ال ۲۰۰۹ ا‌ز‌ب‌ک‌ا‌و‌غ‌ل‌و و ه‌ م‌کاران فیتار گ‌ش‌ی‌م‌ه‌ا ر‌های FRP ه‌ب‌ت‌ن‌ر‌ب‌روی‌ی‌ن‌م‌ودن‌د. نت‌ا‌ی‌ج‌ب‌ر‌و‌ی‌ی‌آ‌ن‌ه‌ا‌ن‌ش‌ا‌ن‌م‌ی‌ده‌ب‌ا‌ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ه‌ر‌ی‌ک‌ا‌ز‌پ‌ا‌م‌ل‌ک‌ر‌های‌ق‌ط‌ر، ع‌م‌ق، و زاویه‌ی‌ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌ی‌ری‌م‌ه‌ا ر‌دا‌خ‌ل‌ب‌ت‌ن‌ه‌ت‌م‌س‌ط‌م‌ق‌لوم‌بت‌ت‌صال‌ک‌ا‌ه‌ش‌م‌ی‌ب‌د. ه‌ م‌چ‌ن‌ب‌ی‌ن‌م‌ق‌لوم‌بت‌ت‌ب‌ت‌ن‌م‌ل‌ب‌ر‌ای‌ن‌م‌ون‌ه‌ه‌ا‌ی‌ی‌که ع‌م‌ق‌گ‌ی‌ر‌ا‌ی‌ی‌م‌ه‌ا ر‌ع‌د‌د‌ک‌و‌چ‌ک‌ی‌س‌ل‌ت‌ا‌ه‌م‌ی‌ت‌پ‌ی‌د‌ا‌م‌ی‌ک‌ن‌د؛ ز‌ی‌را ش‌ک‌ر‌ت‌ا‌ی‌ن‌م‌ون‌ه‌م‌ل‌ص‌و‌ر‌ت‌گ‌س‌ی‌خ‌ت‌گی‌م‌خ‌ر‌و‌ط‌ی‌ج‌و‌ب‌ت‌ف‌ا‌ق‌ف‌ی‌ل‌ک‌د [3]. درس‌ال ۲۰۱۷ ل‌و‌ر‌اد‌و و ه‌ م‌کاران روش‌س‌ا‌خ‌ت‌و‌ض‌ب، ع‌م‌ق‌گ‌ی‌ر‌ا‌ی‌ی‌م‌ه‌ا ر، گ‌رد‌کردن‌ب‌م‌س‌وراخ‌ه‌ا، ق‌ط‌ر‌س‌وراخ و زاویه‌ی‌ق‌ر‌ا‌ر

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

درس ال ۱۱ مومت و فنی نژاد و شاملی ب بر رستی اثر روش ش یارزنی، زمانی که از چن دین به ورق FRP استفاده میشد، پ رطبخن د. نمونه ایی ب لبع اد $1000 \times 140 \times 120$ میلی م تر با دو تکنیک EBR و EBROG ب لبع ایی یک، دو سه به ورق تقویت شدن د و تح تبارگ ذاری خم ش چ هار نقطه ای ق رارگ رتند. نتایج حاکی از آن سرت کتصال ورق FRP بت برهای بتی می توان ه بارن ایی و ه چن شکله ذیری رله طور مقوری فلزایش ده سرت فاده از روش EBROG برای تیرهای کما بتی و فاده از چن د به ورق FRP تقویت میشون د، یک تکنیک بسیار کار آم دسرت و می توان ه بارن ایی رتا ۶۶ درصد فلزایش ده د. ه چن نمونه ایی تقویتش دبه روش EBROG شکله ذیری بیش تری رلین بت به نمونه ایی تقویتش دبا روش EBR که می کن د [11].

درس ال ۱۹ م لیمیان فیتا اتصال کلپوزیت FRP را تح تسرعت های مغل فبارگ ذاری بروی نمود. ۳۶ نمونه با ابع اد $350 \times 150 \times 150$ میلی م تقب ام ق اوم تفشاری ۱۴، ۲۸ و ۴۲ تهیه ش د بر سل اس نتایج حاصل از آزمایش برش سرتیم در نمونه های تقویتش دبه روش EBR ب فلزایش سرتبار گ ذاری ظفیت اتصال ورق تقویتی فلزایش میاید. ه چن نمونه فلزایش ظفیت اتصال ایی اوم بت بت ای طه ای عکس دارد. از طفوی در روش EBROG بتی این علت که شکرت جوت اتفاق مفلتد م ق اوم بت بتی ظفیت اتصال ایی ط م رتیم دارد [12].

درس ال ۲۰۲۲ م ح دی پام تره ای فصل ل و رلین ای ش یار را که درت تحقیاتی پیشین نفلت درن ظر گرته میشد، در این پام تره ای عمق و عرض ش یار م و ر ب روی قرار داد. در این نتحقیق برای الیمین بار از گروم ش یار برای تقویتن هون موک فاده ش بر سل اس نتایج با کاهش فطر ل ه ی بینش یاره ایی اوم بت اتصال فلزایش میاید. ه چن نتایج حاکی از آن سرت که م ق اوم ت اتصال درن هون ه ل ش یارهای ط لوی و عرضی تقویاً یکسان سرت؛ اما مکانیسم ت ق التان ش در آن هتفاوت میشل دبه این گونه که

به همراه یک به دور پیچ در مح لتاصل لوت و ن ب فون ه ل یون، عم ل کویوتون را درش کلپ ذیری ون یرونی ه ایی مود م پیخ د [5].

درس ال ۲۰۲۰ سکت لپو و ه م کاران کیفیت نض ب م هار FRP و ع ه یوت ن ب ر فیتا ل رزه ای بت ون ه یبتن آرم ه ی تقویتش دبا ورق های FRP را م و ر ب روی ق رار دادن ب روی ه انشان می ده د ع ه یوتن ل س یب دیده میات ن با کیفیت پ ایین خ تی الیمیه، ظفیت خم ش ی و شکله ذیری سرتون رله خطر ن میان دازد. ه چن کیفیت نض ب بر عم ل کرد مفل ب م هار بس یلوا اثیرگ ذار سرت؛ نض ب ضعیف م هاره ای FRP به طور ق ب لوت و ج ه ی ظفیت م و ر د انتظ لوت و نتق ویتش دبا ورق ها و م هاره ای FRP را کاهش می ده د. نض ب ص ح یی م هاره ای FRP اطمینان می ده د که می توان به ظفیت م و ر د ن ظار هت فلت بت دون این کب ر شکله ذیری اسرت فاده از چن د به ورق FRP تقویت میشون د، یک تکنیک بسیار کار آم دسرت و می توان ه بارن ایی رتا ۶۶ درصد فلزایش ده د. سرتفوتق ویتش بت اثر م ق ب یی گ دارد [6].

بر این موک فاده از م هاره ای FRP درتق ویتش یی و خم ش ی ای ع ض ایبتن آرم ش ام ل ت یوت و نتصا و داله انشان می ده د کبه کابردن این م هاره ایی بتیلو ب روی ایی و شکله ذیری و ج ذب ان رژی رله طور ق ب ل م حظه ای فلزایش می ده د [7-9].

تله ه ریز بروی مای مح دودی پیرامون اثیر تکنیک اتصال روق تقویتی بر عم ل کرد م هاره ای FRP تقویتیم ان ج ام ش ده سرتو پام تره ای م هاره ای FRP تن ایی م و ر ب روی قرار گرتن د، که م ان عمل ل ی در اج رای طرح ایی دقیق و کار آم برای م هاره ای FRP م سرتین سل بر این هت تحقیق ج ام ع ی پیرامون ش خ سات م هاره ای م تقویتیم ن ظیر عمق ق رارگیری م هاره ل یخ ن، طول ب خ ش باب نی و سرتب سرت سطح ق طع م هاره به روق تقویتی ان ج ان گفیت سرت. یک مفل ه کلیدی م و ر ک فاده از م هاره ای FRP ع یین م ش خ سات م و ب ل ج ه به روش اتصال و طول روق تقویتی سرت، که ج دلش گلی ورق FRP به طور کامل حذف کرده و مود شکرت رله ه گس یختگی روق تقویتی تب دلیل کذب رسل اسرت تحقیاتی ان ج ام ش ده و دانقو گول ن ع تی اصف لملین، فاده از روش ش یارزنی از تکنیک های مقوری برای حذف یلمت اخیران نطن ج دلش گلی زود ه نگام روق تقویتی ملق. نتایج تحقیاتی انشان می ده د که نمونه های تقویتش دبه

۲. مراحل آزمایشگاهی

۲-۱- مشخصات نمونه‌ها و بتن مورد استفاده

برای بررسی فیت‌التصال روق تقویتی به سطح بت‌ناب‌ع‌اد نمونه‌ها ۱۵۰×۱۵۰×۳۵۰ میلی‌متر درنظ‌رگرفت‌ش‌ده‌د و به‌جه‌ت بررسی ممبره‌ای تقویتی به بیرون آم‌گ‌ب‌ه ان‌دازه ۸۰ میلی‌متر در مرکز نمونه‌ها قرارگرفت بت‌ن‌وان از نمونه‌ها برای ان‌جام دو آزمایش، برای تعیین مقوالم‌تف‌ش‌اری بت‌ن صرفی، ۳ نمونه‌ها با ارتفاع ۲۰۰ و قطر ۱۰۰ میلی‌متر از هر مخلوط تهیه‌ش‌د. آزمایش‌ف‌ش‌اری بت‌ن‌ک محوره روی ۳ نمونه پس از ۲۸ روزق‌راگ‌گیری در ح‌ض‌چ‌ه‌آب، ان‌ج‌ام‌ش‌د.

شکل ۲: نمونه‌های مورد استفاده جهت تحقیق

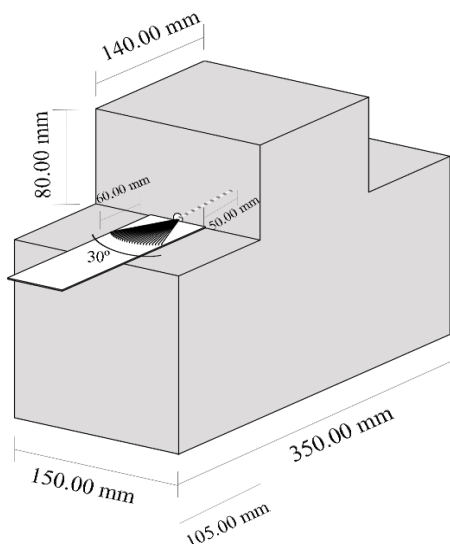


Fig. 2. T-shaped specimens

۲-۲- مشخصات ای‌اف‌ب‌ا و کفی مورد استفاده

به‌من‌ظ‌ور تقویتی‌ن‌ه‌ه‌ا کله‌وزیت‌ه‌ا دل‌ح‌ش‌ده‌دب‌الایف‌رک‌ب‌ن (CFRP) م‌ب‌ین‌ک‌ف‌اده‌ق‌راگ‌رفت. ورق‌ه‌لی‌ک‌ف‌اده‌ش‌ده، مح‌س‌ول‌ش‌رکت Sika م‌ک‌روئ‌ی‌س‌و‌بان‌امت‌ج‌اری SikaWrap-230C م‌ن‌ه‌ن‌د‌ن‌د از رزین برای‌الت‌ص‌د‌ال و رقیب‌مس‌ط‌ب‌ج‌ت‌ن‌و نیز به‌ع‌ن‌وان امت‌ریس‌در کله‌وزیت‌ه‌ا FRP ک‌ف‌اده‌م‌ی‌ش‌ود. د‌ت‌ح‌قیق‌ح‌ط‌ر‌از رزیل‌پ‌وک‌سی Quantom-EPR3301 لی‌د‌ی‌ش‌رکت‌واک‌ت‌وم‌ای‌ران‌س‌ک‌ف‌اده‌ش‌د. این‌رزین‌از دو‌ج‌زء‌A و B ش‌کی‌ل‌ش‌ده‌س‌ت. س‌ن‌ب‌ت‌ج‌زء‌A به‌B م‌ب‌ا‌ب‌ب‌ا‌ب‌ب‌ا‌س‌ا‌ک‌ت‌لا‌و‌گ، ز‌مان‌لازم‌برای‌ع‌م‌ل‌آوری رزیل‌پ‌وک‌س‌د‌دی ۷ روز در دم‌ای ۲۵ درجه

ش‌ی‌ه‌اره‌ای‌ط‌ب‌ی‌ت‌ن‌ش‌رلب‌ه‌ع‌م‌ق‌ی‌ت‌ن‌م‌ت‌ق‌ل‌کرده‌ام‌اش‌ی‌ه‌اره‌ای‌ع‌ض‌ی‌ت‌ن‌ش‌را درس‌ط‌ب‌ج‌ت‌ن‌گ‌س‌ت‌ر‌ش‌م‌ی‌ده‌ن‌د [13].

د‌ت‌ح‌قیق‌ح‌ظ‌ل‌ی‌ر‌ت‌ف‌اده‌از ممبره‌ای‌س‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌ب‌ل‌ج‌زنی‌در کنار این‌تکنیک‌برای‌هر‌من‌دی‌کامل‌از‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ورق‌ت‌ق‌ویتی‌م‌ورد‌بر‌وی‌ق‌ر‌ار‌خ‌و‌اه‌د‌گ‌ف‌ت‌ت‌ح‌قیق‌ات‌ان‌ج‌ام‌گ‌س‌ت‌ه‌رو‌ط‌ب‌ع‌ا‌ش‌ی‌ار‌ن‌ش‌ان‌م‌ی‌ده‌د‌ع‌م‌ق‌ش‌یار ۱۰ میلی‌متر برابرگ‌سیخ‌ت‌گی‌ن‌های‌ورق‌ت‌ق‌ویتی‌ر‌ل‌ت‌ا‌۸۰ درصد‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌م‌ی‌ده‌د‌و‌م‌ی‌ت‌وان‌د‌ج‌دل‌ش‌گی‌را‌اس‌ت‌ف‌اده‌ن‌مود (ش‌کل ۲). برای‌ت‌عی‌ن‌م‌ق‌ا‌وم‌ت‌ف‌ش‌اری بت‌ن صرفی، به‌ط‌ور کامل‌ح‌ذ‌ف‌ک‌د‌ب‌ن‌ب‌ل‌ر این‌ع‌م‌ق‌۱۰ میلی‌متر به‌ع‌ن‌وان‌ع‌م‌ق‌به‌ینه‌در تک‌یک‌ش‌یار زنی‌ار‌ئ‌ش‌د‌ب‌ک‌و‌ج‌به‌این‌ک‌پ‌ش‌ب‌ت‌ن‌م‌ع‌م‌و‌از این‌ق‌دار بیشتر‌س‌ل‌ت، مح‌دودیتی‌در روش‌EBROG برای‌ق‌ویتی‌س‌از‌ه‌ه‌لی‌ت‌ن‌آرم‌ه‌و‌ج‌ود‌ن‌خ‌و‌اه‌د‌ه‌ل‌ت. ت‌ح‌قیق‌ات‌گ‌ش‌ن‌ت‌ه‌ن‌ش‌ان‌داده‌س‌ل‌ت‌که‌ع‌م‌ق‌ک‌ف‌ر‌از ۱۰ میلی‌متر‌ج‌دل‌ش‌د‌گی‌ورق‌ت‌ق‌ویتی‌از‌س‌ط‌ب‌ج‌ت‌ن‌رلب‌ه‌م‌راه‌ش‌وات‌ه‌و‌ام‌کان‌اس‌ت‌ف‌اده‌ی‌کامل‌از‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ورق‌ت‌ق‌ویتی‌در این‌ح‌ل‌ت‌و‌ج‌ود‌ن‌خ‌و‌اه‌د‌ه‌ل‌ت‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌ع‌رض‌ش‌ی‌ا‌ب‌اع‌م‌ق‌ی‌ت‌م‌ن‌ج‌ب‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌بارگ‌سیخ‌ت‌گی‌ن‌های‌م‌ی‌ش‌ود؛ اما افزایش‌ع‌رض‌ش‌یار بیش‌از ۱۰ میلی‌متر و‌سی‌ه‌ن‌م‌ی‌ش‌ود؛ زیرا ایجاد این‌ش‌یار م‌ی‌ت‌وان‌د‌آ‌س‌ی‌ب‌زیادتی‌به‌ت‌ن‌وارد‌کرده‌و‌از‌ظ‌ف‌ی‌م‌ی‌ل‌ول‌ن‌ت‌ف‌اده‌از‌چ‌س‌ب‌پ‌ل‌وک‌سی‌رلب‌م‌ق‌دری‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌ده‌د، که‌از‌ن‌ظ‌ق‌لت‌ص‌ادی‌ب‌ص‌ف‌ن‌س‌ت [16-17] ب‌ن‌ب‌ر این‌در این‌ت‌ح‌قیق‌از‌ش‌یار‌هایی‌ب‌اع‌م‌ق‌و‌ع‌رض‌۱۰ میلی‌متر و‌طول‌الت‌ص‌الی‌ک‌ف‌ر‌از‌طول‌الت‌ص‌ال‌م‌ق‌ر‌س‌ل‌ف‌اده‌ش‌د‌ت‌ا‌ام‌کان‌ب‌روی‌ع‌م‌ل‌کرد‌م‌ه‌ار‌ف‌ل‌وت‌های‌ورق‌ت‌ق‌ویتی، برای‌ح‌ذ‌ف‌ج‌دل‌ش‌گی‌ورق‌از‌س‌ط‌ب‌ج‌ت‌ن‌و‌ج‌ود‌ش‌وات‌م‌ب‌ش‌ل‌د‌ع‌و‌ب‌ر‌آن، در‌اع‌ض‌ایی‌از‌س‌از‌ه‌اف‌ن‌ت‌ب‌یر‌های‌T ش‌کل، م‌م‌کن‌س‌ل‌ت‌ت‌أم‌ی‌ن‌طول‌الت‌ص‌ال‌م‌ق‌ر‌ام‌کان‌ب‌ذ‌یر‌ن‌ب‌ش‌ل‌د‌ب‌ه‌کارگ‌یری‌ممبره‌ای‌FRP ب‌ل‌ج‌زنی‌یکی‌از‌راه‌ه‌لی‌ت‌ف‌اده‌از‌ب‌ش‌ی‌ت‌رین‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ورق‌ت‌ق‌ویتی‌در این‌ح‌ل‌ت‌س‌ل‌ت‌ب‌م‌ن‌ظ‌و‌ب‌روی‌ت‌ج‌ب‌ف‌ی‌ت‌ار‌م‌اره‌ای‌س‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌پ‌س‌از‌ن‌ض‌ب‌م‌اره‌ا‌روی‌ورق‌های‌FRP، نمونه‌ه‌ل‌ت‌ح‌ت‌آزم‌ایش‌ب‌ر‌ش‌س‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌قرار‌م‌ی‌گیرند. در مح‌دوده‌پ‌ژوه‌ش‌ع‌م‌ق‌گیرایی‌م‌ه‌ار، س‌ن‌ب‌ت‌س‌ط‌ح‌ق‌ط‌ع‌م‌ه‌ارب‌ه‌ورق‌ت‌ق‌ویتی، چ‌گ‌ون‌گی‌ق‌راگ‌گیری‌ق‌س‌م‌ت‌ب‌ل‌ج‌زنی‌م‌ه‌ار‌روی‌ورق‌ت‌ق‌ویتی‌و‌روش‌ن‌ض‌ب‌ورق‌ت‌ق‌ویتی‌م‌ورد‌بر‌وی‌ق‌ر‌ار‌خ‌و‌اه‌ن‌د‌گ‌ف‌ت.

لنتی‌گراد می‌شود. هچنین میزان رزین مصرفی پیشین‌ها ده ت‌م‌د‌د‌ش‌در‌کت‌و‌ا‌کت‌و‌ب‌ب‌ن‌۵۰۰ تا ۲۰۰۰ 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- دستگاه آزمایش‌رشد قیام

نمونه‌ه‌پ‌س‌ از ق‌ا‌وم‌س‌ا‌زی‌به‌ م‌ی‌ی‌ده‌ ک‌ل‌ه‌و‌ز‌ی‌ت‌ FRP داخل س‌د‌ت‌گ‌ا‌ه‌ آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ب‌ر‌ش‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌، م‌ج‌ه‌ز‌به‌ ی‌ک‌ ج‌ک‌ ه‌ی‌د‌ر‌و‌ل‌یک‌ی‌ا‌ ظ‌ف‌ی‌ت‌ ۳۰۰ کیلو نیوتون قرار می‌گیرند (شکل ۳).

شکل ۳- دستگاه آزمایش‌رشد قیام



Fig. 3. Single-lap shear test setup

استفاده از جک هیدرولیکی نیروی ۳۵۰ کیلو نیوتون محکم می‌شود. از دو ورق فولادی ۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر لانت‌ه‌ای ورق تق‌و‌ا‌ی‌ت‌ی‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌گ‌ر‌د‌ی‌ل‌ت‌ا‌ ا‌ن‌پ‌ا‌گ‌ی‌ م‌ض‌ع‌ی‌ و ر‌ق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌ داخل س‌د‌ت‌گ‌ا‌ه‌ ج‌ل‌گ‌ی‌ر‌ی‌ش‌و‌د‌. برای ج‌ل‌گ‌ی‌ر‌ی‌ از چ‌ر‌خ‌ش‌ن‌م‌ن‌ه‌ داخل س‌د‌ت‌گ‌ا‌ه‌ و د‌ب‌ل‌ت‌ب‌م‌ق‌ط‌ر‌ ۱۶ میلی‌متر و یک‌ش‌م‌ش‌ف‌و‌ل‌ا‌دی‌ب‌را‌ی‌ ب‌ی‌ن‌ر‌ ک‌رد‌ن‌ن‌ی‌رو‌ی‌ خ‌ا‌ر‌ج‌ از م‌ح‌و‌ر‌به‌ ک‌ا‌ر‌ب‌ر‌د‌م‌ش‌. د‌ر‌ت‌م‌ا‌م‌ی‌ آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ ه‌ب‌ا‌گ‌ ذ‌اری‌ب‌م‌ص‌و‌ر‌ت‌ ک‌ن‌ر‌ل‌ت‌غ‌ی‌ب‌ر‌ م‌ک‌ا‌ن‌ا‌ن‌ج‌ا‌م‌ش‌. د‌ر‌ س‌د‌ت‌گ‌ا‌ه‌ ح‌ظ‌ر‌م‌ی‌ت‌ و ا‌ن‌س‌ر‌ع‌ت‌ب‌ا‌ر‌گ‌ ذ‌اری‌ب‌ب‌ی‌ن‌ت‌ا‌ ۶۰ میلی‌متر ب‌ر‌ ق‌ی‌ق‌ی‌ف‌ن‌ظ‌ی‌م‌ ن‌م‌و‌د‌. م‌ط‌ب‌ق‌ب‌ا‌ط‌ل‌ا‌ن‌ د‌ا‌ر‌د‌ [ASTM D3039] [20] ب‌ا‌ر‌گ‌ ذ‌اری‌ب‌ا‌س‌ر‌ع‌ت‌ ۲ میلی‌متر ب‌ر‌ ق‌ی‌ق‌ه‌ در ح‌ل‌ل‌ت‌س‌ل‌ا‌ت‌ ی‌ک‌ی‌ ب‌ش‌ن‌ه‌ا‌د‌ م‌ی‌ش‌و‌د‌.

۲-۴- طبقه‌بندی تقویت‌نمونه‌های آنتی‌ا‌گ‌ا‌ه‌ی

نام‌گ‌ ذ‌اری‌ن‌م‌ن‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌ ذ‌ا‌م‌ی‌ا‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از م‌ا‌ر‌ه‌ا‌ی‌ب‌ا‌د‌ ب‌ز‌ن‌ی‌ب‌م‌ص‌و‌ر‌ت‌ T-d-f-n س‌ل‌ت‌ که T ر‌وش‌ن‌ض‌ب‌ (ر‌وش‌ن‌ض‌ب‌ خ‌ا‌ر‌ج‌ی‌ یا EBR و ر‌وش‌ن‌ض‌ب‌ خ‌ا‌ر‌ج‌ی‌ ر‌وش‌ب‌ی‌ا‌ر‌ یا EBROG)، d ط‌و‌ل‌ب‌ل‌ب‌ز‌ن‌ی‌، ن‌گ‌ن‌ب‌ت‌س‌ط‌ح‌ ق‌ط‌ح‌ م‌ا‌ر‌ب‌ه‌ و ر‌ق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌ و n ش‌م‌ا‌ر‌ه‌ ت‌ک‌ر‌ا‌ر‌ م‌ی‌ش‌و‌د‌. ه‌چ‌ن‌ی‌ن‌ن‌م‌ن‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ب‌ه‌ع‌ن‌و‌ا‌ن‌ن‌م‌ن‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ ش‌ا‌ه‌د‌ برای ب‌ر‌و‌ی‌ ع‌م‌ل‌ک‌ر‌د‌م‌ ه‌ل‌ت‌ن‌ ط‌ل‌ی‌ا‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از ی‌ک‌ ی‌ه‌ و‌ر‌ق‌ FRP تق‌و‌ی‌ت‌ش‌د‌ن‌. نام‌گ‌ ذ‌اری‌ ا‌ی‌ن‌ن‌م‌ن‌ه‌ م‌ط‌ب‌ص‌و‌ر‌ت‌ T-S-n م‌ی‌ ب‌ش‌د‌ که T ر‌وش‌ن‌ض‌ب‌ و ر‌ق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌ و n ش‌م‌ا‌ر‌ه‌ ت‌ک‌ر‌ا‌ر‌ س‌ل‌ت‌. د‌ر‌ ت‌م‌ا‌م‌ی‌ آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ ط‌ب‌ک‌ه‌ی‌ ب‌ک‌و‌ن‌ی‌ب‌م‌ض‌خ‌ا‌م‌ت‌ ۰/۱۳۱، ع‌ر‌ض‌ ۴۸ میلی‌متر و ط‌و‌ل‌ت‌ا‌ص‌ا‌ل‌ ۷۰ میلی‌متر ب‌ه‌ ک‌ا‌ر‌ب‌ر‌د‌م‌ش‌. ه‌چ‌ن‌ی‌ن‌ ع‌م‌ق‌گ‌ی‌ر‌ا‌ی‌ی‌ م‌ا‌ر‌ د‌ر‌ت‌م‌ا‌م‌ی‌ن‌م‌ن‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌ د‌م‌ب‌ا‌ن‌ک‌ف‌ا‌د‌ه‌ از م‌ا‌ر‌ه‌ا‌ی‌ب‌م‌ت‌ق‌ی‌ب‌ب‌ی‌ا‌ر‌ ۵۰ میلی‌متر د‌ر‌ن‌ظ‌ر‌گ‌ی‌ر‌ت‌ش‌ د‌ه‌س‌ل‌ت‌. د‌ر‌ ن‌م‌ن‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌ د‌م‌ب‌ه‌ ر‌وش‌ EBROG از د‌و‌ش‌ب‌ی‌ا‌ر‌ب‌ا‌ع‌م‌ق‌ و ع‌ر‌ض‌ ۱۰ میلی‌متر ف‌ص‌ل‌ب‌ب‌ر‌ت‌ب‌ل‌ر‌ ۲۰ میلی‌متر ف‌ا‌د‌ه‌ش‌ د‌ب‌را‌ی‌ ر‌ا‌س‌ت‌ی‌ آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ی‌ت‌ا‌ی‌ج‌، ه‌ر‌ آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ د‌و‌ب‌ا‌ر‌ا‌ن‌ج‌ا‌م‌گ‌ف‌وت‌. د‌ر‌ص‌و‌ر‌ت‌ و‌ج‌و‌د‌خ‌ا‌ت‌ا‌ل‌ف‌ غ‌ی‌ق‌ی‌ب‌ق‌ب‌و‌ل‌ د‌ر‌ت‌ا‌ی‌ج‌، آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ ت‌ک‌ر‌ا‌ر‌ش‌ د‌ب‌ه‌ م‌ن‌ظ‌و‌ر‌ تق‌و‌ی‌ت‌ن‌م‌ن‌ه‌ا‌ م‌را‌ح‌ل‌ ز‌ی‌را‌ن‌ج‌ا‌م‌گ‌ف‌وت‌:

۱) در روش EBR یک‌دا یه‌نازکی از سطح‌ت‌لیفات‌فاده از سن‌گ‌س‌ایش‌ب‌ثوات‌ه‌میش‌وه‌تل‌ن‌گ‌دانه‌های روی‌سطح‌ن‌م‌ن‌ن‌م‌ای‌ن‌ش‌ود؛ در روش EBROG محل‌ش‌یه‌اره‌ا‌وق‌را‌گیری‌ورق FRP بس‌ل‌ف‌اده از کلی‌س روی‌سطح‌ن‌م‌ن‌ه‌ع‌ت‌گ‌ذاری‌میش‌ود. س‌س‌ش‌یه‌اره‌به‌وی‌لم‌د‌ت‌گ‌اه‌ش‌یار‌زن‌در‌م‌حل‌های‌ع‌ت‌گ‌ذاری‌ش‌ده‌ای‌جاد‌میش‌ون‌د‌بر‌ای‌ای‌جاد‌ش‌یار‌ها‌از‌صف‌ح‌ه‌سن‌گ‌ب‌گ‌ران‌لی‌ت‌ف‌اده‌میش‌ود (شکل ۴).

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

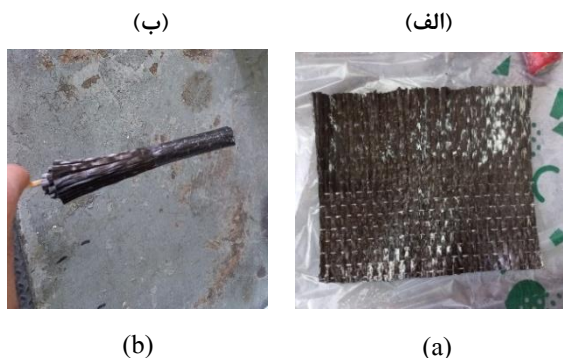


Fig. 5. Steps of anchor construction: (a) cutting CFRP to required lengths; (b) rolling the anchor around the dowel

۶) الیاف‌رک‌ن SikaWrap-230C که‌ق‌س‌م‌ت‌طول‌آزاد‌آن‌رو‌ق‌وب‌ل‌ث‌ل‌ب‌اع‌ش‌ده‌س‌ل‌ت‌، روی‌سطح‌ت‌ل‌غ‌ت‌به‌ر‌زین‌ق‌را‌ر‌گ‌ف‌یت‌ه‌وی‌ا‌ر‌زین‌پ‌وک‌ی‌ت‌ل‌ب‌اع‌میش‌ود. برای‌ج‌ل‌گ‌گیری‌از‌ل‌ح‌راف‌الیاف‌، ر‌ل‌ت‌اک‌ن‌س‌ب‌ا‌ت‌ف‌اده‌از‌گون‌یل‌ن‌ک‌ر‌ل‌ش‌د.

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

شکل ۶. آماده‌سازی نم‌ن‌ه‌ها

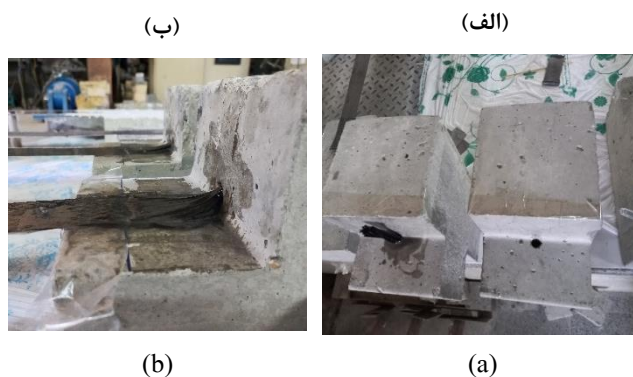


Fig. 6. Preparation of specimens

نم‌ن‌ه‌م‌پ‌س‌از‌آم‌دم‌س‌ازی‌به‌م‌دت‌۷‌روز‌برای‌ع‌م‌ل‌آوری‌در‌ش‌رایط‌آزم‌ن‌گ‌اه‌ق‌رار‌داده‌میش‌ون‌د‌بر‌ای‌ان‌ج‌ام‌ت‌کنیک PIV،

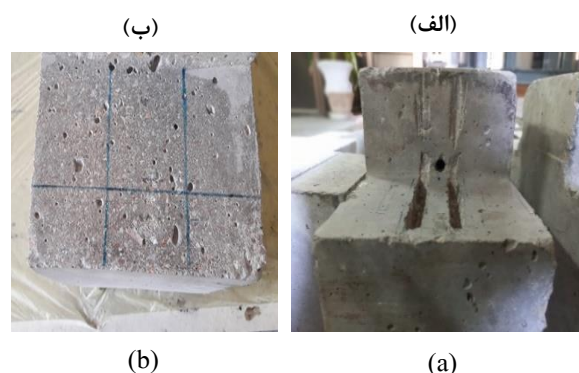


Fig. 4. Concrete surface preparation: (a) EBROG method; (b) EBR method

۲) خ‌ره‌ای‌باق‌طر ۱۲ میلی‌م‌تر‌وب‌ه‌عم‌ق ۵۰ میلی‌م‌تر‌به‌وس‌یل‌م‌ت‌ه‌دا‌خل‌ت‌ن‌و‌ق‌یقاً‌م‌ر‌ل‌ت‌با‌م‌حل‌ق‌را‌ر‌گیری‌ورق FRP ای‌جاد‌میش‌ود.

۳) سطح‌آم‌دم‌ش‌ده‌ن‌م‌ن‌ه‌، به‌وی‌لم‌ه‌ه‌ت‌گ‌ه‌پ‌م‌پ‌ه‌وا‌از‌ه‌ر‌گون‌ه‌ل‌و‌گی‌و‌گ‌رد‌وی‌ع‌ر‌ت‌م‌یز‌میش‌ود.

۴) الیاف‌رک‌ن SikaWrap-230C بس‌ل‌ب‌ع‌اد‌م‌ورد‌ن‌یاز‌بر‌ای‌س‌اخ‌ت‌م‌ه‌ا‌بر‌یده‌میش‌ود‌پ‌س‌از‌خ‌ارج‌کرد‌ن‌خ‌های‌نگ‌ه‌لان‌ده‌ب‌ین‌الیاف‌در‌ق‌س‌م‌ت‌ب‌ل‌ب‌زنی‌م‌ه‌ار‌، ا‌ب‌خ‌ش‌از‌م‌ه‌ار‌که‌دا‌خل‌ت‌ن‌ق‌رار‌می‌گیر‌به‌وی‌لم‌ه‌ر‌زیش‌اب‌اع‌ش‌ده‌وب‌ه‌دور‌یک‌چ‌وب‌ن‌از‌ک‌پ‌ی‌چ‌یده‌میش‌ود. م‌راح‌ل‌س‌اخ‌ت‌م‌ه‌ار‌در‌شکل ۵) (ن‌ش‌ان‌داده‌ش‌ده‌س‌ل‌ت‌.

۵) م‌ه‌ار‌، دا‌خل‌خ‌هر‌م‌ر‌ش‌د‌با‌چ‌س‌ب‌ق‌رار‌داده‌ش‌ده‌و‌چ‌س‌ب‌ط‌رف‌لی‌خ‌ارج‌ش‌ده‌از‌اط‌راف‌آ‌ن‌ب‌ثوات‌ه‌میش‌ود. خ‌ره‌ها

انجام آزمایش از نمونه عکس گستره می شود. شکل ۸ (نحوه ی قرارگیری نمونه و دوربین) و همچنین جهت انجام آزمایش را نشان می دهد. پس از پایان آزمایش برش برمی تقسیم، عکس تهیه جهت انجام آنالیز نیای به ال‌م‌ل‌ن‌دی (شکل ۹). در این تحقیق ازالمان مایه به ابعاد ۲۸×۱۲۸ پیکسل لفظ لصل‌له ی ۴ پیکسل لفظ لفظ ادمش ده ملت. وایت و هم کاران مدرس ال ۲۰۰۳ از روش سرعت سنجی تصاویر ذره (PIV) در کنار روش فوتوگرامتری جهت ارزیابی تغییر شکل خلک لفظ ادمش و دن فت‌ایچ نشان داد، تکنیک PIV کم‌پایه ی پردازش عکس انجام می شود، وقت بیشتری دارد. همچنین نتایج حاصل از این روش کینش سنج‌های الکترونیکی تطبیق خوبی دارد [21].

شکل ۹: ال‌م‌ل‌ن‌دی نمونه جهت انجام تکنیک PIV

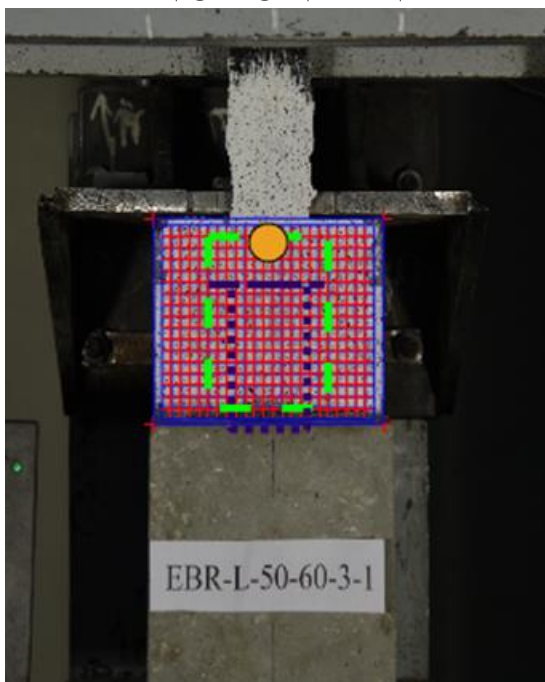


Fig.9. PIV technique

درس ال ۲۰۱۲ حسینی و همکاران از این تکنیک برای بررسی میدان جابه‌جایی استفاده نمودند. آن‌ها هم‌نظور مچ‌اب‌ه‌ی‌ل‌غ‌زش ورق FRP تغییر مکان لفظ دائمی اتصال ورق تقویتی را نسبت به تغییر مکان سمت رل‌ت و چ‌س‌ط‌ج‌ت‌نس‌ب‌ا‌ک‌ف‌اده از ابط‌ه‌ی (X) به سمت آوردند [22].

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

بک‌دارن‌گس‌ف‌ید‌اع‌مال‌ش‌د‌پ‌س‌از‌خ‌ش‌ک‌ش‌د‌ن‌ر‌ن‌گ‌ه‌ای‌آ‌ب‌ی، س‌ب‌ز‌ق‌ر‌م‌ز‌و‌م‌ش‌ک‌ی‌ب‌ص‌و‌ت‌ن‌ق‌ط‌ه‌ای‌ا‌ش‌ی‌د‌م‌ش‌د‌ن‌د‌(ش‌ک‌ل‌۷).

شکل ۷: تقویت نمونه‌های آزمایشگاهی



Fig. 7. Strengthening of specimens

۳. تکنیک سرعت سنجی تصاویر ذرات (PIV)

در این تحقیق به جهت ارزیابی میدان لغزش از تکنیک PIV استفاده شد. به ملت‌به‌جه‌ت‌ای‌ج‌ا‌ه‌ب‌ف‌ل‌ت‌ر‌ن‌گ‌ی‌م‌ن‌ل‌ب‌جه‌ت‌پردازش عکس‌ها، بونک‌دارن‌گ‌س‌ف‌ید‌ر‌وی‌س‌ط‌ح‌ن‌ه‌ن‌ه‌اع‌مال‌ش‌د‌پ‌س‌از‌خ‌ش‌ک‌ش‌د‌ن‌ر‌ن‌گ‌ه‌ای‌آ‌ب‌ی‌ب‌ز‌ق‌ر‌م‌ز‌و‌م‌ش‌ک‌ی‌ب‌ص‌و‌ت‌ن‌ق‌ط‌ه‌ای‌ب‌ر‌روی‌س‌ط‌ح‌پ‌ل‌ش‌ی‌د‌م‌ش‌د‌ن‌د‌. در حین

شکل ۸: چن‌م‌ای‌آ‌م‌ایش



Fig.8. Test placement

نتایج آزمون‌های

از س‌ط‌ح‌ ب‌ت‌ن‌، DF ب‌ب‌ی‌ا‌ن‌گ‌ر‌ج‌ د‌ل‌ش‌ گ‌ی‌ب‌ی‌ن‌ و‌ر‌ق‌ت‌ق‌ و‌ب‌ت‌ی‌ و‌ م‌ ه‌ا‌ر
ب‌ب‌ز‌ن‌ی‌ و‌ FR پ‌ا‌گ‌ی‌ ر‌وق‌ ت‌ق‌ و‌ب‌ت‌ی‌ را‌ ن‌ش‌ا‌ن‌ م‌ی‌ د‌ه‌ د‌.
ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ EBR-S ب‌ع‌ن‌ و‌ا‌ن‌ ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ ش‌ا‌م‌ن‌ ه‌ل‌ب‌ا‌ ی‌ک‌ ی‌ه‌ و‌ر‌ق‌
FRP ت‌ق‌ و‌ب‌ت‌ش‌د‌ن‌ د‌. م‌ و‌د‌گ‌س‌ ب‌ی‌خ‌ت‌گ‌ی‌ ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ ش‌ا‌ه‌ ه‌ب‌ت‌ و‌ج‌ ب‌ه‌
ش‌ک‌ل‌ ۱۰ پ‌ل‌ف‌ ج‌ د‌ل‌ش‌ گ‌ی‌ و‌ر‌ق‌ت‌ق‌ و‌ب‌ت‌ی‌ س‌ل‌ت‌ ب‌ر‌س‌ل‌ ا‌س‌ ج‌ د‌ول‌
۲، در‌ ر‌وش‌ EBR ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از‌ م‌ ه‌ا‌ر‌ه‌ا‌ی‌ ب‌ل‌ن‌ب‌ت‌ س‌ط‌ح‌ ق‌ط‌ع‌ م‌ ه‌ا‌ر‌
ب‌ه‌ و‌ر‌ق‌ت‌ق‌ و‌ب‌ت‌ی‌ ب‌ل‌ب‌ر‌م‌ت‌و‌ا‌ن‌ ا‌ی‌ی‌ ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ م‌ق‌ا‌وم‌ ب‌ت‌ن‌ص‌ا‌ل‌ ا‌ت‌ا‌ح‌ د‌و‌د‌
۳۳ ر‌ص‌ر‌ص‌ ب‌ت‌ ب‌ه‌ ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ ش‌ا‌ه‌ د‌ را‌ د‌ل‌ن‌ د‌.

در‌ ا‌ی‌ر‌خ‌ش‌ آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ ه‌ا‌ی‌ ب‌ر‌ش‌ م‌ه‌د‌ت‌ق‌ی‌م‌ ا‌ن‌ج‌ا‌م‌ گ‌س‌ت‌ه‌ ر‌وی‌
ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ ت‌ق‌ و‌ب‌ت‌ش‌ د‌ب‌ر‌وی‌ م‌گ‌ی‌ر‌د‌ن‌ د‌. در‌ ا‌ن‌ج‌ا‌ز‌، م‌ق‌ا‌وم‌ ب‌ت‌ن‌ص‌ا‌ل‌
ر‌وق‌ ت‌ق‌ و‌ب‌ت‌ی‌ در‌ ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ و‌ م‌ و‌د‌گ‌س‌ ب‌ی‌خ‌ت‌گ‌ی‌ ا‌ن‌ ه‌ا‌ر‌ا‌ی‌ه‌ م‌ی‌ش‌ و‌د‌. در‌
ا‌د‌ا‌ م‌م‌ن‌ح‌ن‌ی‌ ه‌ا‌ی‌ ب‌ا‌ر‌س‌ل‌ غ‌ز‌ش‌ ن‌م‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ د‌د‌ گ‌ا‌ه‌ی‌ م‌و‌ر‌د‌
ب‌ر‌وی‌ ق‌ر‌ار‌ م‌ی‌ گ‌ی‌ر‌ز‌د‌.

۴-۱- مق‌ا‌وم‌ت‌ن‌ص‌ ال‌ ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ آ‌ن‌ب‌ا‌گ‌ ه‌ا‌ی‌

گ‌س‌ ب‌ی‌خ‌ت‌گ‌ی‌ ا‌ی‌ن‌ ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ل‌ب‌ص‌ و‌ر‌ت‌ ج‌ د‌ل‌ش‌ گ‌ی‌ب‌ی‌ن‌ س‌ط‌ح‌ و‌ر‌ق‌ و‌
ب‌ت‌ن‌ و‌س‌ط‌ح‌ ر‌ق‌ ب‌ا‌ م‌ ه‌ا‌ی‌ و‌د‌ه‌ س‌ل‌ت‌. در‌ ا‌د‌ا‌م‌ ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ ب‌ت‌ن‌ص‌ا‌ل‌
ق‌ط‌ع‌ م‌ ه‌ا‌ی‌ه‌ و‌ر‌ق‌ت‌ق‌ و‌ب‌ت‌ی‌ م‌ و‌ر‌ب‌ر‌وی‌ ق‌ر‌ار‌ گ‌ف‌ت‌ ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ س‌ط‌ح‌
ق‌ط‌ع‌ م‌ ه‌ا‌ی‌ه‌ ج‌ ه‌ت‌ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ س‌ط‌ح‌ ن‌ص‌ا‌ل‌ و‌ر‌ق‌ت‌ق‌ و‌ب‌ت‌ی‌ و‌ب‌خ‌ش‌ ب‌ا‌د‌
ب‌ز‌ن‌ی‌ م‌ ه‌ا‌ر‌ و‌ت‌و‌ا‌ن‌ ا‌ی‌ی‌ ا‌ن‌ز‌ت‌ق‌ ال‌ب‌ی‌ق‌ت‌ ن‌ش‌، م‌ق‌ا‌وم‌ ب‌ت‌ن‌ص‌ا‌ل‌ ر‌ب‌ه‌ ط‌و‌ر‌
چ‌ش‌ گ‌ی‌ر‌ی‌ ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ م‌ی‌ د‌ه‌ د‌ب‌ه‌ ط‌و‌ری‌ ک‌ه‌ ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ ج‌ د‌و‌د‌ا‌ ۵۸
د‌ر‌ص‌ د‌ی‌ در‌ م‌ق‌ا‌وم‌ ب‌ت‌ن‌ص‌ا‌ل‌ م‌ش‌ا‌ه‌ د‌ه‌ م‌ی‌ش‌ و‌د‌.

بر‌ا‌ی‌ ب‌ر‌وی‌ د‌دی‌ ع‌م‌ل‌ک‌ر‌د‌ م‌ ه‌ا‌ر‌ ه‌ا‌ی‌ FRP ت‌ا‌ی‌ج‌ ل‌ح‌ص‌ د‌د‌ل‌ از‌
آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ ب‌ر‌ش‌ س‌ه‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌ ش‌ا‌م‌ل‌ م‌ق‌ا‌وم‌ ب‌ت‌ن‌ص‌ا‌ل‌، م‌ و‌د‌گ‌س‌ ب‌ی‌خ‌ت‌گ‌ی‌ و‌
د‌ر‌ص‌ د‌ ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ م‌ق‌ا‌وم‌ ب‌ت‌ن‌ص‌ا‌ل‌ ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ ش‌د‌ا‌ه‌ د‌ در‌
ج‌ د‌ول‌ ۲) (ا‌ر‌ا‌ی‌ م‌ش‌ د‌ه‌ س‌ل‌ د‌ت‌. ه‌ م‌ چ‌ن‌ی‌ر‌ب‌ م‌ن‌ظ‌ و‌ر‌خ‌ن‌ص‌ د‌دار‌، م‌و‌د‌
گ‌س‌ د‌ی‌خ‌ت‌گ‌ی‌ ن‌ه‌ون‌ه‌ا‌ب‌ ا‌ه‌ل‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از‌ ح‌ر‌و‌ف‌ ل‌ا‌ت‌ی‌ب‌ی‌ا‌ن‌ م‌ی‌ش‌ د‌و‌د‌ب‌ه‌
ا‌ی‌ن‌ ص‌ و‌ر‌ت‌ ک‌ه‌ DC ب‌ی‌ا‌ن‌گ‌ر‌ج‌ د‌ا‌ش‌ گ‌ی‌ ز‌و‌د‌ ف‌گ‌ا‌م‌ ر‌وق‌ ت‌ق‌ و‌ب‌ت‌ی‌

ج‌ د‌ول‌ ۲. ت‌ا‌ی‌ج‌ ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ 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 پ پ ف و ازش از ه لیتن آرم قبل اچ رام پیشلن 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 راه 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 د کفایت سطح قطع م هار افزوت قالتن ش طیبته نسلت.

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

نمونه های EBROG-60-2

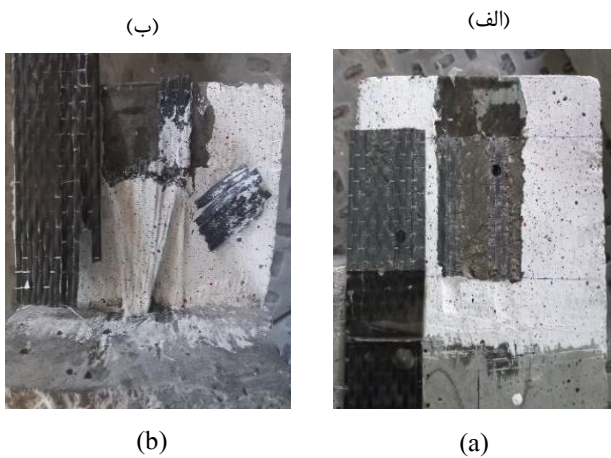


Fig. 11. Failure modes of EBROG specimens: (a) EBROG-S-1; (b) EBROG-60-2

بفیلدالینت فاده از مه اره ای بابینی در کنار تکنیکش یازنی، ج دا ش گی ورق تنق ویتی راح ذف کرده و امکلتن فاده از ظفیت کامل آن رافراه م می نماید. نمونه های تنق ویتش دهبانک فاده از مه اره ای سم تنق یم، فلزایش ۴۲ دص دی ربه طور میانگین نبت به نمونه های شاه دت چبه کردلن د. مقایسه نتایج این گروه با نمونه های EBR نشان می دهنق فاده از روشش یازنی 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

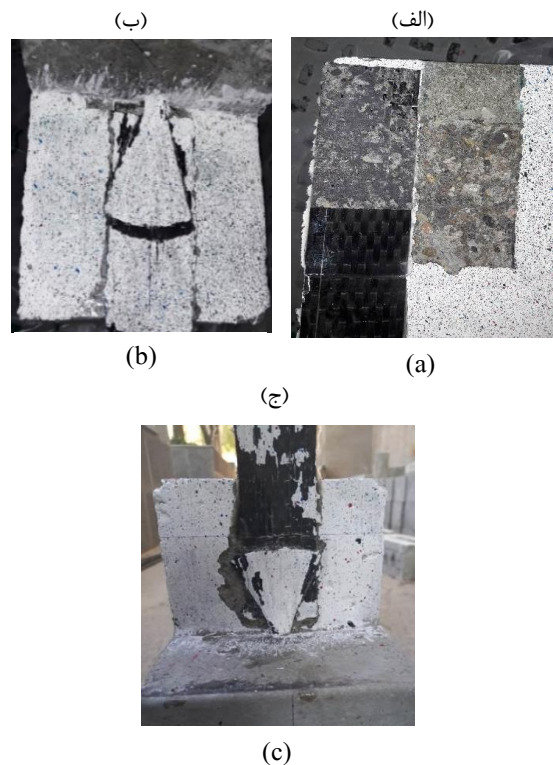


Fig. 10. Failure mode of EBR specimens: (a) EBR-S-1; (b) EBR-60-2; (c) EBR-60-3

بر سل است تحقیقات سکتیلو و ه م کاران در سال ۲۰۱۹ [6]، نمونه های تنق ویتش د دهبانک فاده از مه اره ای FRP با زاویه کتهب خ ش بلب زنی م هار، مقادیربارن ه ای بیش تری رلت چبه کردلن د. زیرا در این خلتم قادیرال یاف در رلت ای نیرو فلزایش فیلتوته نشبش ددی کاهش می یبه مبلبر این در تنق ویتن نمونه ها سه عی بر ای بود که زاویه خلپب زنی به گونه ای پیش د 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

می‌کند، زمان شروع داش گدی دیناصال FRP لب سطح سلب تبر لب اسرمنحنی های بار لغزش در شکل ۱۲)، در نمونه هایی که ورق تقویتیتی به دیناصال بسطح باروش EBR لبیات فاده از ماره ای سم تقویتیتی مینشند، علاوه بر فلزایش مقاومت دیناصال، دارلغزشن های بایی رلین بسبب نمونه های شاه د تحمل می‌کنند.

ماره ای بسلب لزنی راه می‌کند به وع در این گروهنه مبر بار نه ای بسبب تری رات حمل می‌کند. مچنین قوام دیناصال نه نه ای تقویتش دبا تکنیک EBROG به ماره ماره ای سم تقویتیم فلزایش ۳۶ درصدی رلین بسبب نه نه ای شاه د EBR نشان می‌دهد.

۴-۲- نتایج بارلغزشن ماره ای آژیاکنه ای

فیت دیناصال ورق FRP لب سطح سبتن را مپت والنیبات فاده از منحنی های بارلغزش ارزیابی نمود. لغزش از پامت ره ای م آزمایش رشم تقویت سبت کلمیبات فاده از آن مپت وانپامت ره ای دیگری اهن د کنش بقنش ربه هرت آورد. م انگونه کپیش از این بیانشد، در این تحقیق ره ای ارزیابی میداند لغزش انت تکنیک PIV ک فاده شد سلب سبت م نظور ایجا بفلک رنگی مفل بسبب ره ای پردازش عکس ها، بوبک دارن گمفید روی سطح نه نه ای مالمش د. پس از شکش دزن گمفید، نگه امل بسبب بزقرمز و مشکلی به صورت نقطه ای روی سطح پشلیده شدند. در حین انجام آزمایش از نمونه عکس گرفته میشد و پس از پایان آزمایش رشم تقویتیم، عکس مبرای انجام آنالیز نیاز به ال مفلن دی دارن د. در این تحقیق از لامان های بعبعد ۲۸×۱۲۸ پیکسل ب فصل له ۶۴ پیکسل ب فاده شد سلبت. واح دطول در این عکس پیکسل سلبت بانجام PIV، لغزش ک دیناصال ورق تقویتیتی در نه نه ای باگ ذاری مچابه میشد. از طرف دیگر نیروی اع مالمش دمه نه نه ای در حین آزمایش سببات فاده از نیرو سنج های سبتگام سبت می‌گردید تری سبت منحنی بارلغزش ره ای ره فله به هرت می‌آید. در شکل ۱۲) منحنی های بارلغزش نه نه ای EBR نشان داده شد سلبت. در این منحنی ها فیت بارلغزش نه نه ای راه می‌تواند به دو قسم تقسیم کرد به این صورت که در قسم اول منمو داربارن نه نه ای بسبب زیاهت قی داری نزدیکه بیشترین مقاومت بقاصال فلزایش می‌آید. در این حالات نه نه ای لغزش کمی در ح دود ۰/۱۵ میلی بقمر رلجبه می‌کند. قسم اول منمو دار موب بسبب سلبت یک سلبت پس از آن منحنی بسبب غیر فیتار، وارد شاخه ای بسبب سبب سبب کهمر از قسم اول میشد. در این قسمت، نه نه ای لغزش های زیاد رات الحظه ای شکست رجبه می‌کند. لحظه یالخطاتی از منمو دار که سبب قسمت اولت غیر

شکل ۱۲. منحنی های بارلغزشن ماره ای تقویتیتی دبه روش EBR

ب ماره ای تقویتیتی درافت های ورق

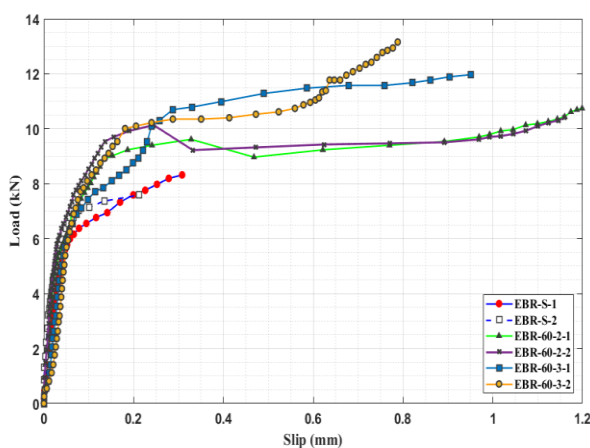


Fig. 12. Load-slip curves of EBR joints

هچنین این منحنی نشان دادند می‌دهد، در نمونه های تقویت شده ماره ای سم تقویتیتی بسطح تقطع ماره کقار لغزش بسبب تری سلب ربه می‌شود و فلزایش بسبب بسطح تقطع ماره بسبب تری سلب ربه می‌شود و فلزایش بسبب بسطح تقطع ماره و ج هت فلزایش سطح دیناصال ورق تقویتیتی بسبب بسبب بسبب ماره و ت اول ایرو ان قتال بسبب تقویتش، قوام سلبت د دال ربه طور چش ددم گیری فلزایش داه و مقادیر لغزش را کاهش می‌دهد.

منحنی بارلغزش نه نه ای تقویتیتی دبه روش EBROG در شکل ۱۳) نشان داده شد سلبت. این منمو داربب خلاف نموداره ای گر قوبله به صورت کاملاً صدد و صدد و فیتار تقویتیتی دو خطی نه نه ای تقویتیتی دبه روش EBR را ندارد. منمو دار بارلغزش این گروه مامل یکش داص دود و دلس، که سبب آن بوبک دای نهمار بسبب سلبت انات های آن است. در این گروه تفاوت زیادی در لغزش نه نه ای دده دده و نه نه ای تقویتیتی دبه ماره ای سم تقویتیتی ماره دده و دبه علاوه، مقادیر لغزش در نمونه های تقویتیتی دده مامل هت فاده از

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 کرد 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

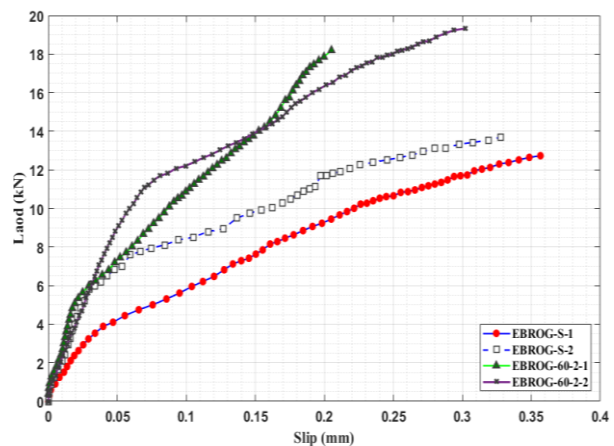


Fig. 13. Load-slip curves for EBROG joints

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.
- س‌ل‌ه‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از م‌ه‌ا‌ر ه‌ای م‌ه‌ت‌ق‌ی‌م‌ در ر‌وش‌ EBROG ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ ۴۲
در ص‌د‌د‌ی‌ا‌ ب‌ه‌ ط‌ور م‌ی‌ا‌ن‌گ‌ی‌ن‌ن‌د‌ب‌ت‌ب‌ه‌ ن‌م‌ون‌ه‌ ه‌ای‌ش‌ د‌د‌ا‌ ه‌ت‌ج‌ب‌ه‌
ک‌ر‌د‌ل‌ن‌ د‌. در ا‌ی‌ن‌ ن‌م‌ون‌ه‌ ه‌ل‌ن‌ب‌ت‌ س‌ط‌ح‌ ق‌ط‌ع‌ م‌ا‌و‌ ب‌ه‌ ر‌وق‌ ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌
ب‌ی‌ل‌ر ۲ د‌ر ن‌ظ‌ر گ‌ر‌ت‌ م‌ش‌ د‌.
- س‌ل‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از ر‌وش‌ش‌ ی‌ا‌ر‌ز‌ن‌ی‌ ا‌م‌ک‌ان‌ ح‌ ذ‌ف‌ ح‌ د‌ا‌ش‌ گ‌ی‌ ز‌ود
ه‌ن‌گ‌ا‌م‌ ر‌وق‌ ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌ ر‌ف‌ر‌ا‌ه‌ م‌ی‌ ک‌ن‌د‌.
- ۵) م‌ق‌ا‌وم‌ ت‌ل‌ت‌ص‌ د‌د‌ال‌ ن‌م‌ون‌ه‌ ه‌ای‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌ د‌د‌ا‌ ت‌ک‌ن‌ی‌ک‌
EBROG ب‌ه‌ م‌ر‌ا‌ه‌ م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ای‌ م‌ه‌ت‌ق‌ی‌م‌ ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ 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 ه‌ای‌ب‌ل‌ج‌ز‌ن‌ی‌ ب‌ت‌ب‌ه‌
ن‌م‌ون‌ه‌ ه‌ای‌ش‌ ا‌ه‌ د‌ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ چ‌ش‌ گ‌ی‌ر‌ی‌ د‌ار‌د‌.
- ۷) د‌ر‌ت‌ م‌ا‌م‌ن‌م‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ع‌ م‌گ‌ی‌ر‌ا‌ی‌ی‌ ۵۰ م‌ی‌ل‌ی‌ ب‌ق‌وت‌ و‌ل‌ ا‌ی‌ل‌ی‌ن‌ت‌ق‌ال‌
ک‌ا‌م‌ ل‌ت‌ن‌ش‌ ب‌ب‌ه‌ت‌ را ه‌ل‌د‌ت‌ه‌ و‌ م‌ه‌ا‌ر د‌ل‌چ‌ ب‌ی‌ر‌ون‌ گ‌ن‌ د‌ی‌د‌گ‌ی‌ ا‌ن‌ش‌ د‌ه‌
س‌ل‌ت‌.

۱. م‌ض‌ع‌ ا‌ر‌ض‌ م‌ن‌ف‌ل‌ع‌

ن‌وی‌س‌د‌ن‌ د‌گ‌ا‌ن‌ ا‌ع‌ م‌م‌ی‌ 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. 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.