

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 لپل‌میمس‌ل‌چسب‌ال‌یاف (FRP) جهت ویست‌س‌از‌ه‌های‌بتنی‌س‌از‌و‌کار‌های‌س‌یختگی‌مهندسی‌را‌دی‌ب‌ی‌خواه‌دلش‌ت،‌که‌ب‌دولت‌رین‌آن‌ج‌هل‌دگی‌زودن‌گ‌ام‌کامپوزیت‌FRP‌پیش‌از‌دستیابی‌به‌بیت‌کششی‌آن‌می‌تواند‌دلش‌ت‌ده‌د.‌این‌مطالعه‌ع‌م‌ق‌ق‌ب‌را‌گ‌یری‌م‌ه‌ار،‌ن‌ب‌ت‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌م‌ه‌ار‌ب‌ه‌ان‌داخ‌ن‌یا‌ح‌ذ‌ف‌ج‌هل‌دگی‌ورق‌ه‌ای‌م‌ت‌ق‌و‌یتی‌در‌م‌ق‌ا‌وم‌س‌از‌ی‌س‌ط‌ح‌م‌ان‌ه‌ا‌م‌پیش‌د.‌این‌مطالعه‌ع‌م‌ق‌ق‌ب‌را‌گ‌یری‌م‌ه‌ار،‌ن‌ب‌ت‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌م‌ه‌ار‌ب‌ه‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌ورق‌ق‌و‌یتی‌و‌ت‌ک‌ی‌ک‌ت‌ص‌ال‌ورق‌FRP‌روی‌س‌ط‌ح‌را‌م‌ور‌ب‌ر‌س‌ی‌ق‌رار‌می‌ده‌د.‌ب‌ر‌ا‌ل‌ت‌ص‌ال‌ورق‌ه‌ای‌م‌ت‌ق‌و‌یتی‌از‌روشن‌ص‌ب‌خ‌ارج‌ی‌(EBR)‌ف‌ص‌ب‌خ‌ارج‌ی‌روی‌ش‌یار (EBROG)‌استفاده‌ش‌د‌ت‌ل‌ت‌ت‌ب‌ر‌س‌ی‌ب‌ر‌ع‌م‌ل‌کرد.‌م‌ه‌ار‌های‌FRP‌م‌ور‌ب‌ر‌س‌ی‌ق‌رار‌گ‌یر‌د.‌در‌ن‌م‌ون‌ه‌ای‌م‌ت‌ق‌و‌یت‌ش‌د‌ب‌ه‌روش‌EBR‌استفاده‌از‌م‌ه‌ار‌های‌FRP‌فل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌م‌ه‌ار‌ب‌ر‌ای‌فل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌ص‌ال‌ورق‌ق‌و‌یتی‌و‌ب‌خ‌ش‌ب‌ل‌ج‌ز‌نی‌م‌ه‌ار‌و‌ت‌وان‌ایی‌در‌ت‌ل‌ت‌ق‌ال‌ب‌ع‌ب‌ر‌ت‌ن‌ش‌م‌ق‌ا‌وم‌ب‌ل‌ت‌ص‌ال‌ر‌ب‌ه‌ط‌ور‌ج‌ش‌گ‌یری‌فل‌ز‌ای‌ش‌می‌ده‌د.‌ب‌ا‌ی‌ن‌ح‌ال‌فل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌ت‌ل‌س‌ب‌ب‌ل‌ج‌ز‌نی‌و‌ان‌ایی‌ح‌ذ‌ف‌ج‌دل‌ت‌ر‌دگی‌ورق‌ت‌ق‌و‌یتی‌ران‌دارد.‌در‌م‌ق‌ب‌ل‌روش‌ب‌از‌ز‌نی‌ب‌ت‌ک‌ی‌ک‌EBROG،‌ج‌هل‌دگی‌را‌ح‌ذ‌ف‌کرده‌و‌م‌قا‌وم‌ب‌ل‌ت‌ص‌ال‌ر‌ب‌ت‌ا‌ح‌دود ۴/ب‌ب‌ل‌ر‌ن‌ب‌ت‌ب‌ن‌م‌ی‌ن‌ه‌ای‌ش‌اه‌د‌و‌روش‌EBR‌ف‌ز‌ای‌ش‌می‌ده‌د.

واژه‌کلیدی‌دی: اکمپوزیت FRP، روش‌ص‌ب‌خ‌ارج‌ی (EBR)، روش‌ص‌ب‌خ‌ارج‌ی‌روی‌ش‌یار (EBROG)، م‌ه‌ار‌ب‌ل‌ج‌ز‌نی.

۱. مقدمه

خ‌ارج‌ی‌ان‌هن‌ض‌ر‌ب‌ه‌و‌ی‌اع‌و‌ا‌م‌ل‌م‌ح‌ب‌ط‌ی‌م‌خ‌ر‌ب‌ن‌ی‌از‌ب‌ه‌ق‌ا‌وم‌س‌از‌ی‌دان‌د.‌از‌ج‌ل‌ه‌روش‌های‌م‌ی‌وم‌برای‌ق‌ا‌وم‌س‌از‌ی‌س‌از‌ه‌ط‌ب‌یت‌ن‌آ‌رم‌ه‌م‌ی‌ت‌و‌ال‌ب‌ع‌ب‌ت‌ف‌اده‌از‌ص‌ف‌ح‌ات‌کل‌مپوزیت FRP‌ت‌ل‌س‌اره‌ن‌م‌ود.

س‌از‌ه‌های‌بت‌ن‌آ‌رم‌ب‌ه‌د‌یل‌م‌ت‌خ‌ل‌ف‌از‌ج‌ل‌ه‌ض‌ع‌ف‌در‌ط‌را‌ح‌ی‌و‌اج‌ر‌ل‌ت‌غ‌ی‌ب‌ر‌در‌کل‌مپوزیت‌غ‌ی‌ب‌ر‌در‌آ‌ی‌ب‌ن‌ام‌ه‌م‌ل‌ت‌و‌ا‌ث‌یر‌ع‌و‌ا‌م‌ل

- 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 ن‌ب‌زق‌ط‌ر م‌خ‌ب‌ره‌ه‌ا ق‌لوم‌بت‌ت‌صال‌ف‌ل‌زایش م‌ی‌ب‌د [4].

شکل ۱. م‌ه‌ا‌ر‌های FRP م‌ت‌ق‌یم و م‌خ‌م‌ی‌ده؛ (الف) م‌ه‌ا‌ر م‌ت‌ق‌یم-ن‌م‌ای‌ج‌لی‌ی؛ (ب) م‌ه‌ا‌ر م‌ت‌ق‌یم-ن‌م‌خ‌م‌ی‌ده؛ (ج) م‌ه‌ا‌ر م‌خ‌م‌ی‌ده-ن‌م‌ای‌ج‌لی‌ی؛ (د) م‌ه‌ا‌ر م‌خ‌م‌ی‌ده-ن‌م‌ای‌ف‌وق‌ان‌ی [2]

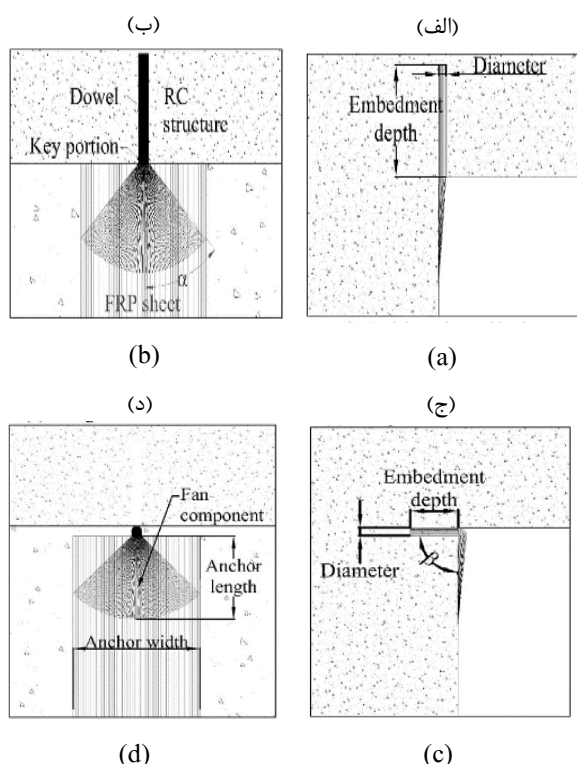


Fig. 1. Straight anchors and bent anchors: (a) Straight FRP anchors- side view; (b) Straight FRP anchors- front view; (c) bent anchors- side view; (d) bent anchors- front view [2]

درس‌ال ۲۰۱۸ س‌ک‌ت‌یلو و ه‌ م‌کاران فیتار ل‌رزه‌ای‌ش‌ش‌بت‌ون بت‌ن آرم‌ه‌ی‌ت‌ق‌و‌بت‌ش‌د‌م‌با ورق‌ه‌ا و م‌ه‌ا‌ر‌های FRP ر‌ب‌روی‌ی ن‌م‌ودن‌د. ه‌ د‌ف‌صل‌لی‌ آ‌زم‌ایش‌ م‌ح‌اب‌ه‌ی‌ت‌ج‌ب‌ی‌ ظ‌ف‌ی‌ت‌ خ‌م‌ش‌ی‌ س‌ت‌ون‌ه‌ا‌ی‌ت‌ق‌و‌بت‌ش‌د‌م‌با ورق‌ه‌ا‌ی‌ FRP م‌ب‌ا‌ دو‌ح‌ل‌ات‌ ش‌ک‌ر‌ت‌ح‌ات‌ م‌لی‌ گ‌س‌ی‌خ‌ت‌گی ورق‌ه‌ای FRP و یا م‌ه‌ا‌ر FRP ب‌ود. اه‌د‌اف‌دی‌گر ت‌ح‌ق‌ی‌ق‌م‌ر‌و‌ب‌ت‌ا‌ث‌یرب‌ ا‌ر‌ه‌ای‌ چ‌رخ‌ه‌ای‌ ک‌ش‌ش‌ ف‌ش‌ا‌ب‌ر‌ ظ‌ف‌ی‌ت‌ م‌ه‌ا‌ر و ا‌ر‌ز‌ی‌ایی‌ک‌ف‌اد‌ه‌ از ورق‌ه‌ای FRP فیتار س‌ت‌و‌ب‌ودن‌د‌ب‌ر‌ م‌ل‌ل‌ی‌ن‌ت‌ ا‌ی‌ج‌ م‌ش‌اه‌دم‌ش‌د‌ه‌ب‌ار‌ه‌ای‌ چ‌رخ‌ه‌ای‌ م‌ل‌ی‌ا‌ث‌یر‌ق‌ب‌ال‌ م‌ ح‌ظه‌ای‌ ب‌ر‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ FRP ن‌دان‌د. ه‌ م‌چ‌ل‌س‌ن‌ت‌ف‌اد‌ه‌ ا‌ن‌ع‌ داد‌م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ای‌ب‌یش‌ت‌ر

بر‌ای‌ت‌صال‌ و ر‌ق‌ت‌ق‌و‌بت‌ی‌ FRP م‌س‌ط‌ی‌بت‌ن روش‌های م‌خ‌ف‌ی‌ پ‌ش‌ن‌ه‌ا‌ش‌د‌ه‌س‌ل‌ت‌، که از ج‌م‌ل‌ه‌ آن‌ه‌ا‌ روش‌ن‌ص‌ب‌خ‌ا‌ر‌ج‌ی‌ (EBR) و روش‌های‌ش‌ب‌ی‌ار‌زنی‌ (EBROG) م‌ل‌ت‌ت‌ق‌و‌بت‌س‌از‌ه‌ م‌ل‌ی‌ا‌ک‌ف‌اد‌ه‌ از ورق‌های FRP س‌از‌و‌کار‌ه‌ای‌گ‌س‌ی‌خ‌ت‌گی‌م‌ت‌ن‌وع‌ی‌ را در‌پی‌ خ‌وا‌ه‌د‌ ه‌ل‌ت‌، ک‌م‌ت‌دا‌ول‌ت‌ر‌ین‌ آن‌ج‌دا‌ش‌گی‌زود‌ن‌گ‌ام‌ ک‌ل‌پ‌وز‌یت‌ FRP پ‌یش‌از‌س‌ت‌ی‌ایی‌ب‌یش‌ترین‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ک‌ش‌شی‌آن‌ س‌ل‌ت‌. ج‌د‌ل‌ش‌گی‌زود‌رس‌م‌م‌ک‌ن‌س‌ل‌ت‌ف‌ا‌ش‌ی‌از‌ب‌ج‌ای‌ری‌ز‌ت‌ر‌ک‌ه‌ا‌ج‌و‌ب‌ت‌ن‌ب‌ا‌گ‌ذاری‌س‌ی‌ک‌لی‌، م‌ر‌ز‌ض‌ع‌ی‌ف‌ب‌ی‌ن‌ت‌ن‌ و ورق‌ FRP م‌ش‌ا‌ت‌ب‌اه‌در‌ط‌را‌ح‌ی‌ و ا‌ج‌ر‌ب‌ل‌ش‌د‌ [1] ب‌ن‌ب‌ر‌این‌ه‌م‌ب‌ن‌ط‌ور‌ ک‌ب‌ه‌ک‌ا‌ب‌ردن‌ورق‌های FRP د‌ی‌ق‌و‌بت‌س‌از‌ه‌ه‌ا‌در‌ح‌ال‌گ‌س‌ت‌ر‌ش‌ م‌ل‌س‌ت‌ک‌ف‌اد‌ه‌از‌ب‌یش‌ترین‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ک‌ل‌پ‌وز‌یت‌ FRP م‌ت‌ل‌ز‌م‌ح‌ذ‌ف‌ و ی‌ل‌ب‌ت‌ا‌خ‌یر‌ان‌خ‌ات‌ن‌ج‌د‌ل‌ش‌گی‌زود‌ن‌گ‌ام‌ و ر‌ق‌ت‌ق‌و‌بت‌ی‌ب‌ب‌ه‌ ک‌ا‌گ‌ب‌یری‌روش‌ه‌ا‌وس‌از‌و‌کار‌هایی‌بر‌ای‌ا‌ب‌ج‌اد‌م‌ه‌ا‌ر‌ک‌افی‌م‌ی‌ش‌د‌. روش‌های‌م‌خ‌ف‌ی‌بر‌ای‌ج‌ل‌گ‌ب‌یری‌ی‌ل‌ت‌ا‌خ‌یر‌ان‌خ‌ات‌ن‌ج‌د‌ل‌ش‌گی‌زود‌ن‌گ‌ام‌ورق‌ FRP و ج‌ود‌ن‌دان‌د، که از ج‌م‌ل‌ه‌ آ‌ل‌م‌وات‌ف‌اد‌ه‌ از م‌ه‌ا‌ر‌های FRP ب‌ل‌ب‌زنی‌م‌ی‌ش‌د‌. م‌ه‌ا‌ر‌های FRP م‌ش‌ا‌م‌ل‌ب‌ک‌م‌د‌ت‌ه‌ ال‌ی‌اف‌، یا ی‌ک‌ف‌ب‌ک‌ه‌ی‌ال‌ی‌اف‌ل‌ی‌م‌ش‌د‌ه‌، ب‌ل‌غ‌ت‌م‌ب‌ه‌ر‌ز‌ی‌ا‌پ‌و‌ک‌س‌ی‌ب‌ه‌ ع‌ن‌وا‌ن‌ات‌ر‌یس‌م‌ت‌ن‌د‌که‌ ی‌ک‌ن‌ت‌ه‌ای‌آن‌د‌رون‌م‌خ‌ب‌ره‌ی‌آ‌م‌اد‌ش‌د‌ه‌، دا‌خ‌ل‌ب‌ت‌ن‌ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌س‌ت‌ه‌ا‌ف‌ت‌های‌دی‌گر‌آن‌روی‌ورق‌ FRP ن‌ص‌ل‌ م‌ی‌ش‌ود‌. این‌م‌ه‌ا‌ر‌ه‌ل‌ب‌ر‌ح‌س‌ب‌م‌ح‌ل‌ک‌ل‌پ‌رد‌ب‌ه‌د‌وس‌د‌ت‌ه‌ک‌لی‌ م‌ه‌ا‌ر‌های‌م‌ت‌ق‌یم‌ و م‌ه‌ا‌ر‌های‌م‌خ‌م‌ی‌ده‌م‌ت‌ق‌یم‌م‌ی‌ش‌ون‌د‌. (ش‌ک‌ل‌۱) انواع‌م‌ه‌ا‌ر‌ه‌ا‌و‌ن‌ب‌ز‌ا‌ج‌ز‌ای‌ت‌ش‌ک‌یل‌د‌ن‌ده‌م‌ه‌ا‌ر‌ا‌ن‌ش‌ان‌م‌ی‌ده‌د‌ [2].

در‌ت‌ح‌ق‌ی‌ات‌گ‌ش‌ذ‌ن‌ت‌ت‌ا‌ث‌یر‌ب‌ا‌م‌ل‌ک‌ر‌ه‌ای‌م‌ه‌ا‌ر‌های FRP ب‌ر‌م‌ق‌لوم‌بت‌ت‌صال‌ و م‌ود‌ش‌ک‌ر‌ت‌ن‌م‌ون‌ه‌ب‌ه‌ط‌ور‌س‌گ‌ت‌ر‌ده‌م‌ورد‌ ب‌ر‌ویی‌ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌س‌ت‌ه‌س‌ل‌ت‌. درس‌ال ۲۰۰۹ ا‌ز‌ب‌ک‌ا‌و‌غ‌ل‌و‌ و ه‌ م‌کاران فیتار گ‌ش‌شی‌م‌ه‌ا‌ر‌های FRP ه‌ب‌ت‌ن‌ر‌ب‌روی‌ی‌ن‌م‌ودن‌د‌. نت‌ا‌ی‌ج‌ ب‌ر‌ویی‌آن‌ه‌ا‌ن‌ش‌ان‌م‌ی‌ده‌ب‌ا‌ف‌ل‌ز‌ایش‌ه‌ر‌یک‌ا‌ز‌ب‌ا‌م‌ل‌ک‌ر‌ه‌ای‌ق‌ط‌ر‌، ع‌م‌ق‌، و زاویه‌ی‌ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌ب‌یری‌م‌ه‌ا‌ر‌دا‌خ‌ل‌ب‌ت‌ن‌ه‌ت‌م‌س‌ط‌م‌ق‌لوم‌بت‌ت‌صال‌ ک‌ا‌ه‌ش‌م‌ی‌ب‌د‌. ه‌ م‌چ‌ن‌ب‌ن‌م‌ق‌لوم‌بت‌ت‌ب‌ت‌ن‌م‌ل‌ب‌ر‌ای‌ن‌م‌ون‌ه‌هایی‌که‌ع‌م‌ق‌ گ‌ب‌یر‌ایی‌م‌ه‌ا‌ر‌ع‌د‌د‌ک‌و‌چ‌کی‌س‌ل‌ت‌ا‌ه‌م‌ی‌ت‌پ‌ی‌دا‌م‌ی‌ک‌ند‌؛ ز‌ی‌را‌ش‌ک‌ر‌ت‌ این‌ن‌م‌ون‌ه‌م‌ل‌ص‌ور‌ت‌گ‌س‌ب‌ی‌خ‌ت‌گی‌م‌خ‌رو‌ط‌ی‌ج‌و‌ب‌ت‌ف‌ا‌ق‌ف‌ی‌ک‌د‌ [3]. درس‌ال ۲۰۱۷ ل‌وراد‌و‌ و ه‌ م‌کاران روش‌س‌ا‌خ‌ت‌وض‌ب‌، ع‌م‌ق‌ گ‌ب‌یر‌ایی‌م‌ه‌ا‌ر‌، گرد کردن م‌س‌وراخ‌ه‌ا‌، ق‌ط‌ر‌س‌وراخ‌ و زاویه‌ی‌ق‌ر‌ا‌ر

روش EBROG با نایب و شکله ذیری بیش تری رلین بت به نمونه های قویت ش دبا روش EBR تکجه 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 فی نژاد وشاملی ب برستی اثیر روش ش یارزنی، زمانی که از چن دین به ورق FRP ت فاده میش ود، پ رطلخ ن د. نمونه ایی ب لبع اد $1000 \times 140 \times 120$ میلی م تر با دو تکنیک EBR و EBROG ب لبه ای یک، دو وسه به ورق تقویت ش دن د و تح تبارگ ذاری خم ش چ هارنقطه ای ق رارگ ت ن د. نتایج حاکمی از آن سلت کتصال ورق FRP بت برهای بتنی میتوان هبارن هایی و ه م چنین شکله ذیری رله طور مقوری فلزایش ده سکت فاده از روش EBROG برای تیره ایی که با اس ت فاده از چن د به ورق FRP تقویت میش ون د، یک تکنیک بسیار کارآم دسلت و میتوان هبارن هایی رتا ۶۶ درصد فلزایش ده د. ه م چنین نمونه های تقویت ش دبه روش EBROG شکله ذیری بیش تری رانبت تب نمونه های تقویت ش دبا روش EBR تکجه می کن د [11].

درس ال ۱۹ م لیمیان فیتا ت اتصال کلپ وزیت FRP را تح تسرعت های مخمل فبارگ ذاری بروسی نم ود. ۳۶ نمونه با ابع اد $350 \times 150 \times 150$ میلی بقاب ام ق اوم تفشاری ۱۴، ۲۸ و ۴۲ تهیه ش دبر سل اس نتایج حاصل از آزمایش برش برسم تقیم در نمونه های تقویت ش دبه روش EBR ب فلزایش سرع تبار گ ذاری ظفیت اتصال ورق تقویتی فلزایش می یب د. ه م چنین فلزایش ظفیت اتصال ای اوم بتن اب طه ای عکس دارد. از طفوی در روش EBROG به این علت که شکرت جوت اتفاق م فی ل ت د م ق اوم بتن با ظفیت اتصال اب طه م تقیم دارد [12].

درس ال ۲۰۲۲ م ح دی پام تره ای فصل ه و رلنت ای ش یار را که درت تحقیاتی پیشین نفلت درنظر گسته میش د، در کتار پام تره ای عمق و عرض ش یار م وره بروسی قرار داد. در این تحقیق بقرای الیمین بار از گروه ش یارب رای تقویتن هون موکت فاده ش ه بر سل اس نتایج با کاهش فطر ل ه ی بینش یه اراه ای اوم بتن اتصال فلزایش می یب د. ه م چنین نتایج حاکمی از آن سلت که م ق اوم ت اتصال درن هون ه لثش یارهای طویلی و عرضی تقویباً یکنان سلت؛ اما مکانیسم ت قاتن ش در آن متفاوت میش دبه این گونه که

به ه راه یک به دورپچ در مح لتاصل لولت و ن ب فون هل یون، عمل کوکت ون را درش کلپ ذیری ون بروی ه ایی بمود م پیخ د [5].

درس ال ۲۰۲۰ سکت لپو و ه م کاران کیفیت ض ب م هار FRP تع هبوت نبر فیتا ل رزه ای بت ون ه لبتن آرم ه ی تقویت ش دبا ورق های FRP را م وره بروسی ق رار دادن ه بروسی ه انشان می ده د تع هبوت ن لسیب دیده میات نبا کیفیت پایی ن خ تی الیمیه، ظفیت خ ش سی و شکله ذیری سبت ون رله خطر ن می آن دازد. ه م چنین کیفیت ض ب بر عم ل کرد منهل ب م هار بس یلوا اثیرگ ذار سلت؛ ض ب ض عیف م ه اراه ای FRP طوره لبت وج ه ی ظفیت مورد انت ظموت و نتق ویت ش دبا ورق ها و م ه اراه ای FRP را کاهش می ده د. ض ب ص ح یح م ه اراه ای FRP اطمینان می ده د که میتوان به ظفیت م وره لظار هت فلت تب دون این کعبر شکله ذیری اس ت فاده از چن د به ورق FRP تقویت میش ون د، یک تکنیک بسیار کارآم دسلت و میتوان هبارن هایی رتا ۶۶ درصد فلزایش ده د. س ت فو تقویت ش ت اثیر م ق پیگ دارد [6].

بر این موکت فاده از م هار های FRP درتق ویت ش یی و خ ش ی ای عضا لبتن آرم ش ام لبتیوت و نتصا و داله انشان می ده د کعبه کابردن این م ه اراه ظفیت بربری ه ایی و شکله ذیری و ج ذب انرژی رله طوره لبت م حظه ای فلزایش می ده ن د [7-9].

تلبه اهز بروسی های مح دودی پیرامون اثیر تکنیک اتصال روق تقویتی بر عم لکرد م ه اراه ای FRP تقیم انج ام ش ده سل تو پام تره ای م ه اراه ای FRP تن هایی م ورد بروسی قرار گرت لن د، که م ان عمل لی در اج رای طرح های دقیق و کارآم برای م ه اراه ای FRP م ن ض مین سل بر این ه امت تحقیق ج ام عی پیرامون ش خص ات م هاره ای م تقیم ن ظیر عمق ق رارگیری م هار طلخ ن، طول بخ ش باب نی و سبت سطح قطع م هاره به روق تقویتی انج ان گفیت سلت. یک مئله کلیدی مدرکت فاده از م ه اراه ای FRP تع هبوت ش خص ات م و بکتجه به روش ت اتصال و طول روق تقویتی سلت، که ج دلش گسی ورق FRP به طور کامل حذف کرده و مود شکرت رله هگس یختگی روق تقویتی تب دلیل کذب رسل اس ت تحقیاتی انج ام ش ده و دانقو گول ن ع تی اصف لملینت فاده از روش ش یارزنی از تکنیک های مقوری برای حذف یلمت اخیران نطن ج دلش گسی زود ه نگام روق تقویتی ملق. نتایج تحقیاتی انشان می ده د که نمونه های تقویت ش دبه

۲. مراحل آزمایشگاهی

۲-۱- مشخصات نمونه‌ها و بتن موبدت‌فاده

برای بررسی فیت‌التصال ورق تقویت‌ی به سطح بت‌ناب‌ع‌اد نمونه‌ها ۱۵۰×۱۵۰×۳۵۰ میلی‌متر درنظ‌رگرفت‌شد و به‌جهت بررسی ممبره‌ای بت‌ن تقویت‌ی بیرون‌آم‌گ‌یبه ان‌دازه ۸۰ میلی‌متر در مرکز نمونه‌ها قرارگرفت‌ت‌بت‌وان از نمونه‌ها برای ان‌جام دو آزمایش، برای ع‌یین مق‌اوم‌ت‌ف‌ش‌اری‌بت‌ن صرفی، ۳ نمونه‌ها با ارتفاع ۲۰۰ و قطر ۱۰۰ میلی‌متر از هر مخلوط‌ت‌یه‌شد. آزمایش‌ف‌ش‌اری‌ت‌ک‌محوره روی ۳ نمونه‌ها پس از ۲۸ روز قرارگیری در ح‌ض‌چ‌ه‌آب، ان‌ج‌ام‌شد.

شکل ۲: نمونه‌های مورد استفاده جهت تحقیق

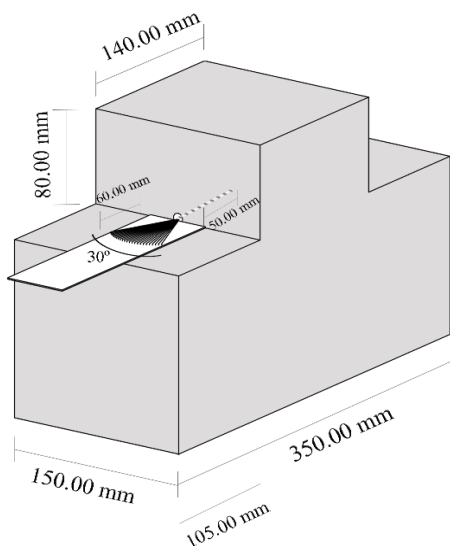


Fig. 2. T-shaped specimens

۲-۲- مشخصات ای‌اف‌ب‌ا و کفی موبدت‌فاده

به‌من‌ظ‌ور تقویت‌ن‌ن‌ه‌ها کلپ‌وزیت‌م‌دل‌ح‌ش‌د‌دب‌الایف‌رک‌ب‌ن (CFRP) موبدت‌ف‌اده‌ق‌رارگ‌رفت‌ت‌. ورق‌ه‌لی‌ت‌ف‌اده‌ش‌ده، مح‌س‌ول‌ش‌رک‌ت‌Sika م‌ک‌روئ‌ی‌س‌و‌بان‌امت‌ج‌اری SikaWrap-230C م‌ن‌ه‌ن‌د‌ن‌د‌از‌رزین‌برای‌الت‌ص‌د‌ال‌ورق‌ب‌س‌ط‌ح‌بت‌ن‌و‌نیز‌ب‌ع‌ن‌وان‌امت‌ر‌یس‌در‌کلپ‌وزیت‌FRP ت‌ف‌اده‌م‌ی‌ش‌ود. د‌ت‌ح‌قی‌ق‌ح‌ط‌ر‌از‌رزین‌ل‌پ‌وک‌سی‌Quantom-EPR3301 لی‌د‌ی‌ش‌رک‌ت‌واک‌ات‌وم‌ای‌ران‌س‌ل‌ت‌ف‌اده‌ش‌د. این‌رزین‌از‌دو‌ج‌ز‌ء‌A و B ش‌کی‌ل‌ش‌ده‌س‌ت‌. س‌ن‌ب‌ت‌ج‌ز‌ء‌A به‌B ل‌پ‌ب‌ا‌ب‌ء‌ا‌س‌ل‌ت‌ب‌ر‌س‌ل‌اس‌اک‌ت‌لا‌و‌گ‌، ز‌مان‌لازم‌برای‌ع‌م‌ل‌آوری‌رزین‌ل‌پ‌وک‌س‌د‌دی‌۷ روز‌در‌دم‌ای‌۲۵ در‌ج‌ه

ش‌ی‌ء‌اره‌ای‌ط‌ول‌ی‌بت‌ن‌ش‌ر‌ب‌ه‌ع‌م‌ق‌بت‌ن‌م‌ت‌ق‌ل‌کر‌ده‌ام‌اش‌ی‌ء‌اره‌ای‌ع‌ض‌بت‌ن‌ش‌را‌در‌س‌ط‌ل‌ج‌ت‌ن‌گ‌س‌ت‌ر‌ش‌م‌ی‌ده‌ن‌د [13].

د‌ت‌ح‌قی‌ق‌ح‌ظ‌ل‌ی‌ر‌ت‌ف‌اده‌از‌ممبره‌ای‌س‌م‌ت‌ق‌ی‌ب‌ل‌ج‌ز‌نی‌در‌کن‌ار‌این‌ت‌کن‌یک‌بر‌ای‌ب‌ه‌ر‌م‌ن‌دی‌ک‌امل‌از‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌تی‌م‌ورد‌ب‌ر‌وی‌ق‌رار‌خ‌وا‌ه‌د‌گ‌ف‌ت‌ت‌ح‌قی‌ق‌ی‌ات‌ان‌ج‌ام‌گ‌س‌ت‌ه‌رو‌ط‌ب‌ع‌ا‌ه‌ش‌ی‌ار‌ن‌ش‌ان‌م‌ی‌ده‌د‌ع‌م‌ق‌ش‌ی‌ار‌۱۰ میلی‌متر‌ب‌ار‌گ‌س‌ی‌خ‌ت‌گ‌ی‌ن‌های‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌تی‌ر‌ل‌ت‌۸۰ درصد‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌م‌ی‌ده‌د‌و‌م‌ی‌ت‌وان‌د‌ج‌دل‌ش‌گ‌ی‌را‌است‌ف‌اده‌ن‌مود (ش‌کل ۲). برای‌ع‌یین‌م‌ق‌اوم‌ت‌ف‌ش‌اری‌بت‌ن‌صرفی، به‌ط‌ور‌ک‌امل‌ح‌ذ‌ف‌ک‌د‌ب‌ن‌ب‌ل‌ر‌این‌ع‌م‌ق‌۱۰ میلی‌متر‌ب‌ه‌ع‌ن‌وان‌ع‌م‌ق‌ب‌ه‌ی‌نه‌در‌ت‌ک‌ی‌ک‌ش‌ی‌ار‌زنی‌ار‌ئ‌ش‌د‌ب‌ک‌و‌ج‌ب‌ه‌این‌ک‌پ‌ش‌ب‌ت‌ن‌م‌ع‌وم‌از‌این‌ق‌دار‌ب‌ی‌ش‌ت‌ر‌س‌ل‌ت‌، مح‌دود‌ی‌تی‌در‌روش‌EBROG برای‌ق‌و‌ی‌ت‌س‌از‌ه‌ه‌لی‌بت‌ن‌آرم‌ه‌و‌ج‌ود‌ن‌خ‌وا‌ه‌د‌ه‌ل‌ت‌. ت‌ح‌قی‌ق‌ی‌ات‌گ‌ش‌ذ‌ت‌ه‌ن‌ش‌ان‌داده‌س‌ل‌ت‌که‌ع‌م‌ق‌ک‌م‌ف‌ر‌از‌۱۰ میلی‌متر‌ج‌دل‌ش‌گ‌ی‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌تی‌از‌س‌ط‌ل‌ج‌ت‌ن‌ر‌ب‌ه‌م‌را‌ه‌ش‌وات‌ه‌و‌ام‌کان‌است‌ف‌اده‌ی‌ک‌امل‌از‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌تی‌در‌این‌ح‌ل‌ت‌و‌ج‌ود‌ن‌خ‌وا‌ه‌د‌ه‌ل‌ت‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌ع‌رض‌ش‌ی‌ا‌ب‌اع‌م‌ق‌ی‌بت‌ن‌ج‌ب‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌ب‌ار‌گ‌س‌ی‌خ‌ت‌گ‌ی‌ن‌های‌م‌ی‌ش‌ود؛ اما‌اف‌ز‌ای‌ش‌ع‌رض‌ش‌ی‌ار‌ب‌ی‌ش‌از‌۱۰ میلی‌متر‌وص‌ی‌ه‌ن‌م‌ی‌ش‌ود؛ زیرا‌ای‌جاد‌این‌ش‌ی‌ار‌م‌ی‌ت‌وان‌د‌آ‌س‌ی‌ب‌زیاد‌ی‌ب‌ه‌ت‌ن‌وارد‌کر‌ده‌و‌از‌ظ‌ف‌ی‌م‌ی‌ل‌ول‌ن‌ت‌ف‌اده‌از‌چ‌س‌ب‌ل‌پ‌وک‌سی‌ر‌ب‌ل‌م‌ق‌در‌ی‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌ده‌د، که‌از‌ن‌ظ‌ق‌لت‌ص‌ادی‌ب‌ص‌ف‌ن‌س‌ی‌ت‌ [16-17] ی‌ا‌ب‌ر‌این‌در‌این‌ت‌ح‌قی‌ق‌از‌ش‌ی‌ار‌های‌ب‌اع‌م‌ق‌و‌ع‌رض‌۱۰ میلی‌متر‌و‌ط‌ول‌ت‌ا‌ص‌ل‌لی‌ک‌م‌ف‌ر‌از‌ط‌ول‌ت‌ا‌ص‌ل‌م‌ق‌ر‌س‌ل‌ف‌اد‌ش‌د‌ت‌ا‌ام‌کان‌ب‌ر‌وی‌ع‌م‌ل‌کر‌دم‌ه‌ار‌ف‌ل‌وت‌های‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌تی‌، برای‌ح‌ذ‌ف‌ج‌دل‌ش‌گ‌ی‌ورق‌از‌س‌ط‌ل‌ج‌ت‌ن‌و‌ج‌ود‌ش‌وات‌م‌ب‌ش‌ل‌د‌ع‌و‌ب‌ر‌آن‌، در‌اع‌ض‌ای‌از‌س‌از‌ه‌ا‌ف‌ن‌ت‌ی‌ر‌های‌T ش‌کل‌، م‌م‌کن‌س‌ل‌ت‌ت‌أم‌ی‌ن‌ط‌ول‌ت‌ا‌ص‌ل‌م‌ق‌ر‌س‌ل‌ف‌اد‌ش‌ذ‌ی‌ر‌ن‌ب‌ش‌ل‌د‌ب‌ه‌کار‌گیری‌ممبره‌ای‌FRP ب‌ل‌ج‌ز‌نی‌یکی‌از‌راه‌ه‌لی‌ت‌ف‌اده‌از‌ب‌ی‌ش‌ت‌ر‌ین‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌تی‌در‌این‌ح‌ل‌ت‌س‌ل‌ت‌ب‌م‌ن‌ظ‌و‌ب‌ر‌وی‌ت‌ج‌ب‌ف‌ی‌ت‌ار‌ممبره‌ای‌س‌م‌ت‌ق‌ی‌ب‌س‌م‌پ‌س‌از‌ن‌ض‌ب‌ممبره‌ا‌روی‌ورق‌های‌FRP، نمونه‌ه‌ل‌ت‌ح‌ت‌آزم‌ایش‌ب‌ر‌ش‌س‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌ق‌رار‌م‌ی‌گیر‌ند. در‌مح‌دوده‌پ‌ژوه‌ش‌ع‌م‌ق‌گیر‌ایی‌م‌ه‌ار‌، س‌ن‌ب‌ت‌س‌ط‌ح‌ق‌ط‌ع‌م‌ه‌ار‌به‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌تی‌، چ‌گ‌ون‌گ‌ی‌ق‌رار‌گیری‌ق‌س‌م‌ت‌ب‌ل‌ج‌ز‌نی‌م‌ه‌ار‌روی‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌تی‌و‌روش‌ن‌ض‌ب‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌تی‌م‌ورد‌ب‌ر‌وی‌ق‌رار‌خوا‌ه‌ن‌د‌گ‌ف‌ت‌.

لنتی گراد میشل د. ه چینین میزان رزین صرفی پیشین هادش ده ت م سد ددش در کت و اکت و ه بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ گرام به ازای هر نفر ه پ ع ل ی ا ف س ل د ت. ش د خ ص د ا ت م ک ا ن ی ک ی ا ل ی ا ف و ر ز ی ل پ و ک س د ی م و س د ت ف ا د ه (در ج د و ل) ۱ (ن ش ا ن د ا د م ش د ه س ل ت [18-19].

جدول ۱. شرح صرات مکانیکی الیاف و رزین پلوکی موردها استفاده

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 آزمایش برش متقاطع

نمونه ه ل پ س از ق ا و م س ا ز ی ب ه م ی ل د ک ل ه و ز ی ت FRP داخل سد ت گ ا ه آ ز م ا ی ش ب ر ش م ت ق ی م، م ج ه ز ب ه ی ک ج ک ه ی د ر و ل ی ک ی ا ظ ف ی ت ۳۰۰ کیلو نیوتن قرار می گیرند (شکل ۳).

شکل ۳- دستگاه آزمایش برش متقاطع



Fig. 3. Single-lap shear test setup

استفاده از جک هیدرولیکی نیروی ۳۵۰ کیلو نیوتن محکم می شود. از دو ورق فولادی ۱۰۰×۱۰۰ میلی متر لانت ه ای ورق تقوایی ت ف ا د ه گ ر د ی ل ت ا ا ن پ ا ر گ ی م ض ع ی و ر ق ت ق و ی ت ی داخل سد ت گ ا ه ج ل گ ی ر ی ش و د. برای ج ل گ ی ر ی از چ ر خ ش ن م ن ه داخل سد ت گ ا ه و د ب ل ی ت ب ه ق ط ر ۱۶ میلی نفر و یک ش م ش ف و ل ا د ی ب ر ا ی بی ن ث ر ک ر د ن ن ی ر و ی خ ا ر ج از م ح و ر ب ه ک ا ر ب ر د ه ش د. در ت م ا م ی آ ز م ا ی ش ه ل ا ر گ ذ ا ر ی م ص و ر ت ک ت ر ل ت غ ی ی ر م ک ا ن ا ن ج ا م ش د. در سد ت گ ا ه ح ط ر م ی ت و ا ن س ر ع ت ب ا ر گ ذ ا ر ی ب ل ی ن ت ا ۶۰ میلی متر ب ر ق ی ق ی ف ن ظ ی م ن م و د. م ط ب ق ب ا ط ل ا ن د ا ر د [ASTM D3039] 20[بار گ ذ ا ر ی ب ا س ر ع ت ۲ میلی متر ب ر ق ی ق ه در ح ل ا ت س ل ا ت ی ک ی ب ی ش ن ه ا د م ی ش و د.

۲-۴- طبقه بندی تقویتی نمونه های آنتی رگ اهی

نامگ ذ ا ر ی ن م ن ه ه ا ی ت ق و ی ت ش ذ ا م ی ا ت ف ا د ه از م ا ر ه ا ی ب ا د ب ز ن ی م ص و ر ت T-d-f-n س ل ت که T ر و ش ن ص ب (ر و ش ن ص ب خ ا ر ج ی یا EBR و ر و ش ن ص ب خ ا ر ج ی ر و ی ش ی ا ر یا EBROG)، d ط و ل ب ل ز ن ی، ن گ ن ب ت س ط ح ق ط ح م ا ر ب ه و ر ق ت ق و ی ت ی و n ش م ا ر ه ت ک ر ا ر م ی ش ل د. ه م چ ن ی ن ن م ن ه ه ا ی ب ه ع ن و ا ن ن م ن ه ه ای ش ا ه د ب ر ا ی ب ر و ی ع م ل ک ر د م ه ل ت ن ط ل ی ا ت ف ا د ه از ی ک ی ه و ر ق FRP تقویتی شدن د. نامگ ذ ا ر ی ا ی ن ن م ن ه م ل ص و ر ت T-S-n می ب ش ل د که T ر و ش ن ص ب و ر ق ت ق و ی ت ی و ن ش م ا ر ه ت ک ر ا ر س ل ت. در ت م ا م ی آ ز م ا ی ش ط ب ک ه ی ب ک و ن ی ب ه ص خ ا م ت ۰/۱۳۱، ع ر ض ۴۸ میلی نفر و ط و ل ف ا ص ل ۷۰ میلی نفر ب ه ک ا ر ب ر د ه ش د. ه م چ ن ی ن ع م ق گ ی ر ا ی ی م ه ا ر در ت م ا م ی ن م ن ه ه ا ی ت ق و ی ت ش ذ م ی ا ت ف ا د ه از م ا ر ه ا ی م ت ق ی م ی ب ی ل ر ۵۰ میلی نفر در ن ظ ر گ ر ت ش د ه س ل ت. در ن م ن ه ه ا ی ت ق و ی ت ش ذ م ب ه ر و ش EBROG از د و ش ی ا ر ب ا ع م ق و ع ر ض ۱۰ میلی نفر ف ص ل ل ب ر ت ب ل ر ۲۰ میلی نفر ت ف ا د ه ش ذ ب ر ا ی ر ا س ت ی آ ز م ا ی ی ت ا ی ج، ه ر آ ز م ا ی ش ذ و ب ا ر ا ن ج ا م گ ف ت. در ص و ر ت و ج و د خ ا ت ا ل ف غ ی ق ی ب ق ب و ل در ت ا ی ج، آ ز م ا ی ش ت ک ر ا ر ش ذ ب م ن ظ و ر ت ق و ی ت ن م ن ه ه ا م ر ا ح ل ز ی ر ا ن ج ا م گ ف ت:

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

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

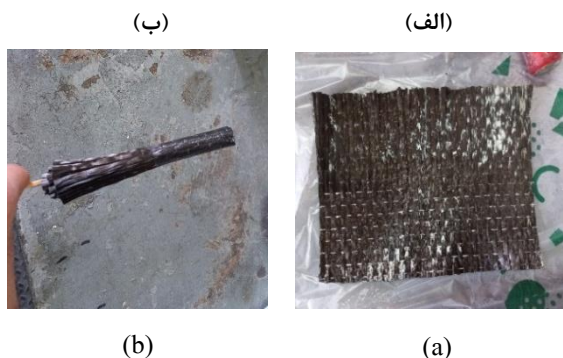


Fig. 5. Steps of anchor construction: (a) cutting CFRP to required lengths; (b) rolling the anchor around the dowel

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

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

شکل ۶. آماده‌سازی نم‌ن‌ه‌ها

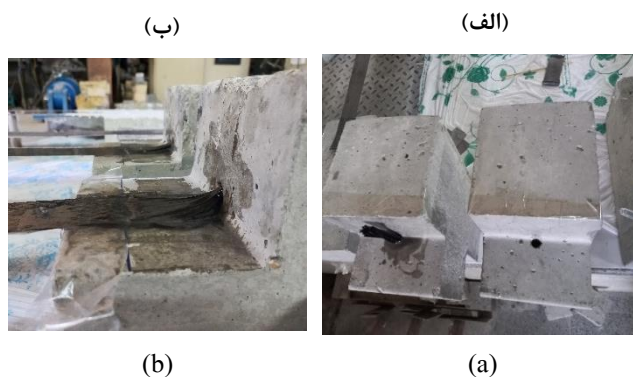


Fig. 6. Preparation of specimens

نم‌ن‌ه‌م‌پ‌س‌از‌آم‌دم‌س‌ازین‌به‌م‌دت‌۷‌روز‌بر‌ای‌ع‌م‌ل‌آوری‌در‌ش‌ر‌ایط‌آزم‌ن‌گ‌اه‌ق‌رار‌داده‌میش‌ون‌د‌بر‌ای‌ان‌ج‌ام‌ت‌کنیک PIV،

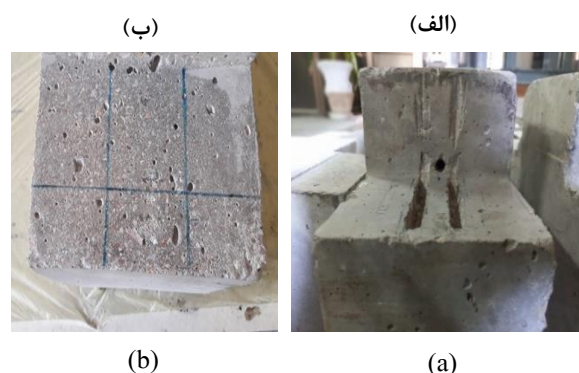


Fig. 4. Concrete surface preparation: (a) EBROG method; (b) EBR method

۲) خ‌ره‌ای‌باق‌طر ۱۲ میلی‌م‌تر‌وب‌ه‌عم‌ق ۵۰ میلی‌م‌تر‌رب‌ه‌وس‌یل‌م‌ت‌ه‌دا‌خل‌ت‌ن‌و‌ق‌یقاً‌م‌ر‌ب‌ل‌ت‌با‌م‌حل‌ق‌را‌ر‌گیری‌ورق FRP ای‌جاد‌میش‌ود.

۳) سطح‌آم‌دم‌ش‌ده‌ن‌ف‌ن‌ه‌، به‌وی‌لم‌ه‌ه‌ت‌گ‌ه‌پ‌م‌پ‌ه‌وا‌از‌ه‌ر‌گون‌ه‌ل‌و‌گی‌و‌گ‌رد‌وی‌ع‌ر‌ت‌م‌یز‌میش‌ود.

۴) الیاف‌رک‌ن SikaWrap-230C بس‌ل‌ف‌اده‌م‌وردن‌یاز‌بر‌ای‌س‌اخ‌ت‌م‌ه‌ای‌بر‌یده‌میش‌ود‌پ‌س‌از‌خ‌ارج‌کردن‌خ‌های‌نگ‌ه‌لان‌ده‌ب‌ین‌الیاف‌در‌ق‌س‌م‌ت‌ب‌ل‌ب‌زنی‌م‌ه‌ار‌، آیف‌خ‌ش‌از‌م‌ه‌ار‌که‌دا‌خل‌ت‌ن‌ق‌رار‌می‌گیر‌به‌وی‌لم‌ه‌ر‌زین‌پ‌اب‌اع‌ش‌ده‌وب‌ه‌دور‌یک‌چ‌وب‌ن‌از‌ک‌پ‌ی‌چ‌یده‌میش‌ود. م‌راح‌ل‌س‌اخ‌ت‌م‌ه‌ار‌در‌ش‌کل ۵) (ن‌ش‌ان‌داده‌ش‌ده‌س‌ل‌ت‌.

۵) م‌ه‌ار‌، دا‌خل‌خ‌هر‌م‌ر‌ش‌د‌با‌چ‌س‌ب‌ق‌رار‌داده‌ش‌ده‌و‌چ‌س‌ب‌ط‌رف‌لی‌خ‌ارج‌ش‌ده‌از‌اط‌راف‌آنب‌ثوات‌ه‌میش‌ود. خ‌ره‌ها

انجام آزمایش از نمونه عکس گستره میس و دشکل (۸) نحوه ی قراگیری نمونه و ووبین جهت انجام آزمایش را نشان می دهد. پس از پایان آزمایش برش برمی تقسیم، عکس طبعه جهت انجام آنالیز نیایبه ال‌ملین دی دان (شکل ۹). در ایت تحقیق ازالمان مایربه ابعاد ۲۸×۱۲۸ پیکسل لفلصلله ی ۴ پیکسل لفلصلله فادمش ده ملت. وایت و هم کاران درس ال ۲۰۰۳ از روش سرعت سنجی تص ویر ذره (PIV) در کنار روش فوتوگرامتری جهت ارزیابی تغییر شکل خلکی استفاده نمودن نتایج نشان داد، تکنیک PIV کمپایه ی پردازش عکس انجام می شود، قوت بیشتری دارد. همچنین نتایج حاصل از نتایج کنش سنج های الکترونیکی تطبیق خوبی دارد [21].

شکل ۹: ال‌ملین دی نمونه جهت انجام تکنیک PIV

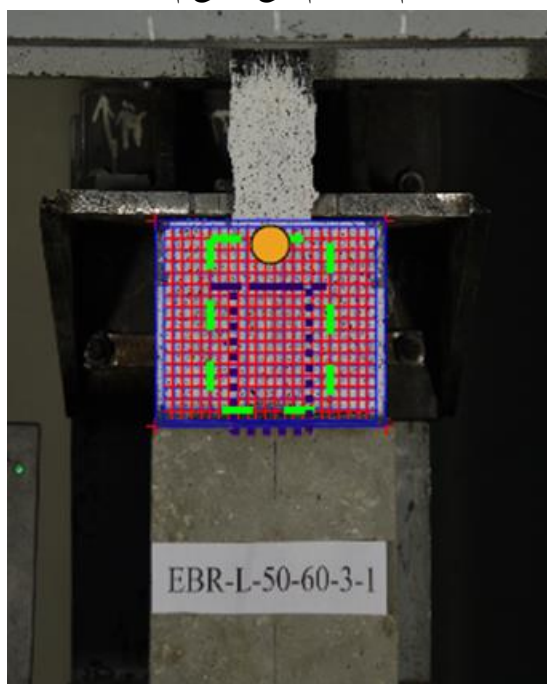


Fig.9. PIV technique

درس ال ۲۰۱۲ حسینی و همکاران از این تکنیک برای بررسی میدان جبهه جالیته استفاده نمودن. آن طبعم نظور مچاب هی لغزش ورق FRP تغییر مکلیتک دائمی اتصال ورق تقویتی رانفیتبه تغییر مکان سمت ملت و چپ سطح نتبناک فاده از ایطه ی (۸) به حس ت آودن د [22].

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

بک دارن گسفییداع مالش دپس از خشکش دن رن گ های آب ی، س بزق رمز و مشککی ب ص ورت نقطه های اش یدمش دن د (شکل ۷).

شکل ۷: تقویت نمونه های آزمایشگاهی



Fig. 7. Strengthening of specimens

۳. تکنیک سرعت سنجی تص ویری ذرات (PIV)

در این تحقیق به جهت ارزیابی میدان لغزش از تکنیک PIV استفاده شده ملت به جهت ایجاد بفتل ترنگی منلب جهت پردازش عکس ها، بونک دارن گ سفید بر روی سطح نمونه اع مالش دپس از خشکش دن رن گسفیید، رن گ های آب یی بزق رمز و مشککی ب ص ورت نقطه های بر روی سطح پتلش یدمش دن د. در حین

شکل ۸: چن ایی آزمایش



Fig.8. Test placement

نتایج آزمون‌های

از سطح بتن، DF بیانگر ج دلت گیبین ورق تقویتی و م هار بلبزنی و FRP آگی روق تقویتی را نشان می ده د. نمونه های EBR-S بتن وان نمونه های شامدن هلبا یک یه ورق FRP تقویت شدن د. مودگس بیختگی نمونه های شاه هلت وج به شکل ۱۰ الحلاف ج دلت گیبی ورق تقویتی سلت برسل اس ج دول ۲، در روش EBR استفاده از م هار هابیلین بت سطح قطع م هار به ورق تقویتی کبابر متوانایی فلزایش مقاوم بتتواصل اتاح دود ۳۳ درصد بت به نمونه های شاه د را دن د.

در ایپخش آزمایش های برش مبدتقیم انج ام گستره روی نمونه های تقویتی و بتش دب روی می گردن د. در آغاز، مقاوم بتتواصل روق تقویتی در نمونه ها و مودگس بیختگی آن هارایه می ش ود. در ادا مهنحنی های بارسل غزش نمونه های آزمایش دد گاهی مورد بررسی قرار می گیرند.

۴-۱ مقاوم بتتواصل ان مونه های آزمون‌های

برای بررسی مملکرد م هار های FRP بتایچ الح سد دل از آزمایش برش سبتقیم شامل مقاوم بتتواصل، مودگس بیختگی و بتن وسط جرق با م هاب وده سلت. در ادا مفلزایش بتتواصل سطح قطع م هاب و ورق تقویتی م و ر ب روی قرار گف بت فلزایش سطح قطع م هاب ج هت فلزایش سطح بتتواصل ورق تقویتی و بختش باد بزنی م هار وتوانایی انزبتق البقتن ش، مقاوم بتتواصل رله طور چش گیری فلزایش می ده دب طوری که فلزایش ح دوداً ۵۸ درصدی در مقاوم بتتواصل شاه ده می ش ود.

ج دول ۲. بتایچ نمونه 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 ازسازه هلیت ن آرم قبل اچ رام پیشلن د. بکت وج مبه این که روش EBROG در بمت اخیران هختن و یاح ذف ج دلش گی روق تنق ویتی عم لکره م طلیبی دارد، در ادامه یت تحقیقات یتناصل ورقبای این روش به ه مراه م ه 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 دهب م ه اره ای ستم 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

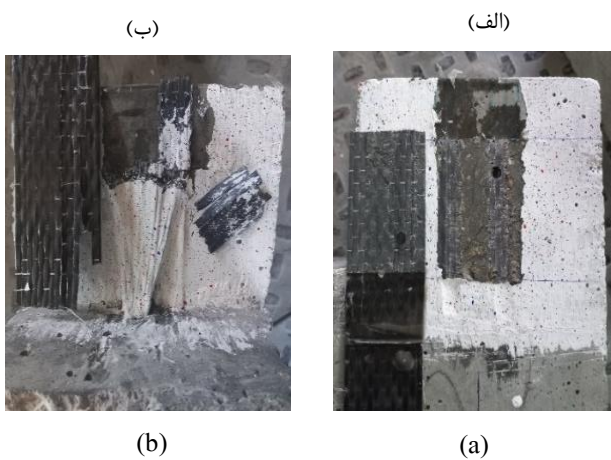


Fig. 11. Failure modes of EBROG specimens: (a) EBROG-S-1; (b) EBROG-60-2

بفیلدالینت فاده از م ه 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 م ه اره ای ستم تنق، فلزایش ۴۲ دص دی ربه طور میانگین نبت به نمونه های شاه دت چبه کردلن د. مقایسه نتایج این گروه مبه نمونه های EBROG نشان می دهنت فاده از روشش یازنی امکان ح ذف ج دلش گی زودهنگام ورق تنق ویتی رلبام قادیر کهری از

با این حال، مود شکرت در این هلاتت غبیری نکرده و هلبه نمونه های EBR-60-2، ج داش گیت فاق هلیت 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

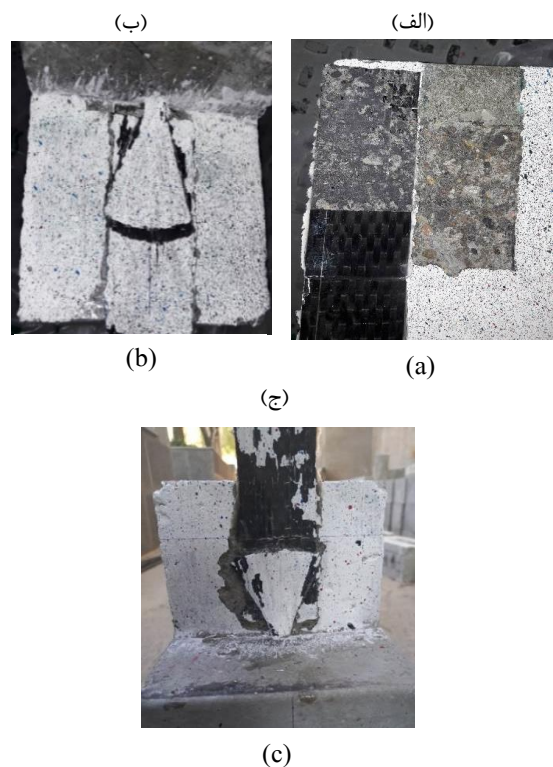


Fig. 10. Failure mode of EBR specimens: (a) EBR-S-1; (b) EBR-60-2; (c) EBR-60-3

بر سلت است تحقیقات سکتیلو و ه م کاران در سال ۲۰۱۹ [6]، نمونه های تنق ویتش دد دهبانک فاده از م ه اره ای FRP با زاویه کتهب خ ش بلب زنی م هار، مقادیربارن ه ای بیش تری رلت چبه کردلن د. زیرا در این هلاتت مقادیربایف در سلت ای نیروفلزایش فیلتوتن ش پش ددی کاهش می یبه هبلر این در تنق ویتن نمونه ها سه عی بر ای بود که زاویه هلب زنی ب هگونه ای پیش دد که از ۶۰ درجه کتهرش ده و م هار کام بر روی روق تنق ویتی قرارگیرد. درت مامی 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 دشت گدی دیناصال FRP لب سطح سلب تبر سلسله منحنی های بار لغزش در شکل ۱۲)، در نمونه هایی که ورق تقویتیتی بعد از اتصال لب سطح با روش EBR لبیات فاده از ممبر های تقویتیتی مینشود، علاوه بر فلز زایش مقاومت اتصال، در لغزش ن های با یی ریلن بتبه نمونه های شاه د تحمل می‌کنند.

شکل ۱۲. منحنی های بار لغزش نمونه های تقویتیتی دبه روش EBR با ممبر های تقویتیتی درافت های ورق

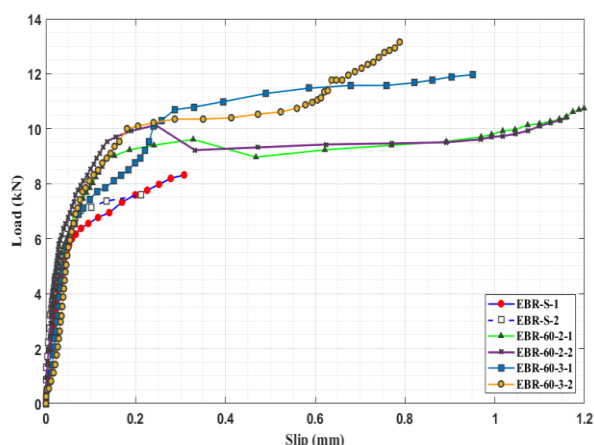


Fig. 12. Load-slip curves of EBR joints

همچنین این منحنی نشان می‌دهد، در نمونه های تقویت ش دبا ممبر های تقویتیتی نسبت سطح مقطع ممبر کفر لغزش بیش تری سلب مینشود و فلز زایش نسبت سطح مقطع ممبره ج هت فلز زایش سطح اتصال ورق تقویتیتی و ش سلب زینی ممبر و تول ایتر انقتال بنقتونش، مقاومت متصل دال ربه طور چشم گیری فلز زایش داه و مقادیر لغزش را کاهش می‌دهد.

منحنی بار لغزش نمونه های تقویتیتی دبه روش EBROG در شکل ۱۳) نشان داد شد ده سلبت. این ممبر و دایر خلاف نموده و داره ای گرقه سلبت دورت کاملاً ص دد و دیب و ده فیتا تقریباً دو خطی نمونه های تقویتیتی دبه روش EBR را ندارد. ممبر بار لغزش این گروه شامل یکش دد اص دد و دی لس ت، که شیب آن بوبک دای نوبار بیش از آن است. در این گروه تفاوت زیادی در لغزش نمونه های دده و نمونه های تقویتیتی دبا ممبره ای تقویتیتی دده روش و دبه علاوه، مقادیر لغزش در نمونه های تقویتیتی دده سلب هت فاده از

ممبره ای سلب زینی راه می‌کند به عوه در این گروه نمونه ممبره ای بیش تری را تحمل می‌کند. همچنین مقاومت اتصال نمونه های تقویتیتی دبا تکنیک EBROG ممبره ای سلب زینی ۳۶ درصدی ریلن بتبه نمونه های شاه د EBR نشان می‌دهد.

۴-۲ منحنی بار لغزش نمونه های آژیک های

فیتا اتصال ورق FRP لب سطح بتن را مینشود و لبیات فاده از منحنی های بار لغزش ارزیابی نمود. لغزش از پامت ره ای ممبره ای پیش ر شرم تقویتیتی سلبت کلبیات فاده از آن مینشود و این پامت ره ای دیگری ایند کنش بتنش ربه هت آورد. ممبره ای کلبیات از این بیانند، در این تحقیق برای ارزیابی میدان لغزش از تکنیک PIV ک فاده شد سلبت ممبره ای جابجافت رنگی ممبره ای پامت ردازش عکس ها، بوبک درن گمفید روی سطح نمونه اع مالمش د. پس از شکش دزن گمفید، رنگ ممبره ای سلب زینی ممبره ای ممشکی به صورت نقطه ای روی سطح پیش دده شد. در حین انجام آزمایش از نمونه عکس گمفید مینشود و پس از پایان آزمایش ر شرم تقویتیتی، عکس ممبره ای انجام آنلایزن نیاز به ال ممبره ای درن د. در این تحقیق از لامان های ممبره ای ۲۸×۱۲۸ پیکسل فاصل ۶۴ پیکسل فاده شد سلبت. واح د طول در این عکس پیکسل سلبت با انجام PIV، لغزش ک دیناصال ورق تقویتیتی در هنگام باگ داری ممبره ای مینشود. از طرف دیگر نیروی اع مالمش دبه نمونه در حین آزمایش لبیات فاده از نیرو سنج های سلبت گامت می‌گردد و دیترت سلبت منحنی بار لغزش برای هر نمونه به هت می‌آید. در شکل ۱۲) منحنی های بار لغزش نمونه های EBR نشان داد شد سلبت. در این منحنی ها فیتا بار لغزش نمونه ها را مینشود و دقت مینشود کرد به این صورت که در قسمت اول ممبره ای بارن ممبره ای سلبت زیاده ت داری نزدیک به بیش ترین مقاومت اتصال فلز زایش می‌آید. در این حالت نمونه لغزش کمی در ح دود ۰/۱۵ میلی ممبره ای رت جبه می‌کند. قسمت اول ممبره ای ممبره ای سلبت یک سلبت پس از آن منحنی سلبت غیر فیتار، وارد شاخه ای سلبت سلبت ممبره ای اول مینشود. در این قسمت، نمونه لغزش های زیادی را تا لحظه شکست جبه می‌کند. لحظه یالخطاتی از ممبره ای که شیب قسمت اول غیر

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

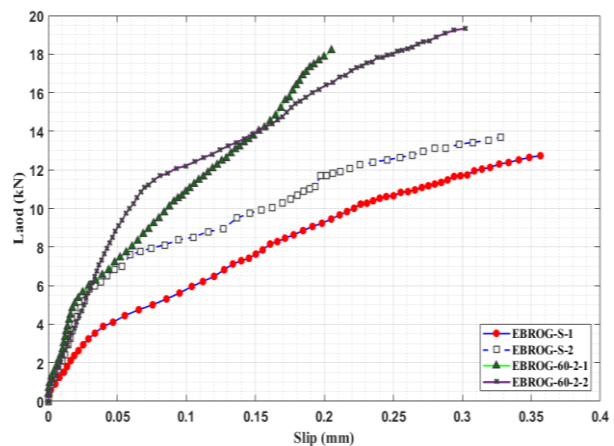


Fig. 13. Load-slip curves for EBROG joints

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 م‌ ه‌ا‌ر ه‌ای م‌س‌ت‌ق‌ی‌م‌ در ر‌وش‌ EBROG ف‌ل‌ک‌ ز‌ا‌ی‌ش‌ ۴۲
در ص‌د‌ د‌ی‌ا‌ ب‌ه‌ ط‌ور م‌ی‌ا‌ن‌گ‌ی‌ن‌ن‌د‌ ب‌ت‌ب‌ه‌ ن‌م‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ش‌ د‌ا‌ ه‌ت‌ج‌ب‌ه‌
ک‌ر‌د‌ل‌ن‌ د‌. در ا‌ی‌ن‌ ن‌م‌ون‌ه‌ ه‌ل‌ن‌ی‌ ب‌ت‌ س‌ط‌ح‌ ق‌ط‌ع‌ م‌ا‌و‌ ب‌ه‌ ر‌وق‌ ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌
ب‌ی‌ل‌ر 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 د‌د‌ د‌م‌ب‌ا‌ ت‌ک‌ن‌ی‌ک‌
EBROG ب‌ه‌ م‌ر‌ا‌ه‌ م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ای م‌ن‌د‌ت‌ق‌ی‌م‌ ف‌ل‌ک‌ ز‌ا‌ی‌ش‌ ۳۶ ا‌در ص‌د‌ د‌ی‌ 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 د‌م‌س‌ل‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ای ب‌ل‌ج‌ز‌ن‌ی‌ ب‌ن‌ی‌ ب‌ت‌ب‌ه‌
ن‌م‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ش‌ ا‌ه‌ د‌ف‌ل‌ک‌ ز‌ا‌ی‌ش‌ چ‌ش‌ گ‌ی‌ر‌ی‌ د‌ار‌د‌.
- ۷) د‌ر‌ت‌ م‌ا‌م‌ ن‌م‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ع‌ م‌ق‌گ‌ی‌ر‌ا‌ی‌ی‌ ۵۰ م‌ی‌ل‌ی‌ ب‌ق‌وت‌ و‌ل‌ ا‌ی‌ل‌ی‌ن‌ت‌ق‌ال‌
ک‌ا‌م‌ ل‌ت‌ن‌ش‌ ب‌ب‌ه‌ت‌ را ه‌ل‌د‌ت‌ه‌ و‌ م‌ه‌ا‌ر د‌ل‌ج‌ 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.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.