

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 گیلان، صاف‌هان
۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه گیلان، صاف‌هان

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

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۳۰

چکیده

استفاده از لپل‌میمس‌ل‌ش‌ده‌بال‌یاف (FRP) جهت ویت‌س‌از‌ه‌های‌بتنی‌س‌از‌و‌کار‌های‌س‌یختگی‌مهندسی‌را‌دی‌بی‌خواه‌دلش‌ت، که‌م‌دولت‌رین‌آن‌ج‌هل‌دگی‌زودن‌گ‌ام‌کامپوزیت‌FRP‌پیش‌از‌دستیابی‌به‌بیت‌کششی‌آن‌می‌تواند‌دلش‌ت‌ده‌از‌م‌ه‌ار‌های‌FRP‌یک‌روش‌م‌ت‌رایب‌ت‌آخر‌ان‌دای‌ن‌یا‌ح‌ذ‌ف‌ج‌هل‌دگی‌ورق‌ه‌ای‌ت‌و‌یتی‌در‌م‌ق‌اوم‌س‌ازی‌س‌خت‌م‌ان‌ها‌م‌ی‌لش‌د. این‌م‌طالعه‌ع‌م‌ق‌ق‌زادگی‌م‌ه‌ار،‌ن‌ب‌ت‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌م‌ه‌ار‌به‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌ورق‌ت‌و‌یتی‌و‌ت‌ک‌ت‌یک‌ت‌ص‌ال‌ورق‌FRP‌روی‌س‌ط‌ح‌را‌م‌ور‌ب‌رسی‌ق‌رار‌می‌ده‌د‌ب‌ر‌ال‌ت‌ص‌ال‌ورق‌ه‌ای‌ت‌و‌یتی‌از‌روشن‌ص‌ب‌خ‌ارج‌ی‌(EBR)‌ف‌ص‌ب‌خ‌ارج‌ی‌روی‌ش‌یار (EBROG)‌استفاده‌ش‌د‌ت‌ل‌ت‌ت‌ب‌ر‌ش‌ی‌ب‌ر‌ع‌م‌ل‌کرد‌م‌ه‌ار‌های‌FRP‌م‌ور‌ب‌رسی‌ق‌رار‌گیرد. در‌ن‌م‌ون‌ه‌ای‌ت‌و‌یتی‌در‌ش‌د‌به‌روش‌EBR‌استفاده‌از‌م‌ه‌ار‌های‌FRP‌فل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌م‌ه‌ار‌ی‌فل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌ص‌ال‌ورق‌ت‌و‌یتی‌و‌ب‌خ‌ش‌ب‌ل‌ن‌ز‌نی‌م‌ه‌ار‌ت‌وان‌ایی‌در‌ت‌ل‌ت‌ال‌ب‌ع‌ق‌ر‌ت‌ن‌ش‌م‌ق‌اوم‌ت‌ص‌ال‌ر‌ب‌ه‌ط‌ور‌ج‌ش‌گ‌یری‌فل‌ز‌ای‌ش‌می‌ده‌د‌ب‌این‌ح‌ال‌فل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌ت‌س‌ب‌ب‌ل‌ر‌ت‌وان‌ایی‌ح‌ذ‌ف‌ج‌دل‌ت‌ر‌دگی‌ورق‌ت‌و‌یتی‌ران‌دارد. در‌م‌ق‌ب‌ل‌روش‌ب‌از‌ن‌ی‌ب‌ت‌ک‌ت‌یک‌EBROG،‌ج‌هل‌دگی‌را‌ح‌ذ‌ف‌کرده‌و‌م‌قاوم‌ت‌ص‌ال‌ر‌ت‌ا‌ح‌دود‌۴/ب‌ب‌ل‌ر‌ن‌ب‌ت‌ب‌ن‌م‌ی‌ن‌ه‌ای‌ش‌اه‌د‌و‌روش‌EBR‌ف‌ز‌ای‌ش‌می‌ده‌د.

واژه‌کلیدی: اکمپوزیت FRP، روش‌ص‌ب‌خ‌ارج‌ی (EBR)، روش‌ص‌ب‌خ‌ارج‌ی‌روی‌ش‌یار (EBROG)، م‌ه‌ار‌ب‌ل‌ن‌ز‌نی.

۱. مقدمه

خ‌ارج‌ی‌ان‌هن‌ض‌ر‌ب‌ه‌و‌یا‌ع‌و‌ا‌م‌ل‌م‌ح‌ب‌ط‌ی‌م‌خ‌ر‌ب‌ن‌ی‌از‌به‌ق‌اوم‌س‌ازی‌دان‌د. از‌ج‌مله‌روش‌های‌م‌ی‌وم‌برای‌ق‌اوم‌س‌ازی‌س‌از‌ه‌ط‌ب‌یت‌ن‌آرمه‌م‌ت‌و‌ال‌ب‌ع‌ت‌ف‌اده‌از‌ص‌ف‌ح‌ات‌کل‌مپوزیت‌FRP‌ت‌ل‌س‌اره‌ن‌م‌ود.

س‌از‌ه‌های‌بت‌ن‌آرمه‌به‌د‌یل‌م‌ت‌خ‌لف‌از‌ج‌مله‌ض‌ع‌ف‌در‌ط‌را‌ح‌ی‌و‌ا‌ج‌ر‌ل‌ت‌غ‌ب‌یر‌در‌کل‌مپوزیت‌غ‌ب‌یر‌در‌آ‌ب‌ین‌امه‌م‌لت‌و‌ا‌ث‌یر‌ع‌و‌ا‌م‌ل

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

گیری م‌ه‌ا ر داخل‌بت‌ن را م‌ورب‌روی‌ق‌راردادن‌دبرسل‌اس‌ت‌ایج، گرد‌کردن‌ب‌مس‌وراخ‌ه‌ا‌ر‌قب‌ل‌م‌ ح‌ظ‌ه‌ای‌ب‌ر‌ت‌م‌ر‌ک‌ت‌ن‌ش‌ و در‌نت‌ی‌ج‌ه‌م‌ق‌ل‌وم‌ب‌ت‌ن‌ص‌ا‌ل‌ دارد. ه‌م‌چ‌ن‌ب‌ا‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌ ع‌م‌ق‌ و زاویه‌ی‌هار و ن‌ب‌ز‌ق‌ط‌ر‌خ‌ب‌ره‌ه‌ا‌ق‌ل‌وم‌ب‌ت‌ن‌ص‌ا‌ل‌ ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌ م‌ی‌ب‌د [4].

شکل ۱. م‌ه‌ار‌های FRP م‌ت‌ق‌ی‌م‌ و خ‌م‌ی‌ده؛ (الف) م‌ه‌ار م‌ت‌ق‌ی‌م‌-ن‌م‌ای‌ج‌لی‌بی؛ (ب) م‌ه‌ار م‌ت‌ق‌ی‌م‌-ن‌م‌ف‌ی‌و‌ق‌ان‌ی؛ (ج) م‌ه‌ار خ‌م‌ی‌ده-ن‌م‌ای‌ج‌لی‌بی (د) م‌ه‌ار خ‌م‌ی‌ده-ن‌م‌ای‌ف‌ی‌و‌ق‌ان‌ی [2]

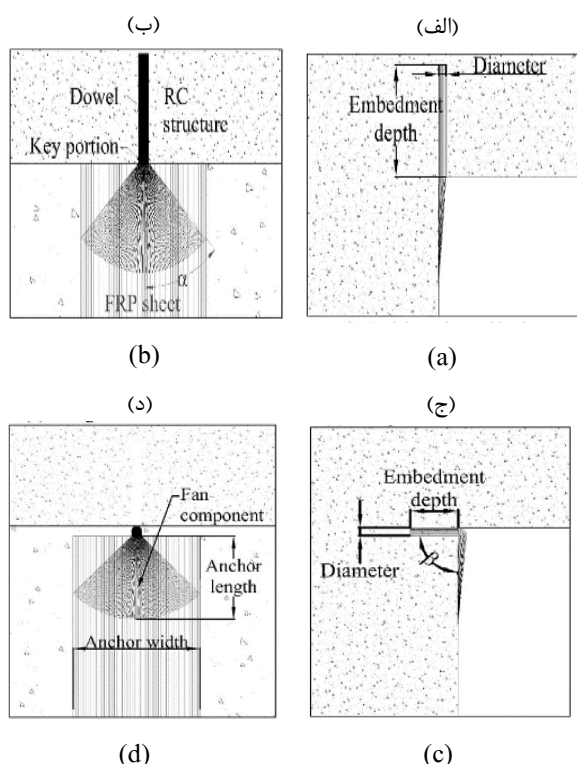


Fig. 1. Straight anchors and bent anchors: (a) Straight FRP anchors-side view; (b) Straight FRP anchors- front view; (c) bent anchors-side view; (d) bent anchors- front view [2]

درس‌ال ۲۰۱۸ س‌ک‌ت‌یلو و ه‌م‌کاران ف‌ی‌ت‌ار‌ل‌ر‌زه‌ای‌ش‌ ش‌ی‌ت‌ون‌بت‌ن‌ آ‌رم‌ه‌ی‌ت‌ق‌ی‌و‌ب‌ت‌ش‌ د‌م‌با‌ ورق‌ه‌ا‌ و م‌ه‌اره‌ای FRP ر‌ل‌ب‌روی‌ن‌م‌ودن‌د. ه‌د‌ف‌ص‌ل‌ی‌ آ‌زم‌ای‌ش‌ م‌ص‌ج‌اب‌ه‌ی‌ت‌ج‌ب‌ی‌ظ‌ف‌ی‌ت‌خ‌ش‌ی‌س‌ت‌ون‌ه‌ا‌ی‌ت‌ق‌ی‌و‌ب‌ت‌ش‌ د‌م‌با‌ ورق FRP م‌ب‌ا‌ دو‌ح‌ل‌ات‌ش‌ک‌ر‌ت‌ح‌ات‌م‌ل‌ی‌گ‌س‌ب‌ی‌خ‌ت‌گی‌ ورق‌های FRP و یا م‌ه‌ار FRP ب‌ود. اه‌د‌اف‌دی‌گ‌ر‌ت‌ح‌ی‌ق‌ب‌ر‌وی‌ت‌ا‌ث‌ی‌رب‌اره‌ای‌چ‌رخ‌های‌کش‌ش‌ف‌ش‌ا‌ب‌ر‌ظ‌ف‌ی‌ت‌م‌ه‌ار و ارز‌ی‌اب‌ی‌ک‌ف‌اده‌از‌ ورق FRP ف‌ی‌ت‌ار‌س‌ت‌و‌ب‌ودن‌د‌بر‌ل‌ل‌ی‌ن‌ت‌ای‌ج‌م‌ش‌اه‌دم‌ش‌د‌ه‌ب‌ار‌های‌چ‌رخ‌ه‌ا‌ی‌ا‌ث‌ی‌رب‌ق‌ب‌ل‌م‌ح‌ظ‌ه‌ای‌ب‌ر‌ظ‌ف‌ی‌ت FRP ف‌ان‌دان‌د. ه‌م‌چ‌ل‌ی‌ن‌ت‌ف‌اده‌ان‌ت‌ع‌داد‌م‌ه‌اره‌ای‌ب‌ی‌ش‌ت‌ر

بر‌ای‌ت‌ن‌ص‌ا‌ل‌ و ر‌ق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی FRP م‌س‌ط‌ی‌ب‌ت‌ن‌ روش‌های‌م‌خ‌ف‌ی‌پ‌ش‌ن‌ه‌ا‌ش‌د‌ه‌س‌ل‌ت‌، که‌از‌ج‌م‌ل‌ه‌آن‌ه‌ا‌روش‌ن‌ص‌ب‌خ‌ا‌ر‌ج‌ی‌) EBR (و روش‌های‌ش‌ب‌ی‌ار‌ز‌ن‌ی‌) EBROG (م‌ل‌ت‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌س‌از‌ه‌م‌ل‌ی‌ا‌ک‌ف‌اده‌از‌ ورق‌های FRP س‌از‌و‌کار‌ه‌ای‌گ‌س‌ب‌ی‌خ‌ت‌گی‌م‌ت‌ن‌وع‌ی‌را‌در‌پ‌ی‌خ‌وا‌ه‌د‌ه‌ل‌ت‌، ک‌م‌ت‌دا‌ول‌ت‌ر‌ی‌ن‌آن‌ج‌دا‌ش‌گی‌ز‌ود‌ن‌گ‌ام‌ک‌ل‌پ‌و‌ز‌ی‌ت FRP پ‌ی‌ش‌از‌س‌ت‌ی‌اب‌ی‌ب‌ی‌ش‌ت‌ر‌ی‌ن‌ظ‌ف‌ی‌ت‌کش‌ش‌ی‌آن‌س‌ل‌ت‌. ج‌د‌ل‌ش‌گی‌ز‌ود‌رس‌م‌م‌ک‌ن‌س‌ل‌ت‌ف‌ا‌ش‌ی‌از‌ل‌ب‌ه‌ج‌ای‌ب‌ر‌ی‌ز‌ت‌ر‌ک‌ه‌ا‌ج‌ی‌وت‌ن‌ب‌ا‌گ‌ذ‌اری‌س‌ی‌ک‌لی‌، م‌ر‌ز‌ض‌ع‌ی‌ف‌ب‌ی‌ن‌ت‌ن‌ و ورق FRP م‌ش‌ا‌ت‌ب‌اه‌در‌ط‌را‌ح‌ی‌و‌ا‌ج‌ر‌ل‌ب‌ل‌د [1] ب‌ن‌ب‌ر‌این‌ه‌م‌ب‌ن‌ط‌ور‌ک‌ب‌ه‌ک‌ا‌پ‌ردن‌ورق‌های FRP د‌ی‌ق‌و‌ی‌ت‌س‌از‌ه‌ا‌در‌ح‌ال‌گ‌س‌ت‌ر‌ش‌س‌ل‌ت‌ن‌ف‌اده‌از‌ب‌ی‌ش‌ت‌ر‌ی‌ن‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ک‌ل‌پ‌و‌ز‌ی‌ت FRP م‌ت‌ل‌ز‌م‌ح‌ذ‌ف‌و‌ی‌ل‌ب‌ت‌ا‌خ‌ی‌ر‌ان‌خ‌ات‌ن‌ج‌د‌ل‌ش‌گی‌ز‌ود‌ن‌گ‌ام‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ب‌ل‌ه‌ک‌ا‌گ‌ب‌ی‌ری‌روش‌ه‌ا‌وس‌از‌و‌کار‌ه‌ای‌ب‌ی‌بر‌ای‌ا‌ی‌جاد‌م‌ه‌اره‌ا‌ک‌ف‌ی‌م‌ی‌ش‌د. روش‌های‌م‌خ‌ف‌ی‌بر‌ای‌ج‌ل‌گ‌ب‌ی‌ری‌ی‌ل‌ت‌ا‌خ‌ی‌ر‌ان‌خ‌ات‌ن‌ج‌د‌ل‌ش‌گی‌ز‌ود‌ن‌گ‌ام‌ورق FRP و‌ج‌ود‌دان‌د، که‌از‌ج‌م‌ل‌ه‌آ‌ل‌م‌وات‌ف‌اده‌از‌م‌ه‌اره‌ای FRP ب‌ل‌ب‌ز‌ن‌ی‌م‌ی‌ش‌د. م‌ه‌اره‌ای FRP م‌ش‌ا‌م‌ل‌ب‌ک‌م‌د‌ت‌ه‌ال‌ی‌اف‌، یا‌ی‌ک‌ف‌ب‌ک‌ه‌ی‌ال‌ی‌اف‌ل‌ی‌م‌ش‌ده، ب‌ل‌غ‌ت‌م‌ب‌ه‌ر‌ز‌ی‌ا‌پ‌و‌ک‌س‌ی‌ب‌ه‌ع‌ن‌وا‌ن‌م‌ات‌ر‌ی‌س‌م‌ت‌ن‌د‌که‌ی‌ک‌ن‌ت‌های‌آن‌د‌رون‌خ‌ب‌ره‌ی‌آ‌م‌اد‌ش‌ده، دا‌خ‌ل‌ب‌ت‌ن‌ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌س‌ت‌ه‌ا‌ف‌ت‌های‌دی‌گ‌ر‌آن‌روی‌ورق FRP ب‌ت‌ن‌ص‌ل‌م‌ی‌ش‌ود. این‌م‌ه‌اره‌ل‌ب‌ر‌ح‌س‌ب‌م‌ح‌ل‌ک‌ل‌پ‌ر‌د‌ب‌ه‌د‌وس‌د‌ت‌ه‌ک‌لی‌م‌ه‌اره‌ای‌س‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌ و م‌ه‌اره‌ای‌خ‌م‌ی‌ده‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌م‌ی‌ش‌ون‌د. (ش‌ک‌ل ۱) انواع‌م‌ه‌اره‌ا‌و‌ن‌ب‌ز‌ا‌ج‌ز‌ای‌ت‌ش‌ک‌ی‌ل‌ده‌ن‌ده‌م‌ه‌اره‌ا‌ر‌ا‌ن‌ش‌ان‌م‌ی‌ده‌د [2].

در‌ت‌ح‌ق‌ی‌ات‌گ‌ش‌ز‌ن‌ت‌ن‌ق‌ا‌ت‌ب‌ی‌ر‌پ‌ا‌م‌ل‌ک‌ره‌ای‌م‌ه‌اره‌ای FRP ب‌ر‌م‌ق‌ل‌وم‌ب‌ت‌ن‌ص‌ا‌ل‌ و م‌ود‌ش‌ک‌ر‌ت‌ن‌م‌ون‌ه‌ه‌ل‌ب‌ه‌ط‌ور‌س‌گ‌ت‌ر‌ده‌م‌ورد‌ب‌ر‌وی‌ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌س‌ت‌ه‌س‌ل‌ت‌. درس‌ال ۲۰۰۹ ا‌ز‌ب‌ک‌ا‌و‌غ‌ل‌و‌ و ه‌م‌کاران ف‌ی‌ت‌ار‌گ‌ش‌ی‌م‌ه‌اره‌ای FRP ه‌ی‌ت‌ن‌ر‌ل‌ب‌روی‌ن‌م‌ودن‌د. ف‌ت‌ای‌ج‌ب‌ر‌وی‌آن‌ه‌ا‌ن‌ش‌ان‌م‌ی‌ده‌ب‌ا‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌ه‌ر‌یک‌ا‌ز‌پ‌ا‌م‌ل‌ک‌ره‌ای‌ق‌ط‌ر‌، ع‌م‌ق‌، و زاویه‌ی‌ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌ب‌ی‌ری‌م‌ه‌ار‌دا‌خ‌ل‌ب‌ت‌ن‌ه‌ت‌م‌س‌ط‌م‌ق‌ل‌وم‌ب‌ت‌ن‌ص‌ا‌ل‌ک‌ا‌ه‌ش‌م‌ی‌ب‌د. ه‌م‌چ‌ن‌ب‌ی‌ن‌م‌ق‌ل‌وم‌ب‌ت‌ن‌ب‌ت‌ن‌م‌ل‌ب‌ر‌ای‌ن‌م‌ون‌ه‌ه‌ای‌که‌ع‌م‌ق‌گ‌ب‌ی‌ر‌ای‌م‌ه‌اره‌د‌د‌ک‌و‌چ‌ک‌ی‌س‌ل‌ت‌ه‌م‌ی‌ت‌پ‌ی‌دا‌م‌ی‌ک‌ند؛ ز‌ی‌را‌ش‌ک‌ر‌ت‌این‌ن‌م‌ون‌ه‌م‌ل‌ب‌ص‌ور‌ت‌گ‌س‌ب‌ی‌خ‌ت‌گی‌م‌خ‌رو‌ط‌ی‌ج‌ی‌وت‌ت‌ف‌ا‌ق‌ف‌ی‌ل‌ک‌د [3]. درس‌ال ۲۰۱۷ ل‌ور‌اد‌و‌ و ه‌م‌کاران روش‌س‌ا‌خ‌ت‌وض‌ب‌، ع‌م‌ق‌گ‌ب‌ی‌ر‌ای‌م‌ه‌اره‌ا‌، گرد‌کردن‌ب‌مس‌وراخ‌ه‌ا‌، ق‌ط‌ر‌س‌وراخ‌و‌زاویه‌ی‌ق‌ر‌ا‌ر

روش EBROG با ن هایی و شکله ذیری بیش تری رلین بت 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 تقویت وفی نژاد وشاملی ب بررستی اثیر روش ش یارزنی، زمان ی که از چن دین یه ورق FRP استفاده میش ود، پ رطوخن د. نمونه های بلع اد $1000 \times 140 \times 120$ میلی م تر با دو تکنیک EBR و EBROG به وسیله ی یک، دو وسه یه ورق تقویت شدن د و تح تبارگ ذاری خم ش چ هارنقطه های ق رارگ رتند. نتایج حاکی از آن سرت کتصال ورق FRP بت برهای بتنی میتوان هبارن هایی و ه م چنین شکله ذیری ربه طور مقوری فلزایش دهس کتفاده از روش EBROG برای تیره ایی که با اس ت فاده از چن د یه ورق FRP تقویت میش ون د، یک تکنیک بسیار کار آم دسرت و میتوان هبارن هایی رتا ۶۶ درصد فلزایش ده د. ه م چنین نمونه های تقویتش دبه روش EBROG شکله ذیری بیش تری رانبت تب نمونه های تقویتش دبا روش EBR تقویه می کن د [11].

درس ال ۱۹ س لیمیان فیتا ت اتصال کلپ وزیت FRP را تح تسرعت های مخمل فبارگ ذاری بروی نم ود. ۳۶ نمونه با ابعاد $350 \times 150 \times 150$ میلی بقاب امقاوم تفشاری ۱۴، ۲۸ و ۴۲ تهیه ش دبر سل اس نتایج حاصل از آزمایش برش برش تقویم در نمونه های تقویتش دبه روش EBR فلزایش سرع تبار گ ذاری ظفویت اتصال ورق تقویتی فلزایش می یب د. ه م چنین فلزایش ظفویت اتصال تقویم بتن اب طه ی عکس دارد. از طفوی در روش EBROG به این علت که شکرت جوت توافق مقولتد مقاوم بتنبا ظفویت اتصال اب طم ر تقویم دارد [12].

درس ال ۲۰۲۲ مح م دی پام تره ای فصل ل 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 بروی قرار داد. در این تحقیق بقبرای الی مین بار از گرومش یارب رای تقویتن هون موک فاده ش ه بر سل اس نتایج با کاهش فطر ل ه ی بینش یه اراه تقویم بتنبا ظفویت اتصال فلزایش می یب د. ه م چنین نتایج حاکی از آن سرت که مقاوم ت اتصال درن هون هلبش یارهای طوی و عوضی تقویم یکسان سرت؛ اما مکانیسم ت قوتن ش در آن متفاوت میش دبه این گونه که

به ه راه یک یه دور پیچ در مح لتاصل لوت ون ب فون هل یون، عمل کوکتون را درش کلپ ذیری ون بروی ه ایی بمب ود م یب ش د [5].

درس ال ۲۰۲۰ سکت لپو و ه م کاران کیفیت ضب م هار FRP تع هبوت نبر فیتا ل رزه ای بتون هلیت ن آرم هیتقویتش دبا ورق های FRP را م وره بروی ق رار دادن ه بروی ه انشان می ده د تع هبوت ن سلب دیده میات نبا کیفیت پابین ختی الییه، ظفویت خمشی و شکله ذیری سرتون ربه خطر ن می ان دازد. ه م چنین کیفیت ضب بر عم ل کرد منهل ب م هار بس یلوا اثیرگ ذار سرت؛ ضب ب ضعیف م ه اراه ای FRP طوره بت وج ه ی ظفویت مورد انتظلموت ون تقویتش دبا ورق ها و م ه اراه ای FRP را کاهش می ده د. ضب بصحیح م ه اراه ای FRP اطمینان می ده د که میتوان به ظفویت م وره ن ظار هت فلتب دون این کبر شکله ذیری اس ت فاده از چن د یه ورق FRP تقویت میش ون د، یک تکنیک بسیار کار آم دسرت و میتوان هبارن هایی رتا ۶۶ درصد فلزایش ده د. سرت تقویتش اثیرم قی بگ دارد [6].

بر این موک فاده از م هار های FRP درتقویتش ی و خمشی اعضا بتن آرم مش ام لت بیوت ون تاصرا و داله انشان می ده د که کب کابردن این م ه اراه ظفویت بربری ه ایی و شکله ذیری وج ذب انرژی ربه طوره بتل م حظه ای فلزایش می ده د [7-9].

تلبه اهز بروی های مح دودی پیرامون اثیر تکنیک تاصل روق تقویتی بر عم لکرد م ه اراه ای FRP تقویم تاج امش ده سل تو پام تره ای م ه اراه ای FRP تن هایی م ورد بروی قرار گرت لن د، که مان عمل لی در اج رای طرح های دقیق و کار آم برای م ه اراه ای FRP وسط من ض من سل بر این ه امت تحقیق ج امعی پیرامون مش خ سات م هاره ای تقویم تن ظیر عمق ق رارگیری م هار فلخن، طول بخ ش باب نی و سرتب تسطح قطع م هاره به روق تقویتی ان چان گفوت سرت. یک مئل ه کلیدی مدرک فاده از م ه اراه ای FRP تع هبوتن مش خ سات م و بت چ ه به روش تاصل و طول روق تقویتی سرت، که ج دلش گی ورق FRP به طور کامل حذف کرده و مود شکرت ربه هگس بیختگی روق تقویتی تب دلیل کذب رسل اسرت تحقیاتی ان چ امش ده و دانقو گول نعتی اصف للملن، ت فاده از روش ش یارزنی از تکنیک های مقوری برای حذف یلمت اخیران نطن ج دلش گی زود هنگام روق تقویتی ملق. نتایج تحقیاتی انشان می ده د که نمونه های تقویتش دبه

۲. مراحل آزمایشگاهی

۲-۱- مشخصات نمونه بتن موبد فاده

برای بررسی فیتال اتصال روق تقویتی به سطح بتنا ب عا د نمونه ۱۰×۳۵۰×۱۵۰ میلی متری در نظر گرفت مشدد و به جه ت بررسی ماره ای تقویتی به بیرون آم گپه ان دازه ۸۰ میلی متر در مرکز نمونه قرار گرفت بتوان از نمونه برای ان جام دو آزمایش، شکل ۲). برای تعیین مقاومت تفشاری بت ن صرفی، ۳ نمونه ملهت وانهای بالرتفاع ۲۰۰ و قطر ۱۰۰ میلی متری از هر مخلوط تهیه شد. آزمایش فشاری تک محوره روی ۳ نمونه پس از ۲۸ روز راز گیری در حوضچه آب، انجام شد.

شکل ۲: نمونه های مورد استفاده هتق قیق

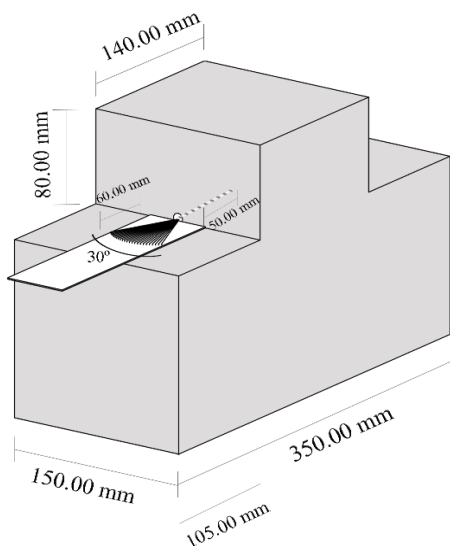


Fig. 2. T-shaped specimens

۲-۲- مشخصات ایفبها و کفی موبد فاده

به منظور تقویت نمونه ها کلپوزیت مه دل حشدد دب الیاف رکن (CFRP) موبد فاده قرار گرفت. ورق هلیت فاده شده، محسول شرکت Sika مویئیس و بانامت جاری SikaWrap-230C هستند از رزین برای اتصال ورقبمس سطح بت ن و نیز به عنوان ماتریس در کلپوزیت FRP استفاده می شود. دت تحقیق حطرا از رزیلپ وکسی Qantom-EPR3301 لییدش رکتواکتوم ایران سلت فاده شد. این رزین از دو جزء A و B تشکیل شده است. سبت جزء A به B با ب ۱ به ۱ سلت بر سلس اکتلاوگ، زمان لازم برای عمل آوری رزیلپ وکس ددی ۷ روز در دم ای ۲۵ درجه

شبه اراه ای طلی بت نش رله عمقت نذ منتقل کرده ام اشیه اراه ای عض بت نش را درس طلی بت ن گسرتش می دهن د [13].

دت تحقیق حطلی بت فاده از ماره ای ستم تقویتی به لبزنی در کنار این تکنیک برای مرم دی کامل از ظرفیت و رقتقویتی مورد بررسی قرار خ واه دگفت دت تحقیق اتان جام گسرته روطب عا هش یار نشان می ده د عمقش یار ۱۰ میلی متر برابرگ سیختگی نهای ورق تقویتی رلتا ۸۰ درصد فلزایش می ده د و میتوان دج دلش گی را است فاده نمود (شکل ۲). برای تعیین مقاومت تفشاری بت ن صرفی، به طور کامل ح ذف کذبذبلر این عمق ۱۰ میلی متر به عوان عمق بهینه در تکمیکش یار زنی ارتعاش دبک و جه به این کپوش سبت ن معوم از این قدار بیشتر سلت، مح دودیتی در روش EBROG برای قویت سازه هلیت ن آرمه و جودنخ واه د هلت. دت تحقیق ات گسرت ه نشان داده سلت که عمق کفتر از ۱۰ میلی متری ج دلش دگی و رقتقویتی از سطح بت ن رله ه مراه سواته و امکان است فاده ای کامل از ظرفیت و رقتقویتی در این حلت و جودنخ واه د هلت فلزایش عرضش یا باع مقببت م ن ج رب فلزایش بارگ سیختگی نهای می شود؛ اما افزایش عرضش یار بیش از ۱۰ میلی متری و صیه ن می شود؛ زیرا ایجاد اینش یار میتوان دآسب زیادتی به تن وارد کرده و از طفی میلی ن فاده از چسب پل وکسی رلبق در فلزایش ده د، که از نطق لئس ادیب ص ف نه سبت [16-17] یار این دت تحقیق از ش یارهایی با عمق و عرض ۱۰ میلی متری و طول اتصالی کفتر از طول اتصالی موقر سلف فادمش دت امکان بررسی عمل کرد م هار لوت های و رقتقویتی، برای ح ذف ج دلش گی ورق از سطح بت ن و جودن سوات مبثل د ع و بر آن، در اعضایی از سازه ان تیرهای T شکل، ممکن سلت امتأمین طول اتصالی موقر امکانپذیر نیست دبه کارگیری ماره ای FRP لبزنی یکی از راه هلیت فاده از بقیترین ظرفیت و رقتقویتی در این حلت سلت تبم نظو و بررسی بت ج ب فرتار ماره ای ستم تقویتی پس از نصب ماره ای روی ورق های FRP، نمونه هلت ح آزمایش برش ستم تقویتی قرار می گیرند. در مح دوده پژوهش عمق گیری م هار، سبت سطح قطع م هار به و رقتقویتی، چگونگی قرار گیری قسم بت لبزنی م هار روی و رقتقویتی و روش نصب ورق تقویتی و مرم بررسی قرار خ واه دگفت.

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

۲-۴- طبقه‌بندی تقویتی نمونه‌های آنتی‌باگ‌های

نام‌گ‌داری‌ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ا‌ی‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌د‌ا‌م‌ی‌ا‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌از‌م‌ا‌ر‌ه‌ا‌ی‌ب‌ا‌د‌ب‌ز‌ن‌ی‌م‌ص‌ورت‌T-d-f-n‌س‌ل‌ت‌که‌T‌ر‌و‌ش‌ن‌ص‌ب‌(ر‌و‌ش‌ن‌ص‌ب‌خ‌ا‌ر‌ج‌ی‌یا‌EBR و ر‌و‌ش‌ن‌ص‌ب‌خ‌ا‌ر‌ج‌ی‌ر‌و‌ی‌ش‌ی‌ا‌ر‌یا‌EBROG)، d‌ط‌و‌ل‌ب‌ل‌ز‌ن‌ی‌، ن‌گ‌ن‌ب‌ت‌س‌ط‌ح‌م‌ا‌ر‌ب‌ه‌ور‌ق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌و‌n‌ش‌م‌ا‌ر‌ه‌ت‌ک‌ر‌ا‌ر‌م‌ی‌ش‌د. ه‌م‌چ‌ن‌ی‌ن‌ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ا‌ی‌ب‌ه‌ع‌ن‌و‌ان‌ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ا‌ی‌ش‌ا‌ه‌د‌ب‌را‌ی‌ب‌ر‌و‌ی‌ع‌م‌ل‌ک‌ر‌د‌م‌ه‌ل‌ت‌ن‌م‌ط‌ی‌ا‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌از‌ی‌ک‌ی‌ه‌ور‌ق‌FRP‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌د‌ن‌د‌ن‌ا‌م‌گ‌داری‌این‌ن‌م‌ن‌ه‌م‌ط‌ب‌ص‌ورت‌T-S-n‌م‌ی‌ب‌ش‌د‌که‌T‌ر‌و‌ش‌ن‌ص‌ب‌ور‌ق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌و‌n‌ش‌م‌ا‌ر‌ه‌ت‌ک‌ر‌ا‌ر‌س‌ل‌ت‌. در ت‌م‌ا‌م‌ی‌آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ط‌ب‌ک‌ه‌ی‌ب‌ک‌و‌ن‌ی‌ب‌م‌ص‌خ‌ا‌م‌ت‌۰/۱۳۱، ع‌ر‌ض‌۴۸ میلی‌متر و ط‌و‌ل‌ت‌ا‌ص‌ا‌ل‌۷۰ میلی‌متر ب‌ه‌کار‌ب‌ر‌د‌م‌ش‌د. ه‌م‌چ‌ن‌ی‌ن‌ع‌م‌ق‌گ‌ی‌را‌ی‌م‌ه‌ا‌ر‌د‌ر‌ت‌م‌ا‌م‌ی‌ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ا‌ی‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌د‌م‌ی‌ا‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌از‌م‌ا‌ر‌ه‌ا‌ی‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌ب‌ی‌ل‌ر‌۵۰ میلی‌متر درن‌ظ‌ر‌گ‌ر‌ت‌ش‌ده‌س‌ل‌ت‌. در ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ا‌ی‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌د‌م‌ب‌ه‌ر‌و‌ش‌EBROG‌از‌د‌و‌ش‌ی‌ا‌ر‌ب‌ا‌ع‌م‌ق‌و‌ع‌ر‌ض‌۱۰ میلی‌متر ف‌ص‌ل‌ب‌ت‌ب‌ر‌۲۰ میلی‌متر ف‌ا‌د‌ه‌ش‌د‌ب‌را‌ی‌را‌س‌ت‌ی‌آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ت‌ا‌ی‌ج‌، ه‌ر‌آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌د‌و‌ب‌ا‌ر‌ان‌ج‌ا‌م‌گ‌ف‌ت‌. در‌ص‌و‌ر‌ت‌و‌ج‌و‌د‌خ‌ا‌ت‌ا‌ل‌ف‌غ‌ی‌ق‌ب‌ت‌ب‌و‌ل‌در‌ت‌ا‌ی‌ج‌، آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ت‌ک‌ر‌ا‌ر‌ش‌د‌ب‌ه‌م‌ن‌ظ‌و‌ر‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ا‌م‌را‌ح‌ل‌ز‌ی‌را‌ن‌ج‌ا‌م‌گ‌ف‌ت‌:

ل‌ن‌ت‌ی‌گ‌ر‌ا‌د‌م‌ی‌ش‌د. ه‌م‌چ‌ن‌ی‌ن‌م‌ی‌ز‌ا‌ن‌ر‌ز‌ی‌ن‌م‌ص‌ف‌ی‌پ‌ش‌ن‌ه‌ا‌د‌ش‌ده‌ت‌م‌س‌د‌د‌ط‌ش‌د‌ر‌ک‌ت‌و‌ا‌ک‌ت‌و‌ب‌ی‌ن‌۲۸۰۰ تا ۴۰۰۰ گ‌ر‌م‌ب‌ه‌ا‌ز‌ای‌ه‌ر‌ن‌ظ‌ر‌م‌ب‌ع‌ل‌ی‌ا‌ف‌س‌ل‌د‌ت‌. ش‌م‌د‌خ‌ص‌ا‌ت‌م‌ک‌ا‌ن‌ی‌ک‌ی‌ا‌ل‌ی‌ا‌ف‌و‌ر‌ز‌ی‌ل‌پ‌و‌ک‌س‌دی‌م‌و‌س‌د‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌در‌ج‌د‌و‌ل‌)۱(ن‌ش‌را‌ن‌د‌ا‌د‌م‌ش‌ده‌س‌ل‌ت‌[18-19].

جدول ۱. مشخصات مکانیکی الیاف و رزین‌پلوکی مورده‌استفاده

Material	Modulus of elasticity (GPa)	Tensile strength (MPa)	Thickness (mm)	Ultimate strain (%)
Sika Wrap-230C	238	4300	0.131	1.8
Quantom-EPR 3301	4.5	30	-	1.5

Table 1. Mechanical properties of FRP sheets and epoxy matrix

۲-۳- سردتگاه آزمایش‌ر‌ش‌م‌ت‌ق‌ی‌م

ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ا‌پ‌س‌از‌ق‌وا‌م‌س‌ا‌ز‌ی‌ب‌ه‌م‌ی‌ی‌ده‌ک‌ل‌ه‌و‌ز‌ی‌ت‌FRP‌داخل‌س‌ر‌د‌ت‌گ‌ا‌ه‌آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ب‌ر‌ش‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌، م‌ج‌ه‌ز‌ب‌ه‌ی‌ک‌ج‌ک‌ه‌ی‌د‌ر‌و‌ل‌ی‌ک‌ی‌ب‌ا‌ظ‌ف‌ی‌ت‌۳۰۰ کیلو نیوتن قرار می‌گیرند (شکل ۳).

شکل ۳- سردتگاه آزمایش‌ر‌ش‌م‌ت‌ق‌ی‌م



Fig. 3. Single-lap shear test setup

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

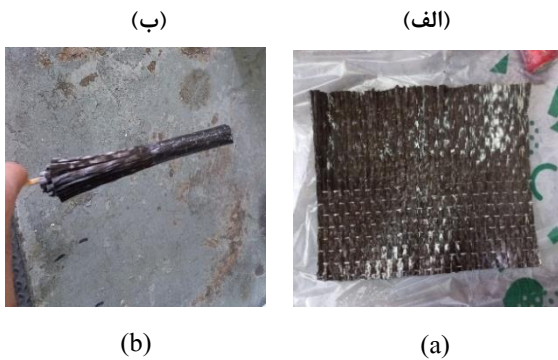


Fig. 5. Steps of anchor construction: (a) cutting CFRP to required lengths; (b) rolling the anchor around the dowel

۶) الیاف‌رک‌ن SikaWrap-230C که‌ق‌س‌م‌ت‌طول‌آزاد‌آن‌رق‌وب‌ل‌ت‌ل‌ب‌اع‌ش‌ده‌س‌ل‌ت‌، روی‌سطح‌ت‌ل‌غ‌ت‌به‌ر‌زین‌ق‌را‌ر‌گ‌ف‌ت‌ه‌وی‌ا‌ر‌زین‌پ‌وک‌ی‌ت‌ل‌ب‌اع‌میش‌ود. بر‌ای‌ج‌ل‌گ‌گیری‌از‌ل‌ح‌راف‌الیاف‌، ر‌ل‌ت‌اک‌ن‌س‌ب‌ا‌ت‌ف‌اده‌از‌گون‌یل‌ن‌ک‌ر‌ل‌ش‌د.

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

شکل ۶. آماده‌سازی نم‌ن‌ه‌ها

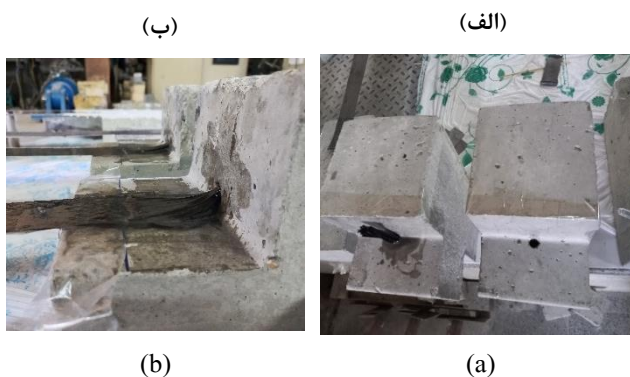


Fig. 6. Preparation of specimens

نم‌ن‌ه‌م‌پ‌س‌از‌آم‌دم‌س‌ازی‌به‌م‌دت‌۷‌روز‌بر‌ای‌ع‌م‌ل‌آوری‌در‌ش‌رایط‌آزم‌ن‌گ‌اه‌ق‌رار‌داده‌میش‌ون‌د‌بر‌ای‌ان‌ج‌ام‌ت‌کنیک PIV،

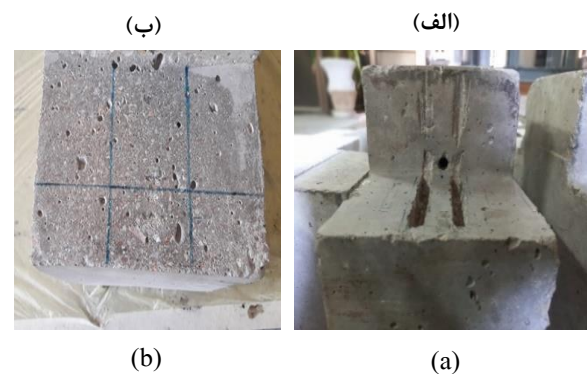


Fig. 4. Concrete surface preparation: (a) EBROG method; (b) EBR method

۲) خ‌ره‌ای‌باق‌طر ۱۲ میلی‌م‌تر‌وب‌ه‌عم‌ق ۵۰ میلی‌م‌تر‌به‌وس‌یل‌م‌ت‌ه‌دا‌خل‌ت‌ن‌و‌ق‌یقاً‌م‌ر‌ل‌ت‌با‌م‌حل‌ق‌را‌ر‌گیری‌ورق FRP ای‌جاد‌میش‌ود.

۳) سطح‌آم‌دم‌ش‌ده‌ن‌م‌ن‌ه‌، به‌وی‌لم‌ه‌ه‌ت‌گ‌ه‌پ‌م‌پ‌ه‌وا‌از‌ه‌ر‌گون‌ه‌ل‌و‌گی‌و‌گ‌رد‌وی‌ع‌ر‌ت‌م‌یز‌میش‌ود.

۴) الیاف‌رک‌ن SikaWrap-230C ب‌ب‌ع‌اد‌م‌وردن‌یاز‌بر‌ای‌س‌اخ‌ت‌م‌ه‌ا‌بر‌یده‌میش‌ود‌پ‌س‌از‌خ‌ارج‌کردن‌خ‌ه‌ای‌نگ‌ه‌لان‌ده‌ب‌ین‌الیاف‌در‌ق‌س‌م‌ت‌ب‌ل‌ب‌زنی‌م‌ه‌ار‌، ا‌ب‌خ‌ش‌از‌م‌ه‌ار‌که‌دا‌خل‌ت‌ن‌ق‌رار‌می‌گیر‌به‌وی‌لم‌ه‌ر‌زیش‌اب‌اع‌ش‌ده‌وب‌ه‌دور‌یک‌چ‌وب‌ن‌از‌ک‌ب‌ی‌چ‌یده‌میش‌ود. م‌راح‌ل‌س‌اخ‌ت‌م‌ه‌ار‌در‌شکل ۵) (ن‌ش‌ان‌داده‌ش‌ده‌س‌ل‌ت‌.

۵) م‌ه‌ار‌، دا‌خل‌خ‌هر‌م‌ر‌ش‌د‌ب‌ا‌چ‌س‌ب‌ق‌رار‌داده‌ش‌ده‌و‌چ‌س‌ب‌ط‌رف‌لی‌خ‌ارج‌ش‌ده‌از‌اط‌راف‌آ‌ن‌ب‌ثوات‌ه‌میش‌ود. خ‌ره‌ها

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

شکل ۹: ال فابندی نمونه ج هت انجام تکبیک PIV

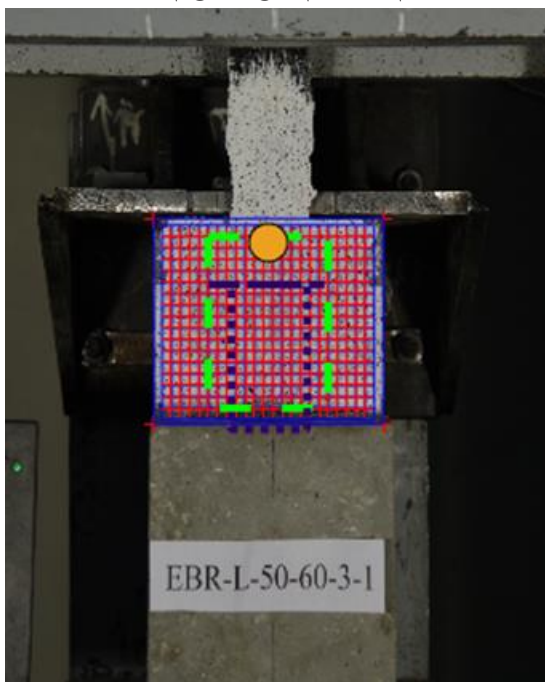


Fig.9. PIV technique

درس ال ۲۰۱۲ ح سینی و هم کاران از این تکنیک برای روی میدان جبهه ج الییت فاده نم و دن د. آن طبه م نظور مچاب هی لغزش ورق FRP تغییر مکلبک دایمتصال ورق تق ویتی رانفب تبه تغییر مکان سمت ملت و چ پس طجت نسبایک فاده از ایطه ی (۸) به هت آودن د [22].

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

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

شکل ۷: تقویت نمونه های آزملی گاهی



Fig. 7. Strengthening of specimens

۳. تکبیک سرعت سنج ج بی تص ویری ذرات (PIV)

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

شکل ۸: جانمایی آزمایش



Fig.8. Test placement

نتایج آزمون‌های

از س‌ط‌ح‌ ب‌ت‌ن‌، DF ب‌ب‌ی‌ا‌ن‌ گ‌ر‌ج‌ د‌ل‌ش‌ گ‌ی‌ب‌ی‌ن‌ و‌ر‌ق‌ت‌ق‌ و‌ب‌ت‌ی‌ و‌ م‌ ه‌ا‌ر
ب‌ب‌ل‌ز‌ن‌ی‌ 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 و‌ب‌ت‌ش‌ د‌ن‌ 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 د‌ب‌ر‌وس‌ی‌ م‌گ‌ی‌ر‌د‌ن‌ د‌. در‌ ا‌ن‌ج‌ا‌ز‌، م‌ق‌ا‌و‌ب‌ق‌ ا‌ن‌ص‌ا‌ل‌
ر‌وق‌ ت‌ق‌ و‌ب‌ت‌ی‌ در‌ ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ و‌ م‌ و‌د‌گ‌س‌ ب‌ی‌خ‌ت‌گ‌ی‌ ا‌ن‌ ه‌ا‌ر‌ا‌ی‌ه‌ م‌ی‌ش‌ و‌د‌. در‌
ا‌د‌ا‌ م‌م‌ن‌ح‌ن‌ی‌ ه‌ا‌ی‌ ب‌ا‌ر‌س‌ل‌ غ‌ز‌ش‌ ن‌م‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ ه‌د‌ گ‌ا‌ه‌ی‌ م‌و‌ر‌د‌
ب‌ر‌وس‌ی‌ ق‌ر‌ا‌ر‌ م‌ی‌ گ‌ی‌ر‌ز‌د‌.

۴-۱- مق‌ا‌وم‌ت‌ن‌ص‌ ال‌ ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ آ‌ن‌ب‌ل‌گ‌ 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 و‌ر‌ب‌ر‌وس‌ی‌ 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 ب‌ر‌وس‌ ه‌د‌ی‌ ع‌م‌ل‌ک‌ر‌د‌ م‌ ه‌ا‌ر‌ ه‌ا‌ی‌ FRP ت‌ا‌ی‌ج‌ ل‌ح‌ص‌ د‌د‌ل‌ از‌
آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ ب‌ر‌ش‌ س‌ه‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌ ش‌ا‌م‌ل‌ م‌ق‌ا‌وم‌ ب‌ت‌ن‌ص‌ا‌ل‌، م‌ و‌د‌گ‌س‌ ب‌ی‌خ‌ت‌گ‌ی‌ و‌
د‌ر‌ص‌ د‌ ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ م‌ق‌ا‌و‌ب‌ق‌ ا‌ن‌ص‌ا‌ل‌ ک‌ل‌ ف‌ن‌د‌ب‌ت‌ب‌ه‌ 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 آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ 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 ه لشت ق الت ن ش ببه ت ن ر لثوات م ب دون این که دچ ا ب یرون کشیدگی ش و د. ع م ق گ ی رایی ۵۰ میلی بق ر 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 پ 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 ط ع 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 ل ن ف ا د ه از م ه ا ر ه ا ی FRP ل ه 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

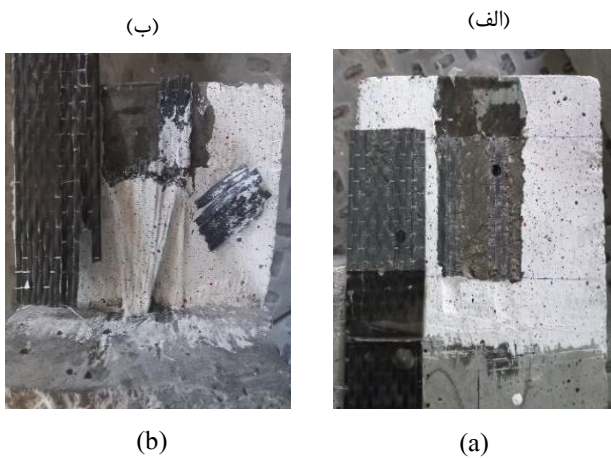


Fig. 11. Failure modes of EBROG specimens: (a) EBROG-S-1; (b) EBROG-60-2

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 ت 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 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 م و 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 ف ی ل 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

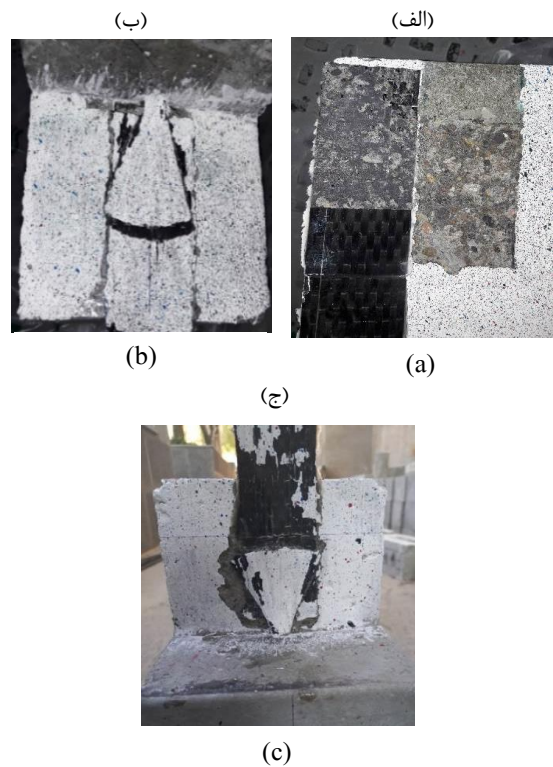


Fig. 10. Failure mode of EBR specimens: (a) EBR-S-1; (b) EBR-60-2; (c) EBR-60-3

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 ن 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 م ل ب ب ز ن ی ب ه گ و ن ه ا ی پ ش ل 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 بق ر م و ر د ا س ت ف ا د ه ق ر ا ر گ ی ف ت. ن ا ی ج ح ا ک ی از آن س ل ت که این ع م ق ت و ا ن ا ی ی

می‌کند، زمان شروع دشت گسی دیناصال FRP لب سطح سلب تبر
سلسله‌های بارگذاری در شکل ۱۲)، در نمونه‌هایی که
ورقتی ویتی بعد از اتصال لب سطح با روش EBR لبیات فاده از
مهره‌ای ستم تقویت می‌شود، علاوه بر فلز زایش مقاومت
تصال، در بارگذاری‌ها با یی ریلین بتبه نمونه‌های شاه د
تحميل می‌کنند.

مهره‌ای سلب زنی ف راه م می‌کند به ع وه در این گروه نمونه م بار
نهایی بیش تری رات حمل می‌کنند. همچنین مومتتصال
نمونه‌های تقویت شده با تکنیک EBROG به همراه مهره‌ای
ستم تقویت مغلزایش ۳۶ درصدی ریلین بتبه نمونه‌های شاه د EBR
نشان می‌دهد.

۴-۲- نتایج بارگذاری‌ها در روش‌های آنتی‌کامپی

فیتاتصال ورق FRP لب سطح بت را مومت والنیات فاده از
منحنی‌های بارگذاری ارزیابی نمود. بارگذاری از پامت ره‌ای م م
آزمایشی رشم تقویت سلبت کلمیات فاده از آن مومت وانپامت ره‌ای
دیگری ان دکنش بت نش ربه هرت آورد. ه م‌انگونه که پیش
از این بیان شد، در این تحقیق برای ارزیابی میدان بارگذاری از تکنیک
PIV ک فاده شد سلبت ممتظور ایجاب فلک رنگی منهل سبب برای
پردازش عکس‌ها، جوبک دارن گمفید روی سطح نمونه اع مالش د.
پس از خشک شدن گمفید، رنگ‌ها را با سبب سبب زرم و مشکی
به صورت نق‌طه‌ای روی سطح پیش‌ده شده د. در حین انجام
آزمایش از نمونه عکس گرفته می‌شود پس از پایان آزمایشی رشم
ستم تقویت، عکس مبرای انجام آنالیز نیاز به ال مبلن دی دران د. در این
تحقیق از لامان‌هایی به ابعاد ۲۸×۱۲۸ پیکسل ب افصل له ۶۴
پیکسل بت فاده شد سلبت. واح دطول در این عکس ه پیکسل
سلبت با انجام PIV، بارگذاری دیناصال و رقتی ویتی در هنگام
بارگذاری ممتظور ممتشود. از طرف دیگر نیروی اع مالش دمه
نمونه در حین آزمایشی سلبت فاده از نیرو سنج‌های سبتگام سبت
می‌گردد بتی رت سبب منحنی بارگذاری سبب برای هر نمونه به هرت
می‌آید. در شکل ۱۲) منحنی‌های بارگذاری نمونه‌های EBR
نشان دادند سلبت. در این منحنی‌ها فیتاتصال بارگذاری نمونه‌ها
را مومت وانبه دوقسم ممت تقسیم کرد به این صورت که در قسمت
اول نمودار بارن نمونه سلبت سبب زیاهتا ق داری نزدیک به بیشترین
مقاومتتصال فلز زایش می‌آید. در این حالت نمونه بارگذاری کمی
در ح دود ۰/۱۵ میلی‌متر رت سبب ممتشود. در این
مومت سبب سلبت سلبت پس از آن منحنی سلبت غیر فیتار،
وارد شاخه‌های سلبت سبب سبب ممتشود. در این
قسمت، نمونه بارگذاری‌های زیاد راتال حظه‌ای شکست سبب
می‌کند. لحظه‌های لحظاتی از نمودار که سلبت قسمت اولت غیر

شکل ۱۲. منحنی‌های بارگذاری نمونه‌های تقویت شده با روش EBR
با مهره‌ای ستم تقویت در فاده‌ای ورق

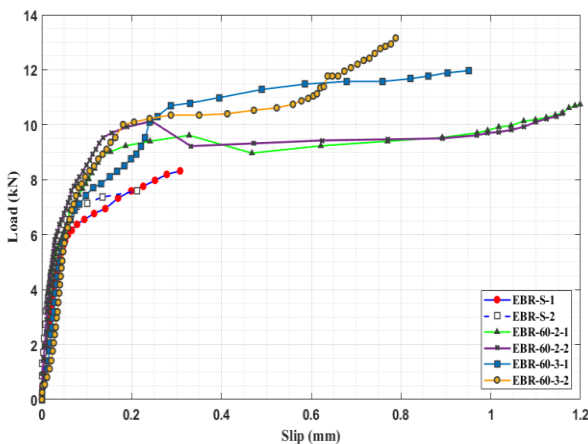


Fig. 12. Load-slip curves of EBR joints

همچنین این منحنی‌ها نشان دادند، در نمونه‌های تقویت
شده با مهره‌ای ستم تقویت سلبت سطح مقطع م‌ها ر کتقار بارگذاری
بیش تری سلبت ممتشود و فلز زایش سلبت سطح مقطع م‌ها ربه
ج هت فلز زایش سطح اتصال رقتی ویتی سبب سلبت زنی م‌ها ر و
تول ایتر ان قتال سبتقتنش، مومتتصل ددال ربه طور چشم
گیری فلز زایش داه و ممتادیر بارگذاری را کاهش می‌دهد.

منحنی‌های بارگذاری نمونه‌های تقویت شده با روش
EBROG در شکل ۱۳) نشان دادند سلبت. این نمودار
خلاف نموداره‌ای گرقه سلبت سلبت دورت کاملاً ص دد و سبب وده و
فیتاتقرباً دو خطی نمونه‌های تقویت شده با روش EBR را
ن دارد. نمودار بارگذاری این گروه ممتشود ممتشود و سلبت
سلبت، که سلبت آن جوبک دای نمودار بیشترین ات‌های آن سلبت.
در این گروه تفاوت زیادی در بارگذاری نمونه‌های سلبت وده و
نمونه‌های تقویت شده با مهره‌ای ستم تقویت ممتشود سلبت وده و
علاوه، ممتادیر بارگذاری در نمونه‌های تقویت شده با سلبت 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 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

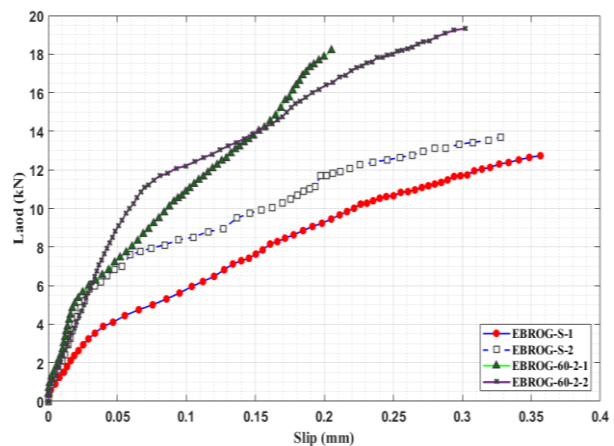


Fig. 13. Load-slip curves for EBROG joints

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

- سل‌ه‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از م‌ه‌ار‌ه‌ای‌ م‌س‌ت‌ق‌ی‌م‌ در ر‌وش‌ EBROG ب‌ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ ۴۲
درص‌د‌د‌ی‌ا‌ ب‌ه‌ ط‌ور‌ م‌ی‌ا‌ن‌گ‌ی‌ن‌ن‌د‌ب‌ت‌ب‌ه‌ ن‌م‌ون‌ه‌ه‌ا‌ی‌ش‌ د‌ا‌ه‌ت‌ج‌ب‌ه‌
ک‌ر‌د‌ل‌ن‌د‌. در ا‌ی‌ن‌ن‌م‌ون‌ه‌ه‌ م‌ل‌ق‌ب‌ت‌ س‌ط‌ح‌ ق‌ط‌ع‌ م‌ا‌و‌ ب‌ه‌ ر‌وق‌ ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌
ب‌ب‌ل‌ر‌ ۲ د‌ر‌ن‌ظ‌ر‌گ‌ر‌ت‌ م‌ش‌ د‌.
- س‌ل‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از ر‌وش‌ش‌ ی‌ا‌ر‌ز‌ن‌ی‌ ا‌م‌ک‌ان‌ ح‌ ذ‌ف‌ ج‌ د‌ا‌ش‌ گ‌ی‌ ز‌ود
ه‌ن‌گ‌ا‌م‌ ر‌وق‌ ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌ ر‌ف‌ر‌ا‌ه‌ م‌ی‌ک‌ن‌د‌.
- ۵) م‌ق‌ا‌وم‌ ت‌ل‌ص‌ د‌د‌ال‌ ن‌م‌ون‌ه‌ه‌ا‌ی‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌ د‌د‌م‌ب‌ا‌ ت‌ک‌ن‌ی‌ک‌
EBROG ب‌ه‌ م‌ر‌ا‌ه‌ م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ای‌ م‌ن‌د‌ت‌ق‌ی‌م‌ ب‌ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ ۳۶ ا‌درص‌د‌د‌ی‌ را
س‌ن‌ب‌ت‌ب‌ه‌ ن‌م‌ون‌ه‌ه‌ا‌ی‌ش‌ ا‌ه‌د‌ EBR نشان‌ م‌ی‌د‌ه‌د‌.
- ۶) م‌ق‌ا‌د‌ی‌ر‌ ب‌ی‌ش‌ د‌د‌ت‌ر‌ی‌ن‌ل‌غ‌ ز‌ش‌ ی‌ق‌ن‌ش‌ در ط‌ول‌ ر‌وق‌ ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌، در
ن‌م‌ون‌ه‌ه‌ا‌ی‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌ د‌م‌س‌ل‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از م‌ه‌ار‌ه‌ای‌ ب‌ل‌ج‌ز‌ن‌ی‌ ب‌ن‌ب‌ت‌ب‌ه‌
ن‌م‌ون‌ه‌ه‌ا‌ی‌ش‌ ا‌ه‌د‌ ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ چ‌ش‌ گ‌ی‌ر‌ی‌ د‌ار‌د‌.
- ۷) د‌ر‌ت‌ م‌ا‌م‌ن‌م‌ون‌ه‌ه‌ا‌ع‌ م‌گ‌ی‌ر‌ا‌ی‌ی‌ ۵۰ م‌ی‌ل‌ی‌ ب‌ق‌وت‌ و‌ل‌ا‌ی‌ل‌ی‌ن‌ت‌ق‌ال‌
ک‌ا‌م‌ل‌ت‌ن‌ش‌ ب‌ب‌ه‌ت‌ را ه‌ل‌د‌ت‌ه‌ و‌ م‌ه‌ار‌ د‌ل‌چ‌ ب‌ی‌ر‌ون‌ گ‌ن‌د‌ی‌د‌گ‌ی‌ش‌ د‌ه‌
س‌ل‌ت‌.

۱. م‌ض‌ع‌ ا‌ر‌ض‌ م‌ن‌ف‌ل‌ع‌

ن‌ویس‌د‌ن‌ د‌گ‌ان‌ ا‌ع‌ م‌م‌ی‌ک‌ن‌د‌ ک‌ه‌ ه‌ی‌چ‌ن‌وع‌ت‌ ا‌ر‌ض‌ م‌ن‌ف‌ل‌ع‌ی‌ و‌ج‌و‌د‌
ن‌د‌ار‌د‌.

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.