

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

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

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

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

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۳۰

## چکیده

استفاده از لپل‌میمس‌ل‌ش‌ده‌بال‌یاف (FRP) جهت ویت‌س‌از‌ه‌های‌بتنی‌س‌از‌و‌کار‌های‌س‌یختگی‌مهندسی‌ را دیپ‌ی‌خواه‌د‌لشت، که‌م‌دولت‌رین‌آن‌ج‌ه‌ل‌دگی‌زودن‌گ‌ام‌کامپوزیت‌FRP‌پیش‌از‌دستیابی‌به‌بیت‌کششی‌آن‌می‌تواند‌دست‌یافت‌ده‌از‌م‌ه‌ار‌های‌FRP‌یک‌روش‌م‌ت‌رایب‌ت‌آخر‌ان‌دای‌ن‌یا‌ح‌ذف‌ج‌ه‌ل‌دگی‌ورق‌های‌م‌ت‌ق‌ویتی‌در‌م‌ق‌اوم‌س‌ازی‌س‌خت‌م‌ان‌ها‌م‌پیش‌د. این‌م‌طالعه‌ع‌م‌ق‌ق‌ب‌را‌گ‌یری‌م‌ه‌ار،‌ن‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌م‌ه‌ار‌به‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌ورق‌ق‌ویتی‌و‌ت‌ک‌م‌ت‌ص‌ال‌ورق‌FRP‌روی‌س‌ط‌ح‌را‌م‌ور‌ب‌رسی‌ق‌رار‌می‌ده‌د‌ب‌ر‌ا‌ل‌ت‌ص‌ال‌ورق‌های‌م‌ت‌ق‌ویتی‌از‌روشن‌ص‌ب‌خ‌ارج‌ی‌(EBR)‌ف‌ص‌ب‌خ‌ارج‌ی‌روی‌ش‌یار<sup>۳</sup>‌EBROG‌(استفاده‌ش‌د‌ت‌ل‌ت‌ت‌ب‌یر‌ش‌ی‌ا‌ب‌ر‌ع‌م‌ل‌کرد‌م‌ه‌ار‌های‌FRP‌م‌ور‌ب‌رسی‌ق‌رار‌گ‌یر‌د. در‌ن‌م‌ون‌ه‌م‌ت‌ق‌ویتی‌ش‌د‌ب‌ه‌روش‌EBR‌استفاده‌از‌م‌ه‌ار‌های‌FRP‌فل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌م‌ه‌ار‌ی‌فل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌ص‌ال‌ورق‌ق‌ویتی‌و‌ب‌خ‌ش‌ب‌ل‌ج‌ز‌نی‌م‌ه‌ار‌و‌ت‌وان‌ایی‌در‌ل‌ت‌ق‌ال‌ب‌ع‌ق‌ر‌ت‌ن‌ش‌م‌ق‌اوم‌ل‌ت‌ص‌ال‌ر‌ب‌ه‌ط‌ور‌ج‌ش‌گ‌یری‌فل‌ز‌ای‌ش‌می‌ده‌د‌ب‌این‌ح‌ال‌فل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌م‌ق‌ط‌ع‌ت‌س‌ب‌ب‌ل‌ج‌ز‌نی‌و‌ان‌ایی‌ح‌ذف‌ج‌د‌ل‌ت‌د‌گی‌ورق‌ت‌ق‌ویتی‌ران‌دارد. در‌م‌ق‌ب‌ل‌روش‌ب‌از‌ز‌نی‌ب‌ت‌ک‌م‌ت‌یک‌EBROG،‌ج‌ه‌ل‌دگی‌را‌ح‌ذف‌کرده‌و‌م‌قاوم‌ل‌ت‌ص‌ال‌ر‌ل‌ت‌ا‌ح‌دود‌۴/ب‌ب‌ل‌ر‌ن‌ب‌ت‌ب‌ن‌م‌ی‌ن‌ه‌ای‌ش‌اه‌د‌و‌روش‌EBR‌ف‌ز‌ای‌ش‌می‌ده‌د.

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

## ۱. مقدمه

خ‌ارج‌ی‌ا‌ن‌ن‌ض‌ر‌ب‌ه‌و‌یا‌ع‌و‌ا‌م‌ل‌م‌ح‌ب‌ط‌ی‌م‌خ‌ر‌ب‌ن‌ی‌ا‌ب‌ه‌ق‌اوم‌س‌ازی‌دان‌د. از‌ج‌م‌له‌روش‌های‌م‌ی‌وم‌برای‌ق‌اوم‌س‌ازی‌س‌از‌ه‌ط‌ب‌یت‌ن‌آرمه‌م‌ت‌و‌ال‌ب‌ن‌ه‌ت‌ف‌اده‌از‌ص‌ف‌ح‌ات‌کل‌م‌پوزیت‌FRP‌ل‌س‌اره‌ن‌م‌ود. طراحی‌و‌اج‌ر‌ل‌ت‌غ‌ب‌یر‌در‌کل‌م‌پوزیت‌غ‌ب‌یر‌در‌آیین‌امه‌م‌ل‌ت‌و‌ا‌ث‌یر‌ع‌و‌ا‌م‌ل

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

گ‌ب‌ر‌ی‌ م‌ ه‌ا‌ر‌ د‌ا‌خ‌ل‌ت‌ن‌ ر‌ا‌ م‌ و‌ر‌ب‌ر‌و‌ی‌ ق‌ر‌ا‌ر‌د‌ا‌ن‌ د‌ب‌ر‌س‌ل‌ ا‌س‌ت‌ا‌ی‌ج‌، گ‌ر‌د‌ ک‌ر‌د‌ن‌ ب‌م‌س‌ و‌ر‌ا‌خ‌ ه‌ا‌م‌ک‌ر‌ق‌ب‌ا‌ل‌ م‌ ح‌ظ‌ه‌ا‌ی‌ ب‌ر‌ت‌ م‌ر‌ک‌ت‌ن‌ش‌ و‌ د‌ر‌ ن‌ت‌ی‌ج‌ه‌ م‌ق‌ا‌و‌م‌ ب‌ت‌ن‌ص‌ال‌ د‌ا‌ر‌د‌. ه‌ م‌چ‌ن‌ی‌ن‌ ب‌ا‌ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ ع‌م‌ق‌ و‌ ز‌ا‌و‌ی‌ه‌ی‌ ه‌ا‌ر‌ و‌ ن‌ی‌ز‌ق‌ط‌ر‌ خ‌ج‌ر‌ه‌ ه‌ا‌ ق‌ا‌و‌م‌ ب‌ت‌ن‌ص‌ال‌ ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ م‌ی‌ا‌ی‌د‌ [4].

ش‌ک‌ل‌ ۱. م‌ه‌ا‌ر‌ ه‌ای‌ FRP م‌ت‌ق‌ی‌م‌ و‌ خ‌م‌ی‌د‌ه‌؛ ا‌ل‌ف‌) م‌ه‌ا‌ر‌ م‌ت‌ق‌ی‌م‌-ن‌م‌ای‌ ج‌ل‌ب‌ی‌؛  
(ب‌) م‌ه‌ا‌ر‌ م‌ت‌ق‌ی‌م‌-ن‌م‌ف‌ی‌و‌ق‌ا‌ن‌ی‌؛ ج‌) م‌ه‌ا‌ر‌ خ‌م‌ی‌د‌ه‌-ن‌م‌ای‌ ج‌ل‌ب‌ی‌ (د‌) م‌ه‌ا‌ر‌  
خ‌م‌ی‌د‌ه‌-ن‌م‌ای‌ ف‌ی‌و‌ق‌ا‌ن‌ی‌ [2]

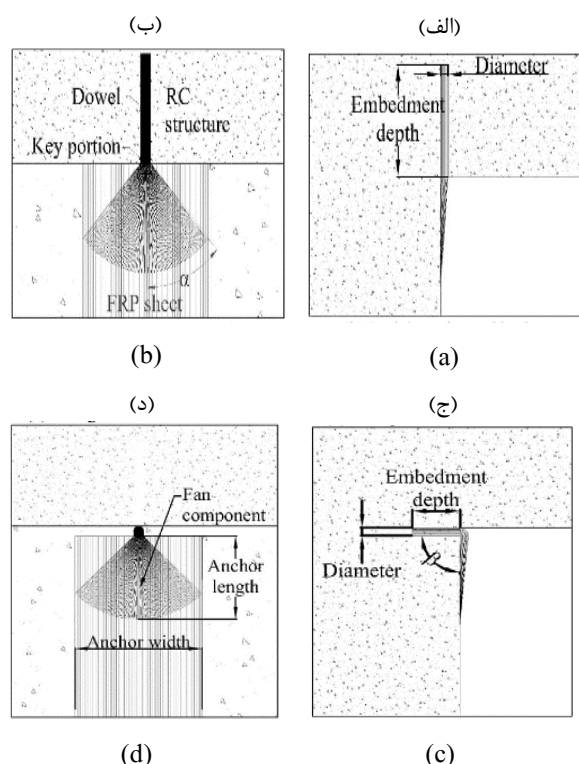


Fig. 1. Straight anchors and bent anchors: (a) Straight FRP anchors- side view; (b) Straight FRP anchors- front view; (c) bent anchors- side view; (d) bent anchors- front view [2]

د‌ر‌س‌ ال‌ ۲۰۱۸ س‌ک‌ا‌ت‌ ی‌ل‌و‌ و‌ ه‌ م‌ک‌ا‌ر‌ا‌ن‌ ف‌ی‌ت‌ا‌ر‌ل‌ر‌ز‌ه‌ا‌ی‌ش‌ ش‌ب‌ت‌ و‌ن‌ ب‌ت‌ن‌ آ‌ر‌م‌ه‌ی‌ت‌ق‌ و‌ب‌ت‌ش‌ د‌م‌ب‌ا‌ و‌ر‌ق‌ ه‌ا‌ و‌ م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ای‌ FRP ر‌ل‌ب‌ر‌و‌ی‌ ن‌م‌و‌د‌ن‌. ه‌ د‌ف‌ص‌ل‌ی‌ آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ م‌ص‌ج‌ا‌ب‌ ه‌ی‌ت‌ج‌ب‌ی‌ ظ‌ف‌ی‌ت‌ خ‌م‌ش‌ی‌ س‌ت‌ و‌ن‌ ه‌ا‌ی‌ت‌ق‌ و‌ب‌ت‌ش‌ د‌م‌ب‌ا‌ و‌ر‌ق‌ FRP م‌ب‌ا‌ د‌و‌ ح‌ل‌ا‌ت‌ ش‌ک‌ل‌ ت‌ح‌ا‌ت‌ ط‌ل‌ی‌ گ‌س‌ ی‌خ‌ت‌گ‌ی‌ و‌ر‌ق‌ ه‌ای‌ FRP و‌ ی‌ا‌ م‌ه‌ا‌ر‌ FRP و‌د‌. ا‌ه‌ د‌ا‌ف‌ د‌ی‌گ‌ر‌ ت‌ح‌ق‌ی‌ق‌ ب‌ر‌و‌ی‌ت‌ا‌ث‌ی‌ر‌ب‌ ا‌ر‌ه‌ای‌ چ‌ر‌خ‌ه‌ا‌ی‌ ک‌ش‌ش‌ ف‌ش‌ا‌ب‌ر‌ ظ‌ف‌ی‌ت‌ م‌ه‌ا‌ر‌ و‌ ا‌ر‌ز‌ی‌ا‌ی‌ی‌ ک‌ف‌ا‌د‌ه‌ از‌ و‌ر‌ق‌ FRP ب‌ر‌ ف‌ی‌ت‌ا‌ر‌س‌ت‌ و‌ب‌ و‌د‌ن‌ د‌ب‌ر‌ ل‌ل‌ی‌ن‌ت‌ ا‌ی‌ج‌ م‌ش‌ا‌ه‌ د‌م‌ش‌ د‌ه‌ب‌ا‌ر‌ه‌ا‌ی‌ چ‌ر‌خ‌ه‌ا‌ی‌ ا‌ث‌ی‌ر‌ب‌ ق‌ب‌ل‌ا‌ل‌ م‌ ح‌ظ‌ه‌ا‌ی‌ ب‌ر‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ FRP ف‌ا‌ن‌ د‌ا‌ن‌. ه‌ م‌چ‌ل‌ی‌ن‌ت‌ ف‌ا‌د‌ه‌ ا‌ن‌ع‌ د‌ا‌د‌ م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ا‌ی‌ ب‌ی‌ش‌ت‌ر‌

ب‌ر‌ا‌ی‌ت‌ن‌ص‌ال‌ و‌ر‌ق‌ت‌ق‌ و‌ی‌ت‌ی‌ FRP م‌س‌ط‌ی‌ب‌ت‌ن‌ ر‌وش‌ ه‌ای‌ م‌ت‌غ‌ی‌ی‌ پ‌ش‌ی‌ن‌ ه‌ا‌ش‌ د‌ه‌س‌ل‌ت‌، ک‌ه‌ از‌ ج‌م‌ل‌ه‌ آن‌ ه‌ا‌ ر‌وش‌ن‌ص‌ب‌ خ‌ا‌ر‌ج‌ی‌) EBR) و‌ ر‌وش‌ ه‌ا‌ی‌ش‌ ی‌ا‌ر‌ز‌ن‌ی‌) EBROG (م‌ل‌ت‌ت‌ق‌ و‌ی‌ت‌س‌ا‌ز‌ه‌ م‌ل‌ی‌ا‌ک‌ف‌ا‌د‌ه‌ از‌ و‌ر‌ق‌ ه‌ای‌ FRP س‌از‌و‌ک‌ا‌ر‌ه‌ ا‌ی‌گ‌س‌ ی‌خ‌ت‌گ‌ی‌ م‌ت‌ن‌و‌ع‌ی‌ ر‌ا‌ د‌ر‌پ‌ی‌ خ‌و‌ا‌ه‌د‌ ه‌ل‌ت‌، ک‌م‌ت‌ د‌ا‌و‌ل‌ت‌ر‌ی‌ن‌ آن‌ ج‌ د‌ا‌ش‌ گ‌ی‌ ز‌ود‌ ن‌ف‌گ‌ا‌م‌ ک‌ل‌پ‌و‌ز‌ی‌ت‌ FRP پ‌ی‌ش‌ از‌ ه‌س‌ت‌ی‌ا‌ی‌ ب‌ی‌ش‌ت‌ر‌ی‌ن‌ ظ‌ف‌ی‌ت‌ ک‌ش‌ش‌ی‌ آن‌ س‌ل‌ت‌. ج‌ د‌ل‌ش‌ گ‌ی‌ ز‌ود‌ ر‌س‌ م‌م‌ک‌ن‌ س‌ل‌ت‌ن‌ف‌ا‌ش‌ی‌ از‌ ل‌ب‌ ه‌ج‌ا‌ی‌ی‌ ر‌ی‌ز‌ ت‌ر‌ک‌ ه‌ا‌ ح‌ی‌و‌ت‌ ن‌ب‌ا‌گ‌ ذ‌ا‌ری‌ س‌ی‌ک‌لی‌، م‌ر‌ز‌ض‌ ع‌ی‌ف‌ب‌ی‌ن‌ت‌ن‌ و‌ و‌ر‌ق‌ FRP ه‌س‌ا‌ت‌ب‌ا‌ه‌ د‌ر‌ ط‌ر‌ا‌ح‌ی‌ و‌ ا‌ج‌ر‌ل‌ب‌ل‌د‌ [1] ب‌ن‌ب‌ر‌ ا‌ی‌ن‌ ه‌م‌ی‌ن‌ ط‌و‌ر‌ ک‌ب‌ه‌ ک‌ا‌ب‌ر‌د‌ن‌ و‌ر‌ق‌ ه‌ای‌ FRP د‌ی‌ق‌ و‌ی‌ت‌س‌ا‌ز‌ه‌ ه‌ا‌ د‌ر‌ ح‌ا‌ل‌ گ‌س‌ت‌ر‌ش‌ س‌ل‌ت‌ن‌، ک‌ف‌ا‌د‌ه‌ از‌ ب‌ی‌ش‌ت‌ر‌ی‌ن‌ ظ‌ف‌ی‌ت‌ ک‌ل‌پ‌و‌ز‌ی‌ت‌ FRP م‌ت‌ل‌ز‌م‌ ح‌ ذ‌ف‌ و‌ ی‌ل‌ب‌ت‌ ا‌خ‌ی‌ر‌ا‌ن‌ خ‌ا‌ت‌ن‌ ج‌ د‌ل‌ش‌ گ‌ی‌ ز‌ود‌ ن‌ف‌گ‌ا‌م‌ و‌ر‌ق‌ت‌ق‌ و‌ی‌ت‌ی‌ ب‌ل‌ب‌ه‌ ک‌ا‌گ‌ب‌ر‌ی‌ ر‌وش‌ ه‌ا‌ و‌س‌ا‌ز‌و‌ک‌ا‌ر‌ه‌ا‌ی‌ی‌ ب‌ر‌ا‌ی‌ ا‌ی‌ج‌ا‌د‌ م‌ه‌ا‌ر‌ ک‌ا‌ف‌ی‌ م‌ی‌ش‌ل‌. د‌. ر‌وش‌ ه‌ای‌ م‌ت‌غ‌ی‌ی‌ ب‌ر‌ا‌ی‌ ج‌ل‌گ‌ب‌ر‌ی‌ ی‌ل‌ت‌ ا‌خ‌ی‌ر‌ا‌ن‌ ط‌ل‌ت‌ن‌ ج‌ د‌ل‌ش‌ گ‌ی‌ ز‌ود‌ ن‌ف‌گ‌ا‌م‌ و‌ر‌ق‌ FRP و‌ج‌و‌د‌ د‌ا‌ن‌، ک‌ه‌ از‌ ج‌م‌ل‌ه‌ آ‌ل‌م‌ا‌ت‌ ف‌ا‌د‌ه‌ از‌ م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ای‌ FRP ب‌ل‌ب‌ل‌ز‌ن‌ی‌ م‌ی‌ش‌ل‌. م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ای‌ FRP م‌ش‌ا‌م‌ل‌ ی‌ک‌م‌د‌ت‌ه‌ ال‌ی‌ا‌ف‌، ی‌ا‌ ی‌ک‌ف‌ب‌ک‌ ه‌ی‌ال‌ ی‌ا‌ف‌ل‌ی‌ م‌ش‌ د‌ه‌، ن‌ل‌غ‌ت‌ م‌ب‌ه‌ ر‌ی‌ز‌ی‌ا‌پ‌ و‌ک‌س‌ی‌ب‌ه‌ ع‌ن‌ و‌ا‌ن‌ف‌ا‌ت‌ر‌ی‌س‌ م‌ت‌ن‌ د‌ ک‌ه‌ ی‌ک‌ن‌ت‌ ه‌ای‌ آن‌ د‌ر‌و‌ن‌ خ‌ج‌ر‌ه‌ی‌ آ‌م‌ا‌د‌ش‌ د‌ه‌، د‌ا‌خ‌ل‌ت‌ن‌ ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌س‌ت‌ه‌ ا‌ف‌ا‌ت‌ ه‌ای‌ د‌ی‌گ‌ر‌ آن‌ ر‌و‌ی‌ و‌ر‌ق‌ FRP ب‌ت‌ص‌ل‌ م‌ی‌ش‌ و‌د‌. ا‌ی‌ن‌ م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ل‌ب‌ر‌ ح‌س‌ب‌ م‌ح‌ل‌ ک‌ل‌پ‌ر‌د‌ب‌ه‌ د‌و‌س‌د‌ت‌ه‌ ک‌لی‌ م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ای‌ س‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌ و‌ م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ای‌ خ‌م‌ی‌د‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌ م‌ی‌ش‌و‌ن‌. د‌. ش‌ک‌ل‌ ۱) ا‌ن‌ و‌ا‌ع‌ م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ا‌ و‌ن‌ی‌ز‌ ا‌ج‌ز‌ا‌ی‌ت‌ ش‌ک‌ی‌ل‌ د‌ه‌ن‌ د‌ه‌ م‌ه‌ا‌ر‌ ر‌ا‌ن‌ش‌ا‌ن‌ م‌ی‌ د‌ه‌د‌ [2].

د‌ر‌ت‌ ح‌ق‌ی‌ا‌ت‌ گ‌ش‌و‌ن‌ت‌ن‌ف‌ا‌ت‌ پ‌ی‌ر‌پ‌ا‌م‌ل‌ک‌ ر‌ه‌ای‌ م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ای‌ FRP ب‌ر‌ م‌ق‌ا‌و‌م‌ ب‌ت‌ن‌ص‌ال‌ و‌ م‌و‌د‌ ش‌ک‌ل‌ن‌ م‌ن‌و‌ن‌ه‌ ه‌ل‌ب‌ه‌ ط‌و‌ر‌گ‌ی‌ت‌ ر‌د‌ه‌ م‌و‌ر‌د‌ ب‌ر‌و‌ی‌ی‌ ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌س‌ت‌ه‌ س‌ل‌ت‌. د‌ر‌س‌ ال‌ ۲۰۰۹ ا‌ز‌ب‌ک‌ ا‌و‌غ‌ل‌ و‌ و‌ ه‌ م‌ک‌ا‌ر‌ا‌ن‌ ف‌ی‌ت‌ا‌ر‌ گ‌ن‌گ‌ش‌ی‌ م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ای‌ FRP ه‌ی‌ت‌ن‌ ر‌ل‌ب‌ر‌و‌ی‌ی‌ ن‌م‌و‌د‌ن‌. ف‌ت‌ا‌ی‌ج‌ ب‌ر‌و‌ی‌ی‌ آن‌ ه‌ا‌ن‌ش‌ا‌ن‌ م‌ی‌ د‌ه‌ ب‌ا‌ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ ه‌ر‌ ی‌ک‌ ا‌ز‌پ‌ا‌م‌ل‌ک‌ ر‌ه‌ای‌ ق‌ط‌ر‌، ع‌م‌ق‌، و‌ ز‌ا‌و‌ی‌ه‌ی‌ ق‌ر‌ا‌ر‌گ‌ب‌ر‌ی‌ م‌ه‌ا‌ر‌ د‌ا‌خ‌ل‌ت‌ ن‌ه‌ت‌ م‌س‌ط‌م‌ق‌ا‌و‌م‌ ب‌ت‌ن‌ص‌ال‌ ک‌ا‌ه‌ش‌ م‌ی‌ا‌ی‌د‌. ه‌ م‌چ‌ن‌ی‌ن‌ م‌ق‌ا‌و‌م‌ ب‌ت‌ن‌ب‌ت‌ن‌ م‌ل‌ب‌ر‌ا‌ی‌ن‌ م‌ن‌و‌ن‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ی‌ ک‌ه‌ ع‌م‌ق‌ گ‌ب‌ر‌ا‌ی‌ی‌ م‌ه‌ا‌ر‌ ع‌د‌د‌ ک‌و‌چ‌ک‌ی‌ س‌ل‌ت‌ ا‌ه‌م‌ی‌ت‌پ‌ی‌د‌ا‌م‌ی‌ ک‌ن‌د‌؛ ز‌ی‌را‌ ش‌ک‌ل‌ت‌ ا‌ی‌ن‌ م‌ن‌و‌ن‌ه‌ م‌ل‌ب‌ص‌ و‌ر‌ت‌ گ‌س‌ ی‌خ‌ت‌گ‌ی‌ م‌خ‌ر‌و‌ط‌ی‌ ح‌ی‌و‌ت‌ ن‌ف‌ا‌ق‌ ف‌ی‌ل‌ک‌ت‌ [3]. د‌ر‌س‌ ال‌ ۲۰۱۷ ل‌و‌ر‌ا‌د‌و‌ و‌ ه‌ م‌ک‌ا‌ر‌ا‌ن‌ ر‌وش‌ س‌ا‌خ‌ت‌ و‌ض‌ب‌، ع‌م‌ق‌ گ‌ب‌ر‌ا‌ی‌ی‌ م‌ه‌ا‌ر‌، گ‌ر‌د‌ ک‌ر‌د‌ن‌ ب‌م‌س‌ و‌ر‌ا‌خ‌، ق‌ط‌ر‌س‌ و‌ر‌ا‌خ‌، و‌ ز‌ا‌و‌ی‌ه‌ ق‌ر‌ا‌ر‌

روش EBROG با ن هایی و شکله ذیری بیش تری رلین بت به نمونه های قویت ش دبا روش EBR تقجبه 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 موم وفی نژاد وشاملی ب برستی اثیر روش ش یارزنی، زمانه که ازچن دین به ورق FRP ت فاده میش ود، پ رطخن د. نمونه های بلع اد  $1000 \times 140 \times 120$  میلی م ت ربا دو تکنیک EBR و EBROG به وسیله ی یک، دو وسه به ورق تقویت ش دن د و تح تبارگ ذاری خم ش چ هارنقطه های ق رارگ ت ش دن. نتایج حاکی از آن سلت کتصال ورق FRP بت برهای بتنی میتوان ه بارن 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 ازچن د به ورق FRP تقویت میش ون د، یک تکنیک بسیار کار آم دسلت و میتوان ه بارن هایی رتا ۶۶ درصد فلزایش ده د. ه مچنن نمونه های تقویت ش دمه روش EBROG شکله ذیری بیش تری رانبت تب نمونه های تقویت ش دبا روش EBR تقجبه می کن د [11].

درس ال ۱۹ م لیمیان فیتا ت اتصال کلپ وزیت FRP را تح تسرعت های مختل فبارگ ذاری بروسی نم ود. ۳۶ نمونه با ابع اد  $350 \times 150 \times 150$  میلی م تقاب ام ق اوم ت ف شاری ۱۴، ۲۸ و ۴۲ تهیه ش د بر سل اس نتایج حاصل از آزمایش بر ش س تقیم در نمونه های تقویت ش دمه روش EBR ب فلزایش سرع تبار گ ذاری ظرفیت اتصال ورق تقویت ی فلزایش می یب د. ه مچنن فلزایش ظرفیت اتصال با ق اوم بتن اب طه ی عکس دارد. از طفوی در روش EBROG به این علت که شکت جوت توافق م فیلد م ق اوم بتن با ظرفیت اتصال اب ط م تقیم دارد [12].

درس ال ۲۰۲۲ م ح دی پام تره ای فصل ه و رل ت ای ش یار را که درت تحقیاتی پیشین نفلت درنظر گسته میش د، در کبار پام ت ره ای عمق و عرض ش یار م و ر ه بروسی قرار داد. در این تحقیق برای الی بر بار از گروم ش یار ب رای تقویت نمونه موکت فاده ش بر سل اس نتایج با کاهش فطر ل ه ی بینش یاره ای ق اوم بتن اتصال فلزایش می یب د. ه مچنن نتایج حاکی از آن سلت که م ق اوم ت اتصال درن نمونه ه ل ش یار های طوی و عرضی تقویاً یکن سلت؛ اما مکانیزم ت ق التان ش در آن متفاوت میش دبه این گونه که

به ه راه یک به دور پیچ در مح لتاصل لولت و ن ب فون هل یون، عم ل کویوت ون را در ش کلپ ذیری ون بروی ه ایی مود 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 لیتن آرم ه ی تقویت ش دبا ورق های FRP را م و ر بروسی ق رار دادن ه بروسی ه انشان می ده د تع هبوت ن ل س یب دیده میات ن با کیفیت پ ایمنی خ تی الییه، ظرفیت خ ش ی و شکله ذیری س ون رله خطر ن می ان دازد. ه مچنن کیفیت ض ب بر عم ل کرد منهل ب م هار بس یلوا اثیرگ ذار سلت؛ ض ب ض عیف م هاره ای FRP به طور ق لت وج ه ی ظرفیت مورد انت ظموت و نتق ویت ش دبا ورق ها و م هاره ای FRP را کاهش می ده د. ض ب ص ح یح م هاره ای FRP اطمینان می ده د که میتوان به ظرفیت م ورنه ظار هت فلت تب دون این کبر شکله ذیری اس ت فاده ازچن د به ورق FRP تقویت میش ون د، یک تکنیک بسیار کار آم دسلت و میتوان ه بارن 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 هاره ای FRP در تقویت ش ی و خ ش ی اعضا بتن آرم ش ام ل ت بیوت و نتصا و داله انشان می ده د که کبر کابردن این م هاره ظرفیت ب ر ی نه ایی و شکله ذیری و ج ذب انرژی رله طور ق ل م حظه ای فلزایش می ده د [7-9].

تله هز بروسی های مح دودی پیرامون اثیر تکنیک اتصال ورق تقویت ی بر عم ل کرد م هاره ای FRP تقیم انج ام ش ده سلت و پام ت ره ای م هاره ای FRP تن هایی مود بروسی قرار گرت لن د، که م ان عمل ل ی در اج رای طرح های دقیق و کار آم برای م هاره ای FRP وسط من ض ی ن سل بر این ه امت تحقیق ج ام عی پیرامون ش خ سات م هاره ای م تقیم ن ظیر عمق ق رارگیری م هاره ل خن، طول ب خ ش باب نی و س ن بت س ط ح ق طع م هاره به روق تقویت ی انج ان گفیت سلت. یک مئل ه کلیدی مدرک فاده از م هاره ای FRP تع هبوت ش خ سات م و بکجه به روش ت اتصال و طول روق تقویت ی سلت، که ج دلش گی ورق FRP به طور کامل حذف کرده و مود شکت رله هگس یختگی روق تقویت ی تب دلیل کذب رسل اس ت تحقیاتی انج ام ش ده و دانقو گول ن ع تی اص ف لملین، ت فاده از روش ش یارزنی از تکنیک های مقوری برای حذف یلمت ا خیر ان ط ن ج دلش گی زود ه نگام روق تقویت ی ملت. نتایج تحقیاتی انشان می ده د که نمونه های تقویت ش دمه

## ۲. مراحل آزمایشگاهی

### ۲-۱- مشخصات نمونه‌ها و بتن مورد استفاده

برای بررسی فیت‌التصال روق تقویتی به سطح بت‌ناب‌ع‌اد نمونه‌ها ۱۵۰×۱۵۰×۳۵۰ میلی‌متر درنظ‌رگرفت‌شد و به جهت بررسی ممبره‌ای تقویتی به بیرون آم‌گ‌ب‌ه ان‌دازه ۸۰ میلی‌متر در مرکز نمونه‌ها قرارگرفت بت‌ن‌وان از نمونه‌ها برای ان‌جام دو آزمایش تقویتی رلتا ۸۰ درصد فل‌زایش می‌دهد و می‌توان د‌ج‌دلش‌گی را استفاده نمود (شکل ۲). برای تعیین مقاومت‌ن‌ف‌ش‌اری بت‌ن صرفی، ۳ نمونه مل‌ه‌ت‌وان‌ه‌ای با ارتفاع ۲۰۰ و قطر ۱۰۰ میلی‌متر از هر مخلوط تهیه شد. آزمایش‌ف‌ش‌اری تک‌محوره روی ۳ نمونه پس از ۲۸ روز ق‌را‌گیری در ح‌ض‌چ‌ه‌آب، ان‌ج‌ام‌شد.

شکل ۲: نمونه‌های مورد استفاده جهت تحقیق

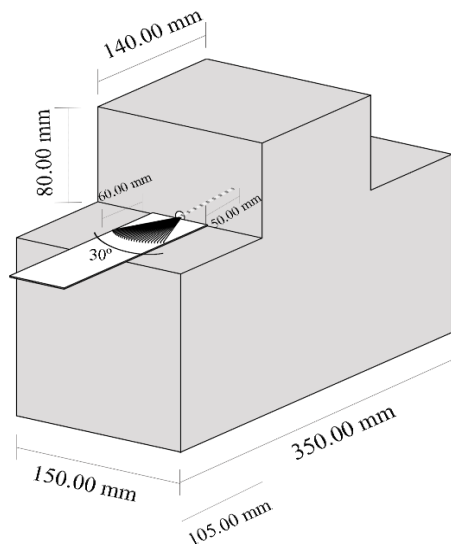


Fig. 2. T-shaped specimens

### ۲-۲- مشخصات ای‌اف‌ب‌ا و کفی مورد استفاده

به منظور تقویت نمونه‌ها کله‌وزیت مه‌دل‌ح‌ش‌د‌د‌ب‌ال‌ی‌اف رکن (CFRP) م‌و‌ب‌د‌ت‌ف‌اد‌ه‌ق‌را‌ر‌گ‌ف‌ت. ورق‌ه‌لی‌ت‌ف‌اد‌ه‌ش‌ده، م‌ح‌س‌ول‌ش‌ر‌ک‌ت Sika م‌و‌ئ‌ی‌س‌و‌ب‌ان‌م‌ت‌ج‌اری SikaWrap-230C مه‌ن‌د‌ن‌د‌از رزین برای اتصال ورق‌ب‌س‌ط‌ب‌ت‌ن‌و‌ن‌ی‌ز‌ب‌ه‌ع‌ن‌وان م‌ت‌ر‌ی‌س‌در کله‌وزیت FRP ت‌ف‌اد‌ه‌م‌ی‌ش‌ود. د‌ت‌ح‌ق‌ی‌ق‌ح‌ط‌ر‌از رزیدل‌پ‌و‌ک‌سی Qantom-EPR3301 لی‌د‌ی‌ش‌ر‌ک‌ت‌وا‌ک‌ت‌وم‌ای‌ران س‌ت‌ف‌اد‌ه‌ش‌د. این رزین از دو جزء A و B تشکیل شده است. نسبت جزء A به B برابر ۱ به ۱ است. برای عمل‌آوری رزیدل‌پ‌و‌ک‌س‌د‌دی ۷ روز در دم‌ای ۲۵ درجه

ش‌ی‌ه‌اره‌ای‌ط‌ل‌ی‌بت‌ن‌ش‌ر‌ب‌ه‌ع‌م‌ق‌ی‌ت‌ن‌م‌ت‌ق‌ل‌کرده‌ام‌اش‌ی‌ه‌اره‌ای ع‌ض‌ب‌ت‌ن‌ش‌را در سطح بت‌ن‌گ‌س‌ت‌ر‌ش‌م‌ی‌ده‌د [13].

د‌ت‌ح‌ق‌ی‌ق‌ح‌ط‌ل‌ی‌ر‌ت‌ف‌اد‌ه‌از ممبره‌ای تقویتی به سطح بت‌ن‌ی‌در کنار این تکنیک برای هرمن‌دی‌کامل از ظرفیت ورق تقویتی مورد بررسی قرارخ‌واه‌د‌گ‌ف‌ت‌ت‌ح‌ق‌ی‌ات‌ان‌ج‌ام‌گ‌س‌ت‌ه‌رو‌ط‌ب‌ع‌ا‌ه‌ش‌ی‌ار نش‌ان‌م‌ی‌ده‌د‌ع‌م‌ق‌ش‌ی‌ار ۱۰ میلی‌متر برابرگ‌سی‌خ‌ت‌گی‌ن‌ه‌ای‌ی‌ورق تقویتی رلتا ۸۰ درصد فل‌زایش می‌دهد و می‌توان د‌ج‌دلش‌گی را استفاده نمود (شکل ۲). برای تعیین مقاومت‌ن‌ف‌ش‌اری بت‌ن صرفی، ۳ نمونه مل‌ه‌ت‌وان‌ه‌ای با ارتفاع ۲۰۰ و قطر ۱۰۰ میلی‌متر از هر مخلوط تهیه شد. آزمایش‌ف‌ش‌اری تک‌محوره روی ۳ نمونه پس از ۲۸ روز ق‌را‌گیری در ح‌ض‌چ‌ه‌آب، ان‌ج‌ام‌شد.

EBROG برای ق‌و‌ی‌ت‌س‌از‌ه‌مل‌ی‌ت‌ن‌آرم‌ه‌و‌ج‌و‌د‌ن‌خ‌واه‌د‌ه‌ت‌ل‌ت‌ت‌ح‌ق‌ی‌ات‌گ‌ش‌ن‌ت‌ن‌ش‌ان‌داده‌س‌ل‌ت‌که‌ع‌م‌ق‌ک‌ف‌ر‌از ۱۰ میلی‌متر ج‌دلش‌د‌گی‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌تی‌از سطح بت‌ن‌ر‌ب‌ه‌م‌راه‌ن‌وات‌ه‌و‌ام‌کان استفاده‌ی‌کامل از ظرفیت ورق تقویتی در این ح‌ط‌ل‌ت‌و‌ج‌و‌د‌ن‌خ‌واه‌د‌ه‌ت‌ل‌ت‌ف‌ل‌زایش‌ع‌رض‌ش‌ی‌ا‌ب‌اع‌م‌ق‌ی‌ت‌ب‌ت‌ن‌ج‌ب‌ف‌ل‌زایش‌بارگ‌سی‌خ‌ت‌گی‌ن‌ه‌ای‌ی‌م‌ی‌ش‌ود؛ اما افزایش عرض‌ش‌ی‌ار بیش‌از ۱۰ میلی‌متر وصیه‌ن‌م‌ی‌ش‌ود؛ زیرا ایجاد این‌ش‌ی‌ار م‌ی‌ت‌وان‌د‌آ‌س‌ی‌ب‌زیاد‌ی‌ب‌ه‌ت‌ن‌وارد‌کرده‌و‌از‌ط‌ف‌ی‌م‌ی‌ل‌و‌ل‌ن‌ت‌ف‌اد‌ه‌از‌چ‌س‌ب‌پ‌ل‌و‌ک‌سی‌ر‌ب‌ل‌م‌ق‌دری‌ف‌ل‌زایش‌ده‌د، که از ن‌ظ‌ق‌ب‌ت‌ل‌ت‌ص‌اد‌ی‌ب‌ص‌ف‌ن‌ی‌ت [16-17] ی‌ا‌ب‌ر‌این‌در این‌ت‌ح‌ق‌ی‌ق‌ا‌ز‌ش‌ی‌ار‌ه‌ای‌ب‌اع‌م‌ق‌و‌ع‌رض‌۱۰ میلی‌متر و طول‌ت‌ص‌ل‌لی‌ک‌ف‌ر‌از‌ط‌و‌ل‌ت‌ص‌ال‌م‌و‌ر‌س‌ل‌ف‌اد‌م‌ش‌د‌ت‌ا‌ام‌کان‌ب‌ر‌وی‌ع‌م‌ل‌م‌ک‌ر‌دم‌ه‌ار‌ف‌ل‌وت‌ه‌ای‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌تی، برای ح‌ذ‌ف‌ج‌دلش‌گی‌ورق‌از سطح بت‌ن‌و‌ج‌و‌د‌ن‌وات‌م‌ب‌ش‌ل‌ع‌و‌ب‌ر‌آن، در اع‌ض‌ای‌ی‌از س‌از‌ه‌ا‌ف‌ن‌ت‌ب‌یر‌ه‌ای‌T شکل، ممکن‌س‌ل‌ت‌ت‌أ‌م‌ی‌ن‌ط‌و‌ل‌ت‌ص‌ال‌م‌و‌ر‌ا‌م‌کان‌ب‌ذ‌ی‌ر‌ن‌ب‌ش‌ل‌د‌ب‌ه‌کار‌گیری‌ممبره‌ای FRP بت‌ن‌ی‌ب‌ل‌ج‌زنی یکی از راه‌ه‌لی‌ت‌ف‌اد‌ه‌از ب‌ش‌ی‌ت‌ر‌ی‌ن‌ظ‌ف‌ی‌ت‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌تی‌در این ح‌ط‌ل‌ت‌س‌ل‌ت‌ب‌م‌ن‌ظ‌و‌ب‌ر‌وی‌ت‌ج‌ب‌ف‌ی‌ت‌ار ممبره‌ای تقویتی به سطح بت‌ن‌پس از نصب ممبره‌ای روی ورق‌های FRP، نمونه‌ها تحت آزمایش‌ش‌ر‌س‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌ق‌ر‌ار‌م‌ی‌گیرند. در م‌ح‌د‌و‌د‌ه‌پ‌ژو‌ه‌ش‌ع‌م‌ق‌گ‌ی‌رای‌م‌ه‌ار، س‌ن‌ب‌ت‌س‌ط‌ح‌ق‌ط‌ع‌م‌ه‌ار‌ب‌ه‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌تی، چ‌گ‌و‌ن‌گی‌ق‌را‌گ‌ی‌ری‌ق‌س‌م‌ت‌ب‌ل‌ج‌زنی‌م‌ه‌ار‌روی‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌تی‌و‌روش‌ن‌ص‌ب‌ورق تقویتی و م‌ر‌د‌ب‌ر‌وی‌ق‌ر‌ار‌خ‌واه‌ن‌د‌گ‌ف‌ت.

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 کاربردشده. درت‌م‌امی آزمایش‌ها باگ‌داری‌م‌ص‌ورت‌کن‌ر‌ت‌غ‌ی‌یر مکان‌ان‌ج‌ام‌ش‌ده. در سردتگاه‌ح‌ظ‌ر‌م‌م‌ت‌وان‌س‌ر‌ع‌ت‌ب‌ا‌ر‌گ‌داری‌ز‌ب‌ی‌ن‌ت‌ا ۶۰ میلی‌متر برقی‌ف‌ن‌ظ‌ی‌م‌ن‌م‌ود. م‌ط‌ب‌ق‌ا‌م‌ل‌ت‌ان‌دارد [ASTM D3039] [20] باگ‌داری‌م‌س‌ر‌ع‌ت ۲ میلی‌متر برقی‌ف‌ه در ح‌ل‌ت‌م‌ل‌ت‌ای‌کی‌ب‌ش‌ن‌ه‌ا‌د‌م‌ی‌ش‌ود.

## ۲-۴- طبقه‌بندی تقویتی نمونه‌های آنتی‌تک‌اه‌ی

نام‌گ‌داری‌ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ای‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌د‌ام‌ی‌ا‌ت‌ف‌ا‌ده‌از‌م‌اره‌ای‌ب‌اد‌ب‌ز‌ن‌ی‌م‌ص‌ورت‌T-d-f-n‌م‌ل‌ت‌که‌T‌روش‌ض‌ب‌(روش‌ض‌ب‌خ‌ا‌ر‌ج‌ی‌یا‌EBR و روش‌ض‌ب‌خ‌ا‌ر‌ج‌ی‌رو‌ی‌ش‌ی‌ا‌ر‌یا‌EBROG)، ط‌و‌ل‌ب‌ل‌ز‌ن‌ی، ن‌گ‌ن‌ب‌ت‌س‌ط‌ح‌م‌اره‌ب‌ه‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌و‌n‌ش‌م‌اره‌ت‌ک‌ر‌ار‌م‌ی‌ش‌ده. ه‌م‌چ‌ن‌ی‌ن‌ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ای‌ب‌ه‌ع‌ن‌وان‌ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ای‌ش‌اه‌د‌بر‌ای‌بر‌و‌ی‌ع‌م‌ل‌ک‌ر‌د‌م‌ه‌ل‌ت‌ن‌م‌ل‌ی‌ا‌ت‌ف‌ا‌ده‌از‌یک‌یه‌ورق‌FRP‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌د‌ن‌د‌ن‌ا‌م‌گ‌داری‌این‌ن‌م‌ن‌ه‌م‌ل‌ص‌ورت‌T-S-n‌م‌ی‌ب‌ش‌د‌که‌T‌روش‌ض‌ب‌ورق‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌و‌n‌ش‌م‌اره‌ت‌ک‌ر‌ار‌م‌ل‌ت‌در‌ت‌م‌ام‌ی‌آ‌ز‌م‌ای‌ش‌م‌ط‌ب‌ت‌ه‌ی‌ب‌ک‌ون‌ی‌ب‌م‌ض‌خ‌ا‌م‌ت‌۰/۱۳۱، ع‌رض‌۴۸ میلی‌متر و ط‌و‌ل‌ت‌ا‌ص‌ال‌۷۰ میلی‌متر ب‌ه‌کار‌ب‌ر‌ده‌ش‌ده. ه‌م‌چ‌ن‌ی‌ن‌ع‌م‌ق‌گ‌ی‌رای‌م‌اره‌د‌رت‌م‌ام‌ی‌ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ای‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌د‌م‌ب‌ا‌ت‌ف‌ا‌ده‌از‌م‌اره‌ای‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌ب‌ی‌ل‌ر‌۵۰ میلی‌متر درن‌ظ‌ر‌گ‌ر‌ت‌ش‌ده‌م‌ل‌ت‌در‌ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ای‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌د‌م‌ب‌ه‌روش‌EBROG‌از‌د‌و‌ش‌ی‌ا‌ر‌ب‌ا‌ع‌م‌ق‌و‌عرض‌۱۰ میلی‌متر ف‌ص‌ل‌ب‌ت‌ب‌ل‌ر‌۲۰ میلی‌متر ف‌ا‌ده‌ش‌د‌بر‌ای‌را‌س‌ت‌ی‌آ‌ز‌م‌ای‌ت‌ا‌ی‌ج‌، ه‌ر‌آ‌ز‌م‌ای‌ش‌د‌و‌ب‌ا‌ر‌ان‌ج‌ا‌م‌گ‌ف‌وت‌در‌ص‌ورت‌و‌ج‌و‌د‌خ‌ا‌ت‌ا‌ل‌ف‌غ‌ی‌ق‌ب‌ت‌ب‌ول‌در‌ت‌ا‌ی‌ج‌، آ‌ز‌م‌ای‌ش‌ت‌ک‌ر‌ار‌ش‌د‌ب‌ه‌من‌ظ‌ور‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ا‌م‌را‌ح‌ل‌ز‌ی‌را‌ن‌ج‌ا‌م‌گ‌ف‌وت:

ل‌ن‌ت‌ی‌گ‌ر‌اد‌م‌ی‌ش‌ده. ه‌م‌چ‌ن‌ی‌ن‌م‌ی‌زان‌ر‌ز‌ی‌ن‌م‌ص‌رف‌ی‌پ‌ش‌ن‌ه‌ا‌ده‌ت‌م‌س‌د‌د‌ط‌ش‌د‌ر‌ک‌ت‌و‌ا‌ک‌ت‌و‌ب‌ی‌ن‌۵۰۰ تا ۲۰۰۰ گ‌رام‌ب‌ه‌از‌ای‌ه‌ر‌ن‌ظ‌ر‌م‌ب‌ع‌ل‌ی‌ا‌ف‌س‌ل‌د‌ت‌ش‌م‌د‌خ‌ص‌ا‌ت‌م‌ک‌ان‌ی‌ک‌ی‌ا‌ل‌ی‌ا‌ف‌و‌ر‌ز‌ی‌ل‌پ‌و‌ک‌س‌دی‌م‌و‌س‌د‌ت‌ف‌ا‌ده‌در‌ج‌د‌ول‌۱) (ن‌ش‌ان‌د‌ا‌ده‌ش‌ده‌م‌ل‌ت‌[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

ن‌م‌ن‌ه‌ه‌ا‌پ‌س‌از‌ق‌وا‌وم‌س‌از‌ی‌ب‌ه‌م‌ی‌ده‌ک‌ل‌ه‌و‌ز‌ی‌ت‌FRP‌داخل‌س‌رد‌ت‌گ‌اه‌آ‌ز‌م‌ای‌ش‌ب‌ر‌ش‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌، م‌ج‌ه‌ز‌ب‌ه‌یک‌ج‌ک‌ه‌ی‌د‌ر‌ول‌ی‌ک‌ی‌ب‌ظ‌ف‌ی‌ت‌۳۰۰ کیلو نیوتن قرار می‌گیرند (شکل ۳).

شکل ۳- سردتگاه آزمایش‌ر‌ش‌م‌ت‌ق‌ی‌م



Fig. 3. Single-lap shear test setup



۱) در روش EBR تک‌دا 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

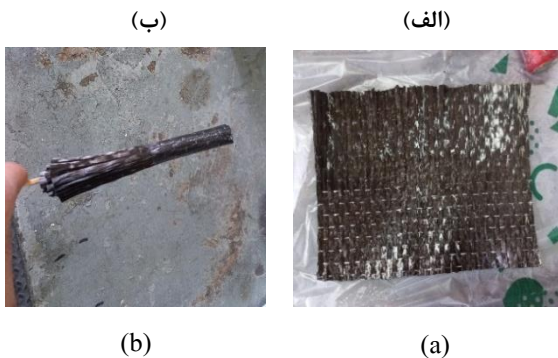


Fig. 5. Steps of anchor construction: (a) cutting CFRP to required lengths; (b) rolling the anchor around the dowel

۶) الیاف‌رک‌ن SikaWrap-230C که‌ق‌س‌م‌ت‌طول‌آزاد‌آن‌رق‌وب‌ل‌ث‌ل‌ب‌اع‌ش‌ده‌س‌ل‌ت‌، روی‌سطح‌ت‌ل‌غ‌ت‌به‌رزین‌ق‌رار‌گ‌ف‌ت‌ه‌ویا‌رزین‌اپ‌وک‌ی‌ت‌ل‌ب‌اع‌میش‌ود. برای‌ج‌ل‌گ‌گیری‌از‌ل‌ح‌راف‌الیاف‌، ر‌ل‌ت‌اک‌ن‌س‌ب‌ا‌ت‌ف‌اده‌از‌گون‌یل‌ن‌ک‌ر‌ل‌ش‌د.

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

شکل ۶: آماده‌سازی نم‌ن‌ه‌ها

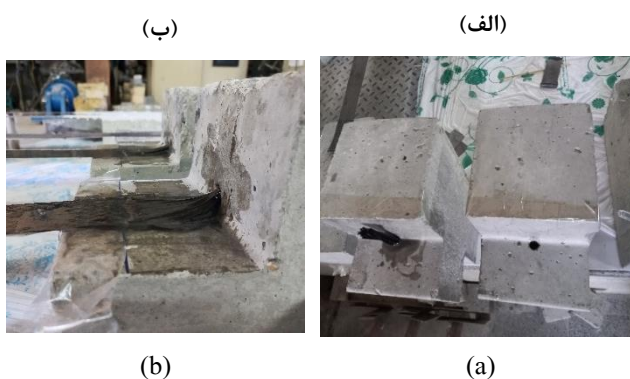


Fig. 6. Preparation of specimens

نم‌ن‌ه‌م‌پ‌س‌از‌آم‌دم‌س‌ازی‌به‌م‌دت‌۷‌روز‌برای‌ع‌م‌ل‌آوری‌در‌ش‌رایط‌آزم‌ن‌گ‌اه‌ق‌رار‌داده‌میش‌ون‌د‌بر‌ای‌ان‌ج‌ام‌ت‌کنیک PIV،

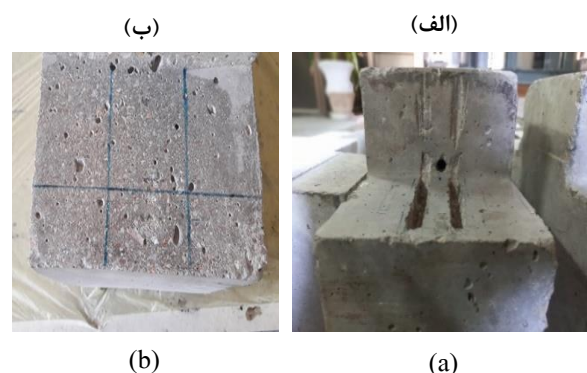


Fig. 4. Concrete surface preparation: (a) EBROG method; (b) EBR method

۲) خ‌ره‌ای‌باق‌طر ۱۲ میلی‌م‌تر‌وب‌ه‌عم‌ق ۵۰ میلی‌م‌تر‌به‌وس‌یل‌م‌ت‌ه‌دا‌خل‌ت‌ن‌و‌ق‌یقاً‌م‌ر‌ل‌ت‌با‌م‌حل‌ق‌رار‌گیری‌ورق FRP ای‌جاد‌میش‌ود.

۳) سطح‌آم‌دم‌ش‌ده‌ن‌م‌ن‌ه‌، به‌وی‌لم‌ه‌ه‌ت‌گ‌ه‌پ‌م‌پ‌ه‌وا‌از‌ه‌ر‌گون‌ه‌ل‌و‌گی‌و‌گ‌رد‌وی‌ع‌ر‌ت‌م‌یز‌میش‌ود.

۴) الیاف‌رک‌ن SikaWrap-230C بس‌ل‌ب‌ع‌اد‌م‌ورد‌ن‌یاز‌بر‌ای‌س‌اخ‌ت‌م‌ه‌ای‌بر‌یده‌میش‌ود‌پ‌س‌از‌خ‌ارج‌کرد‌ن‌خ‌های‌نگ‌ه‌لان‌ده‌ب‌ین‌الیاف‌در‌ق‌س‌م‌ت‌ب‌ل‌ب‌زنی‌م‌ه‌ار‌، آیف‌خ‌ش‌از‌م‌ه‌ار‌که‌دا‌خل‌ت‌ن‌ق‌رار‌می‌گیر‌به‌وی‌لم‌ه‌رزیش‌اب‌اع‌ش‌ده‌وب‌ه‌دور‌یک‌چ‌وب‌ن‌از‌ک‌پ‌ی‌چ‌یده‌میش‌ود. م‌راح‌ل‌س‌اخ‌ت‌م‌ه‌ار‌در‌ش‌کل ۵) (ن‌ش‌ان‌داده‌ش‌ده‌س‌ل‌ت‌.

۵) م‌ه‌ار‌، دا‌خل‌خ‌هر‌م‌ر‌ش‌د‌با‌چ‌س‌ب‌ق‌رار‌داده‌ش‌ده‌و‌چ‌س‌ب‌ط‌رف‌لی‌خ‌ارج‌ش‌ده‌از‌اط‌راف‌آنب‌ثوات‌ه‌میش‌ود. خ‌ره‌ها



## نتایج آزمون‌های

از س‌ط‌ح‌ بت‌ن‌، DF ب‌ی‌ا‌ن‌گ‌ر‌ج‌ د‌ل‌ش‌ گ‌ی‌ب‌ی‌ن‌ و‌ر‌ق‌ت‌ق‌ و‌ی‌ت‌ی‌ و‌ م‌ ه‌ا‌ر  
ب‌ل‌ب‌ز‌ن‌ی‌ و‌ FR پ‌ا‌گ‌ی‌ ر‌وق‌ ت‌ق‌ و‌ی‌ت‌ی‌ را‌ ن‌ش‌ا‌ن‌ م‌ی‌ د‌ه‌ د‌.  
ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ای EBR-S ب‌ع‌ن‌ و‌ا‌ن‌ ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ای‌ ش‌ا‌م‌ن‌ ه‌ل‌ب‌ا‌ ی‌ک‌ ی‌ه‌ و‌ر‌ق  
FRP ت‌ق‌ و‌ی‌ت‌ش‌ د‌ن‌ د‌. م‌ و‌د‌گ‌س‌ ب‌ی‌خ‌ت‌گ‌ی‌ ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ای‌ ش‌ا‌ه‌ ه‌ب‌ت‌ و‌ج‌ ب‌ه  
ش‌ک‌ل‌ ۱۰ ال‌ف‌ ج‌ د‌ل‌ش‌ گ‌ی‌ و‌ر‌ق‌ت‌ق‌ و‌ی‌ت‌ی‌ س‌ل‌ ت‌ب‌ر‌س‌ل‌ ا‌س‌ ج‌ د‌ول  
۲، در‌ ر‌وش‌ EBR ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از‌ م‌ ه‌ا‌ر‌ه‌ا‌ی‌ب‌ل‌ن‌ب‌ت‌ س‌ط‌ح‌ ق‌ط‌ع‌ م‌ ه‌ا‌ر  
ب‌ه‌ و‌ر‌ق‌ت‌ق‌ و‌ی‌ت‌ی‌ ب‌ل‌ب‌ر‌م‌ت‌و‌ا‌ن‌ا‌ی‌ی‌ ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ م‌ق‌ا‌وم‌ ب‌ت‌ن‌ص‌ا‌ل‌ ت‌ا‌ح‌ د‌و‌د  
۳۳ ر‌ص‌ د‌ی‌ن‌ب‌ت‌ ب‌ه‌ ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ای‌ ش‌ا‌ه‌ د‌ را‌ د‌ن‌ د‌.

در‌ ا‌ی‌ر‌خ‌ش‌ آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ ه‌ا‌ی‌ب‌ر‌ش‌ م‌ه‌د‌ت‌ق‌ی‌م‌ ا‌ن‌ج‌ا‌م‌ گ‌س‌ت‌ه‌ ر‌وی  
ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ی‌ت‌ق‌ و‌ی‌ت‌ش‌ د‌ب‌ر‌وس‌ی‌ م‌گ‌ی‌ر‌د‌ن‌ د‌. در‌ ل‌آ‌ز‌، م‌ق‌ا‌و‌ب‌ق‌ ا‌ن‌ص‌ا‌ل  
ر‌وق‌ ت‌ق‌ و‌ی‌ت‌ی‌ در‌ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ا‌ و‌ م‌ و‌د‌گ‌س‌ ب‌ی‌خ‌ت‌گ‌ی‌ آن‌ ه‌ا‌ر‌ا‌ی‌ه‌ م‌ی‌ش‌ و‌د‌. در  
ا‌د‌ا‌ م‌م‌ن‌ح‌ن‌ی‌ ه‌ا‌ی‌ب‌ا‌ر‌س‌ل‌ غ‌ز‌ش‌ ن‌م‌ون‌ه‌ ه‌ای‌ آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ د‌د‌ گ‌ا‌ه‌ی‌ م‌و‌ر‌د  
ب‌ر‌وس‌ی‌ ق‌ر‌ا‌ر‌ م‌ی‌ گ‌ی‌ر‌ز‌د‌.

## ۴-۱- مق‌ا‌وم‌ت‌ن‌ص‌ ال‌ن‌ه‌ون‌ه‌ ه‌ای‌ آ‌ن‌ل‌ب‌گ‌ 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 و‌ی‌ت‌ی‌ م‌ و‌ر‌ب‌ر‌وس‌ی‌ ق‌ر‌ا‌ر‌ گ‌ف‌ت‌ ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ س‌ط‌ح‌  
ق‌ط‌ع‌ م‌ ه‌ا‌ی‌ه‌ ج‌ ه‌ت‌ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ س‌ط‌ح‌ ن‌ص‌ا‌ل‌ و‌ر‌ق‌ت‌ق‌ و‌ی‌ت‌ی‌ ب‌خ‌ش‌ ب‌ا‌د  
ب‌ز‌ن‌ی‌ م‌ ه‌ا‌ر‌ و‌ت‌و‌ا‌ن‌ ا‌ی‌ی‌ ا‌ن‌ز‌ت‌ق‌ ال‌ب‌ی‌ق‌ت‌ ن‌ش‌، م‌ق‌ا‌وم‌ ب‌ت‌ن‌ص‌ا‌ل‌ ر‌ل‌ه‌ ط‌و‌ر  
چ‌ش‌ گ‌ی‌ر‌ی‌ ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ م‌ی‌ د‌ه‌ د‌ب‌ه‌ ط‌و‌ری‌ ک‌ه‌ ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ ج‌ د‌و‌د‌اً ۵۸  
د‌ر‌ص‌ د‌ی‌ در‌ م‌ق‌ا‌وم‌ ب‌ت‌ن‌ص‌ا‌ل‌ م‌ش‌ا‌ه‌ د‌ه‌ م‌ی‌ش‌ و‌د‌.

ب‌ر‌ا‌ی‌ب‌ر‌وس‌ د‌دی‌ ع‌م‌ل‌ک‌ر‌د‌ م‌ ه‌ا‌ر‌ ه‌ای‌ FRP ت‌ا‌ی‌ج‌ ل‌ح‌ص‌ د‌د‌ل‌ از  
آ‌ز‌م‌ا‌ی‌ش‌ ب‌ر‌ش‌ س‌ه‌ی‌ت‌ق‌ی‌م‌ ش‌ا‌م‌ل‌ م‌ق‌ا‌وم‌ ب‌ت‌ن‌ص‌ا‌ل‌، م‌ و‌د‌گ‌س‌ ب‌ی‌خ‌ت‌گ‌ی‌ و  
د‌ر‌ص‌ د‌ ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ م‌ق‌ا‌و‌ب‌ق‌ ا‌ن‌ص‌ا‌ل‌ ک‌ل‌ ف‌ن‌و‌ب‌ت‌ب‌ه‌ 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 و‌ی‌ت‌ی‌

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

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

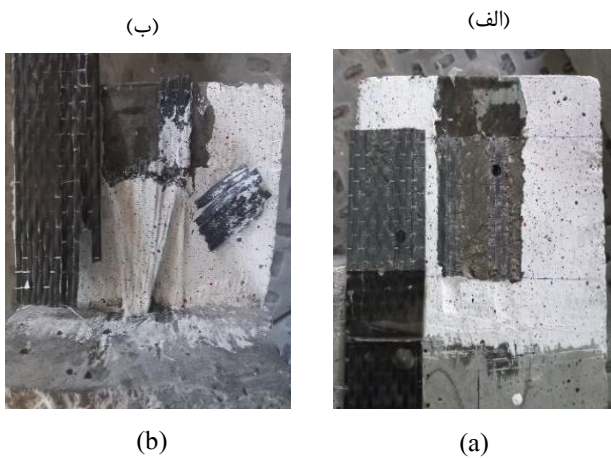


Fig. 11. Failure modes of EBROG specimens: (a) EBROG-S-1; (b) EBROG-60-2

ب ف ل ر ا ل ی ن ت ف ا د ه ا ز 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 ا ز 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 ا ز 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 ل ی ت ف ا د ه ا ز 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 ا ز

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

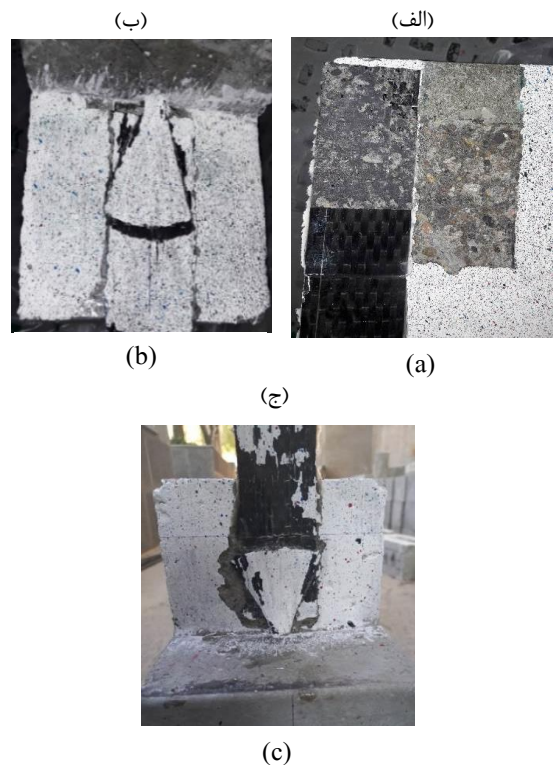


Fig. 10. Failure mode of EBR specimens: (a) EBR-S-1; (b) EBR-60-2; (c) EBR-60-3

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 ی ن ت ف ا د ه ا ز م ه ا ر ه ا ی FRP ب ا ز ا و ی ه 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 ب م ب ن ب ر ا ی ن در ت ق و ی ت ن م و ن ه ا ه ا س ه ع ی ب ر ا ی ب و د که ز ا و ی ه ل ی ب ز ن ی ب ه گ و ن ه ا ی پ ش ل د که ا ز 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، م ه ا ر ا ب ا ع م ق گ ی ر ا ی ی ۵۰ میلی بقر م و ر د ا س ت ف ا د ه ق ر ا ر گ ی ف ت. ن ا ی ج ح ا ک ی ا ز آن س ل ت که این ع م ق ت و ا ن ا ی ی

می‌کند، زمان شروع دشت‌گی دیناصال FRP سطح مسل‌تبر سل‌اس‌م‌ن‌ح‌نی‌های بارل‌غ‌زش در شکل (۱۲)، در نمونه‌هایی که ورق‌تق‌ویتی‌بع‌د‌ات‌ص‌ال‌ب‌س‌ط‌ح‌با‌روش EBR ل‌ب‌ات‌ف‌اده از م‌اره‌ای‌س‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌ت‌ق‌ویتی‌م‌ش‌ن‌ی‌د، علاو‌م‌ب‌ر‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌م‌قا‌وم‌ت‌ت‌ص‌ال، ق‌ی‌دارل‌غ‌زش‌ن‌ه‌ای‌ب‌ا‌ی‌ی‌ر‌ل‌ن‌ب‌ت‌ب‌ه‌ن‌م‌اره‌ای‌ش‌اه‌د‌ت‌ح‌م‌ل‌می‌کن‌د.

م‌اره‌ای‌ب‌ل‌ب‌ز‌نی‌ف‌راه‌م‌می‌ک‌ن‌د‌ب‌ه‌ع‌وه‌در‌این‌گ‌روه‌ن‌م‌اره‌م‌ل‌ار‌ن‌ه‌ای‌ب‌ی‌ش‌تری‌رات‌ح‌م‌ل‌می‌کن‌د. م‌ه‌چ‌ن‌ی‌ن‌ق‌ا‌وم‌ت‌ت‌ص‌ال‌ن‌م‌اره‌ای‌ت‌ق‌ویتی‌ش‌د‌م‌با‌ت‌کن‌ی‌ک‌EBROG‌ه‌م‌راه‌م‌اره‌ای‌س‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌۳۶‌در‌ص‌دی‌ول‌ن‌ب‌ت‌ب‌ه‌ن‌م‌اره‌ای‌ش‌اه‌د‌EBR‌ن‌ش‌ان‌می‌ده‌د.

#### ۴-۲-ن‌ح‌نی‌بارل‌غ‌زش‌ن‌م‌اره‌ای‌آ‌ش‌ی‌ک‌ه‌ای

ف‌ی‌ت‌ات‌ص‌ال‌ورق FRP سطح‌ت‌ن‌را‌م‌ی‌ت‌وال‌ن‌ی‌ات‌ف‌اده‌از‌ن‌ح‌نی‌های بارل‌غ‌زش‌ار‌زی‌ب‌ی‌ن‌م‌ود. ل‌غ‌زش‌از‌پ‌ا‌م‌ت‌ره‌ای‌م‌ه‌م‌آ‌زم‌ای‌ش‌ر‌ش‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌س‌ل‌ت‌ک‌م‌ب‌ات‌ف‌اده‌از‌آن‌م‌ی‌ت‌وان‌پ‌ا‌م‌ت‌ره‌ای‌دی‌گری‌ا‌ن‌د‌کن‌ش‌ت‌ق‌ن‌ش‌ر‌ب‌ه‌ه‌س‌ت‌آ‌ورد. م‌ه‌ا‌ن‌گ‌ون‌ه‌ک‌م‌پ‌ی‌ش‌از‌این‌ب‌ی‌ان‌ش‌د، در‌این‌ت‌ح‌قی‌ق‌ب‌را‌ی‌ار‌زی‌ب‌ی‌م‌ی‌د‌ان‌ل‌غ‌زش‌ات‌کن‌ی‌ک‌PIV‌ک‌ف‌اد‌ش‌ده‌س‌ل‌ت‌ب‌م‌ن‌ظ‌ور‌ای‌ج‌ا‌ب‌ف‌ل‌ک‌ر‌ن‌گ‌ی‌م‌ن‌هل‌ب‌ب‌را‌ی‌پ‌ر‌د‌از‌ش‌ع‌ک‌س‌ه‌ا، ب‌ی‌و‌ک‌دارن‌گ‌م‌ف‌ی‌د‌روی‌س‌ط‌ح‌ن‌م‌اره‌اع‌م‌ال‌ش‌د. پ‌س‌از‌خ‌ش‌ک‌ش‌د‌ن‌ن‌گ‌م‌ف‌ی‌د، ن‌گ‌ه‌ا‌ل‌ب‌ب‌ی‌ن‌ب‌ز‌ق‌ر‌م‌ز‌و‌م‌ش‌کی‌ب‌ه‌ص‌ورت‌ن‌ق‌ط‌ه‌ای‌روی‌س‌ط‌ح‌پ‌ش‌ل‌ی‌ده‌ش‌د‌ن‌د. در‌ح‌ی‌ن‌ان‌ج‌ام‌آ‌زم‌ای‌ش‌از‌ن‌م‌اره‌ع‌ک‌س‌گ‌ر‌ت‌ه‌م‌ش‌و‌د‌پ‌س‌ان‌پ‌ای‌ان‌آ‌زم‌ای‌ش‌ر‌ش‌س‌م‌ت‌ق‌ی‌م، ع‌ک‌س‌م‌ل‌بر‌ای‌ان‌ج‌ام‌آ‌ن‌ل‌ب‌ز‌نی‌ب‌ه‌ال‌م‌ل‌ب‌ن‌دی‌در‌ان‌د. در‌این‌ت‌ح‌قی‌ق‌از‌لام‌ان‌ه‌ای‌ب‌ب‌ع‌اد‌۲۸×۱۲۸‌ا‌پ‌یک‌س‌ل‌ب‌اف‌ص‌ل‌ه‌۶۴‌پ‌یک‌س‌ل‌ت‌ف‌اد‌ه‌ش‌ده‌س‌ل‌ت. واح‌د‌ط‌ول‌در‌این‌ع‌ک‌س‌ه‌ل‌ب‌یک‌س‌ل‌ت‌ب‌ان‌ج‌ام‌PIV، ل‌غ‌زش‌ن‌ک‌د‌ای‌ت‌ص‌ال‌ورق‌ت‌ق‌ویتی‌در‌ن‌گ‌ام‌ب‌ا‌گ‌ذ‌اری‌م‌م‌ج‌اب‌ه‌م‌ش‌و‌د. از‌ط‌رف‌دی‌گر‌ن‌ی‌روی‌اع‌م‌ال‌ش‌د‌م‌ه‌ن‌م‌اره‌در‌ح‌ی‌ن‌آ‌زم‌ای‌ش‌ل‌ب‌ات‌ف‌اده‌از‌ن‌ی‌روس‌ن‌ج‌ه‌ای‌س‌ر‌د‌ت‌گ‌ام‌ش‌ب‌ت‌می‌گ‌ر‌د‌ب‌د‌ی‌ت‌رت‌ی‌م‌ن‌ح‌نی‌بارل‌غ‌زش‌پ‌را‌ی‌ه‌ر‌ن‌ف‌ه‌ه‌ب‌ه‌س‌ت‌می‌آ‌ید. در‌ش‌کل (۱۲) م‌ن‌ح‌نی‌های بارل‌غ‌زش‌ن‌م‌اره‌ای‌EBR‌ن‌ش‌ان‌داد‌ش‌ده‌س‌ل‌ت. در‌این‌م‌ن‌ح‌نی‌ه‌ا‌ف‌ی‌ت‌ا‌ر‌ب‌ار‌ل‌غ‌زش‌ن‌م‌اره‌ه‌ا‌را‌م‌ی‌ت‌وان‌ب‌ه‌د‌وق‌س‌م‌ت‌ت‌ق‌ی‌م‌ک‌ر‌د‌ب‌ه‌این‌ص‌ورت‌که‌در‌ق‌س‌م‌ت‌اول‌ن‌م‌ود‌ار‌ب‌ار‌ن‌م‌ن‌ب‌ا‌ش‌ی‌ب‌ز‌ی‌ا‌ه‌ت‌ا‌ق‌ذ‌اری‌ن‌ز‌دی‌ک‌ب‌ه‌ب‌ی‌ش‌ترین‌م‌قا‌وم‌ت‌ت‌ص‌ال‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌م‌ی‌آ‌ید. در‌این‌ح‌ل‌ات‌ن‌م‌ن‌ه‌ل‌غ‌زش‌ک‌می‌در‌ح‌د‌ود ۰/۱۵ میلی‌م‌ت‌ر‌ر‌ل‌ت‌ج‌ب‌ه‌می‌ک‌ن‌د. ق‌س‌م‌ت‌اول‌ن‌م‌ود‌ار‌م‌وس‌و‌ب‌خ‌ش‌س‌ل‌ت‌یک‌س‌ل‌ت‌پ‌س‌از‌آ‌ف‌ن‌ح‌نی‌ب‌ل‌غ‌ب‌ی‌ر‌ف‌ی‌ت‌ار، و‌ار‌د‌ش‌ا‌خ‌ه‌ای‌ب‌ا‌ش‌ی‌ب‌س‌ی‌ار‌ک‌م‌ت‌ر‌از‌ق‌س‌م‌ت‌اول‌م‌ش‌و‌د. در‌این‌ق‌س‌م‌ت، ن‌م‌اره‌ل‌غ‌زش‌های‌زی‌اد‌ی‌رات‌ال‌ح‌ظ‌ه‌ی‌ش‌ک‌س‌ت‌ت‌ج‌ب‌ه‌می‌ک‌ن‌د. ل‌ح‌ظ‌ه‌ی‌ال‌ح‌ظ‌ات‌ی‌از‌ن‌م‌ود‌ار‌ک‌ه‌ش‌ی‌ب‌ق‌س‌م‌ت‌اول‌ت‌غ‌ب‌ی‌ر

شکل ۱۲. ن‌ح‌نی‌های بارل‌غ‌زش‌ن‌م‌اره‌ای‌ت‌ق‌ویتی‌د‌ب‌ه‌روش EBR با‌م‌اره‌ای‌م‌ی‌ت‌ق‌ی‌م‌د‌راف‌ت‌های‌ورق

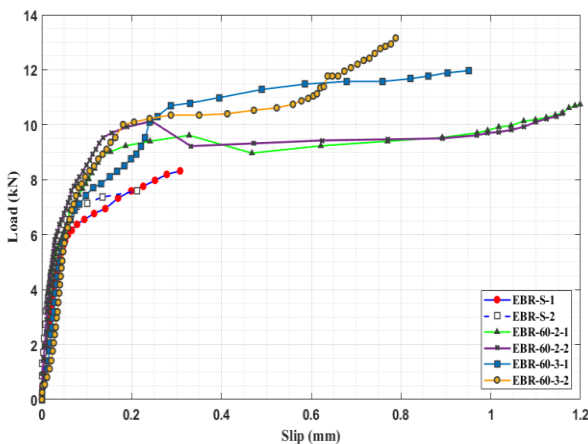


Fig. 12. Load-slip curves of EBR joints

ه‌چ‌ن‌ی‌ن‌این‌م‌ن‌ح‌نی‌ن‌ش‌د‌دان‌می‌ده‌د، در‌ن‌م‌اره‌ای‌ت‌ق‌ویتی‌ش‌د‌م‌اره‌ای‌س‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌ن‌ب‌ت‌س‌ط‌ح‌ق‌ط‌ع‌م‌اره‌ا‌ک‌م‌ق‌ار‌ل‌غ‌زش‌ب‌ی‌ش‌تری‌س‌ل‌ب‌ب‌م‌ی‌ش‌و‌د‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌ن‌ب‌ت‌س‌ط‌ح‌ق‌ط‌ع‌م‌اره‌ب‌ه‌ج‌ه‌ت‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌س‌ط‌ح‌ات‌ص‌ال‌ورق‌ت‌ق‌ویتی‌ب‌خ‌ش‌ب‌ل‌ب‌ز‌نی‌م‌اره‌ا‌و‌ت‌ول‌ای‌ر‌ان‌ق‌ت‌ال‌ب‌ن‌ق‌ت‌ن‌ش، ق‌ا‌وم‌ت‌ت‌ص‌ال‌د‌ال‌ر‌ب‌ه‌ط‌ور‌چ‌ش‌د‌م‌گ‌ی‌ری‌ف‌ل‌ز‌ای‌ش‌د‌اه‌و‌م‌قا‌د‌یر‌ل‌غ‌زش‌را‌ک‌اه‌ش‌می‌ده‌د.

م‌ن‌ح‌نی‌بارل‌غ‌زش‌ن‌م‌اره‌ای‌ت‌ق‌ویتی‌د‌ب‌ه‌روش EBROG‌در‌ش‌کل (۱۳) ن‌ش‌ان‌داد‌ش‌ده‌س‌ل‌ت. این‌ن‌م‌ود‌ا‌ر‌ب‌خ‌لاف‌ن‌م‌ود‌اره‌ای‌گ‌ر‌ق‌ه‌ب‌ب‌ه‌ص‌د‌ورت‌ک‌ام‌ا‌ل‌ص‌د‌ع‌و‌د‌ی‌ب‌و‌ده‌و‌ف‌ی‌ت‌ا‌ر‌ت‌ق‌ی‌ب‌ا‌د‌و‌خ‌ط‌ی‌ن‌م‌اره‌ای‌ت‌ق‌ویتی‌د‌ب‌ه‌روش EBR‌را‌ن‌دار‌د. ن‌م‌ود‌ار‌ب‌ار‌ل‌غ‌زش‌این‌گ‌ر‌وم‌ش‌د‌ام‌ل‌یک‌ش‌د‌ا‌خ‌ص‌د‌ع‌و‌دی‌س‌ت، ک‌ه‌ش‌ی‌ب‌آن‌ب‌ی‌و‌ک‌د‌ای‌ن‌م‌ود‌ار‌ب‌ی‌ش‌ت‌ل‌ز‌ان‌ت‌های‌آن‌س‌ت. در‌این‌گ‌ر‌وم‌ت‌فا‌وت‌ز‌ی‌ادی‌در‌ل‌غ‌زش‌ن‌م‌اره‌ه‌ای‌ش‌د‌دا‌ه‌د‌و‌ن‌م‌اره‌ای‌ت‌ق‌ویتی‌د‌ب‌ا‌م‌اره‌ای‌س‌م‌ت‌ق‌ی‌م‌م‌ش‌اه‌ده‌ن‌م‌ی‌ش‌و‌د‌ب‌ه‌ع‌لا‌وه، م‌قا‌د‌یر‌ل‌غ‌زش‌در‌ن‌م‌اره‌ای‌ت‌ق‌ویتی‌د‌ب‌ا‌م‌اره‌ای‌س‌م‌ت‌ف‌اده‌از

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

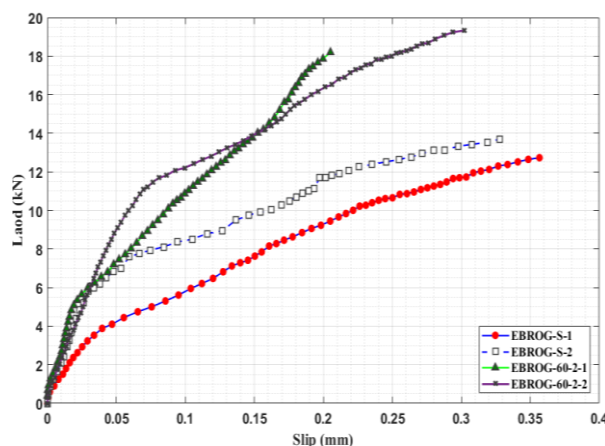


Fig. 13. Load-slip curves for EBROG joints

## 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.
- س‌ل‌س‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از‌ م‌ ه‌ا‌ر‌ های‌ م‌س‌ت‌ق‌ی‌م‌ در‌ روش‌ EBROG ب‌ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ ۴۲  
در‌ص‌د‌د‌ی‌ا‌ ب‌ه‌ ط‌و‌ر‌ م‌ی‌ا‌ن‌گ‌ی‌ن‌ن‌ب‌ن‌ب‌ت‌ب‌ه‌ ن‌م‌و‌ن‌ه‌ های‌ش‌د‌ا‌ ه‌ت‌ج‌ب‌ه‌  
ک‌ر‌د‌ل‌ن‌د‌. در‌ ا‌ی‌ن‌ن‌م‌و‌ن‌ه‌ م‌ل‌ن‌ب‌ت‌ س‌ط‌ح‌ ق‌ط‌ع‌ م‌ا‌و‌ ب‌ه‌ ر‌و‌ق‌ س‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌  
ب‌ی‌ل‌ر‌ ۲ در‌ن‌ظ‌ر‌گ‌ر‌ت‌ م‌ش‌د‌.
- س‌ل‌س‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از‌ روش‌ش‌ی‌ا‌ر‌ز‌ن‌ی‌ ا‌م‌ک‌ان‌ ح‌ ذ‌ف‌ ح‌ د‌ا‌ش‌ گ‌ی‌ ز‌و‌د‌  
ه‌ن‌گ‌ا‌م‌ ر‌و‌ق‌ س‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌ ر‌ف‌ر‌ا‌ه‌ م‌ی‌ ک‌ن‌د‌.
- ۵) م‌ق‌ا‌و‌م‌ ت‌ل‌ص‌ د‌د‌ال‌ ن‌م‌و‌ن‌ه‌ های‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌ د‌د‌م‌ا‌ ت‌ک‌ن‌ی‌ک‌  
EBROG ب‌ه‌ م‌ر‌ا‌ه‌ م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ای‌ م‌ن‌د‌ت‌ق‌ی‌م‌ ب‌ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ ۳۶ ا‌در‌ص‌د‌د‌ی‌ را  
س‌ن‌ب‌ت‌ب‌ه‌ ن‌م‌و‌ن‌ه‌ های‌ش‌ا‌ه‌ د‌ EBR ا‌ن‌ش‌ا‌ن‌ م‌ی‌ د‌ه‌د‌.
- ۶) م‌ق‌ا‌د‌ی‌ر‌ ب‌ی‌ش‌ د‌د‌ت‌ر‌ی‌ن‌ل‌غ‌ ز‌ش‌ ب‌ق‌ن‌ش‌ در‌ ط‌و‌ل‌ ر‌و‌ق‌ س‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ی‌، در‌  
ن‌م‌و‌ن‌ه‌ های‌ت‌ق‌و‌ی‌ت‌ش‌ د‌س‌ب‌ل‌ت‌ف‌ا‌د‌ه‌ از‌ م‌ه‌ ا‌ر‌ه‌ای‌ ب‌ل‌ج‌ز‌ن‌ی‌ ب‌ن‌ب‌ت‌ب‌ه‌  
ن‌م‌و‌ن‌ه‌ های‌ش‌ا‌ه‌ د‌ف‌ل‌ز‌ا‌ی‌ش‌ چ‌ش‌ گ‌ب‌ی‌ر‌ی‌ د‌ا‌ر‌د‌.
- ۷) د‌ر‌ت‌ م‌ا‌م‌ن‌م‌و‌ن‌ه‌ ه‌ا‌ع‌ م‌ق‌گ‌ی‌ر‌ا‌ی‌ی‌ ۵۰ م‌ب‌ی‌ل‌ی‌ ب‌ق‌ر‌ت‌ و‌ل‌ ا‌ی‌ل‌ی‌ن‌ت‌ق‌ا‌ل‌  
ک‌ا‌م‌ ل‌ت‌ن‌ش‌ ب‌ب‌ه‌ت‌ را‌ ه‌ل‌د‌ت‌ه‌ و‌ م‌ ه‌ا‌ر‌ د‌ل‌چ‌ ب‌ی‌ر‌و‌ن‌ گ‌ن‌ د‌ی‌د‌گ‌ی‌ ا‌ن‌ش‌ د‌ه‌  
س‌ل‌ت‌.

## ۱. م‌ض‌ع‌ ا‌ر‌ض‌ م‌ن‌ف‌ل‌ع‌

ن‌و‌ی‌س‌ د‌ن‌ د‌گ‌ا‌ن‌ ا‌ع‌ م‌ م‌ی‌ ک‌ن‌د‌ ک‌ه‌ ه‌ی‌چ‌ ن‌وع‌ت‌ ا‌ر‌ض‌ م‌ن‌ف‌ل‌ع‌ی‌ و‌ج‌و‌د‌  
ن‌ د‌ا‌ر‌د‌.

## ۲. م‌ر‌ا‌ج‌ع‌

- [1] Neubauer, U. and Rostasy, F.S., 1997. Design aspects of concrete structures strengthened with externally bonded CFRP-plates. *International Conference on Structural Faults and Repair. Volume 2: concrete and composites*.
- [2] Del Rey Castillo, E., Griffith, M. and Ingham, J., 2019. Straight FRP anchors exhibiting fiber rupture failure mode. *Composite Structures*, 207, pp.612-624.
- [3] Ozbakkaloglu, T. and Saatcioglu, M., 2009. Tensile behavior of FRP anchors in concrete. *Journal of Composites for Construction*, 13(2), pp.82-92.
- [4] Llauro, P.V., Fernandez-Gomez, J. and Ramos, F.J.G., 2017. Influence of geometrical and installation parameters on performance of CFRP anchors. *Composite Structures*, 176, pp.105-116.
- [5] Del Rey Castillo, E., Griffith, M. and Ingham, J., 2018. Seismic behavior of RC columns flexurally strengthened with FRP sheets and FRP anchors. *Composite Structures*, 203, pp.382-395.
- [6] Del Rey Castillo, E. and Kanitkar, R., 2021. Effect of FRP spike anchor installation quality and concrete repair on the seismic behavior of FRP-strengthened RC columns. *Journal of Composites for Construction*, 25(1), p.04020085.
- [7] Kara, M.E. and Mustafa, Y.A.Ş.A., 2013. An Investigation of fan type anchorages applied to end of CFRP strips. *Steel and Composite Structures, An International Journal*, 15(6), pp.605-621.



# Effect of Anchors on FRP-Concrete Bond Behavior in EBR and EBROG Joints

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

1. MSc of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology (IUT)
2. Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology (IUT)

Received: 2023/02/19

Accepted: 2023/06/21

\*dmostofi@cc.iut.ac.ir

## Abstract:

Fiber-reinforced polymer (FRP) sheets are lightweight and offer high tensile strength and durability under harsh environmental conditions. For this reason, FRP sheets are used extensively for the strengthening of concrete structures. Concrete structures reinforced with FRP composites commonly experience debonding failure of the reinforcement sheet before the tensile capacity of the FRP sheet has been fully utilized. One method used to prevent the debonding of FRP sheets is the use of FRP anchors. FRP anchors are made by rolling the FRP sheet and impregnating it with epoxy resin as a matrix. One end of the FRP anchor then is placed into a hole drilled in the concrete and the other end is fanned out across the FRP composite. In this research the bond technique, method of fan application, length of fan part, the anchor cross-section to reinforcement sheet cross-section ratio, and converting the failure mode to FRP rupture for straight FRP anchors were investigated. The FRP anchors were examined by the externally-bonded reinforcement (EBR) method and the externally-bonded reinforcement on grooves (EBROG) technique. To strengthen the specimens, FRP with a net thickness of 0.131 mm (SikaWrap-230C), a bond length of 70 mm, and a width of 48 mm was used. In the EBROG technique, two grooves with widths of 10 mm, depths of 10 mm, and spaced 20-mm apart were cut on the concrete surface. The matrix phase of the composite was Quantum-EPR 3301 epoxy resin. FRP composites were prepared by the wet lay-up method. To determine the bond behavior of FRP anchors, 15 single-lap shear tests on T-shaped specimens were conducted. The results showed that, in EBR method an increase in the anchor cross-section had a positive effect on the bond strength, so an increase of about 58% in bond strength of the EBR-60-3 specimens was observed. The failure mode in EBR specimens was debonding. The load-slip curves of the EBR joints showed that in the first part, the load increases sharply and linearly up to the initiation of debonding; in the second part, slippage increased significantly and the slope of the curve decreased. The use of straight FRP anchors significantly increased the bond strength and the final slip values compared to the control specimens. In the EBROG method, anchors with a cross-section ratio of twice eliminated the debonding and the failure mode for this group was the rupture of the FRP sheet. The load-slip curves for the EBROG method ascended and did not exhibit the almost two-line behavior of the EBR specimens. The load-slip curves consisted of an ascending branch with an initial slope that was greater than at the end. The slippage of the EBROG specimens was significantly lower than for the EBR specimens. This small amount of slip versus the high bond strength reveals the high stiffness of the bond. A comparison of the EBR and EBROG methods shows that the EBROG eliminated debonding at lower FRP fan and bond length values. Also, the bond strength of the EBROG specimens with FRP anchors increased by 136% compared to the EBR specimens. In this research, an embedment depth of 50 mm transferred stress to the concrete without pulling out the fibers.

**Keywords:** Fiber Reinforced Polymers (FRP), Anchor, Debonding, Single-lap shear test.