مجله علمی – پژوهشی مهندسی عمران مدرس دوره ۲۳، شماره ۵، سال ۱۴۰۲ صفحات ۱۱۵ تا ۱۲۷



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

مەرداد گرکیراق'داود مىتوفىنژاد'

۱-دانش آمخت، کش نبلی اش د، من می عمران دانن گسل نعت اصف مان ۲- لت اد،دان شکده من می عمران دانش گمل نعت کاصف مان

تاریخ دریافت ۱٤۰۱/۱۱/۳۰

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

تاريخي ذيرش ١٤٠٢/٠٣/٣١

#### چ کی دہ

**وارگنالنالى دى:**اكمپوزيت FRP، روشان صب خارجى )EBR(، روشان صب خارجى روىشىيار )EBROG(، مەاربىلەزن.

#### ۱.مقدمه

سازه هاییتن آرممبه د یل مخلف از جهامضعف در طراحی و اجرلتغییر در کلپریتغییر در آیین امه ملتوأشیر عوام ل

خارجی افهن ضرب و یا عوام ل محیطی مخرب نیاز و قومسازی هران د. از جهل و روش های موس و م برای قی او مسازی سازه های تن آرمه میت واناسی تفاده از صف ح ات کله وزیت FRP نش اره ن م ود.

1 Fiber Reinforced Polymers

2 Externally Bonded Reinforcement

3 Externally Bonded Reinforcement On Grooves

برائیتاصال ورقیتقویتی FRPبمسطبجتن روش های متحق ی گیری م هار داخلیتن را مورب رس قراردادن دب رس است ایج، شین هادش ده است، که از جمل ه آن ها روش نص خارجی )EBR( گرد کردن ب مس وراخ ه الثار قبال م حظه ای برت مرکزت ن و در و روش های شیارزنی )EBROG(اس تقویت س ازه ملیال فاده نت یجه مقاوم متاص ال دارد. ه مچنین ب افلاز ایش عمق و زاویه ی از ورق های FRP س ازوکاره ای گسیختگیم تفاوعی را درپ ی مهار و نیز قطر خره ها قبی اوم متتاص الفاز ایش می ای د آل

شکل ۱. مهار های FRP متیق یم و خمیده؛ )لف( مهار متیق یم-نم ای جلبی؛ )ب( مهار متیق یم-نمایی وقانی؛ )ج( م هار خمیده-نمای جلبی )د( مهار خمیده-نمای فوق انی ]۲[



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

درسال ۲۰۱۸ کماتیلو و ممکاران فیت ارل رزمای شرس تون ب تن آرم،ی تق ویت ش دمبا ورق ما و م م ارمای FRP رل روسی نمودن د. م دفصل لی آزمایش میچاب می جبی ظفییت خ ش س تون مای تق ویت ش دمبا ورق FRP ادو طلت شکر تحات مللی کسیختگی ورق مای FRP و یا م مار FRP ود. ام داف دیگر ت تی یق ب روس تأ شیرب ارمای چرخ مای کشش فش اب ر ظفییت م مار و ارزیابی لف ادم از ورق FRP ر فیت ارست و فردن دب ر طلی نت ایج مش اه دمش دمب ار مای چرخ مایی آث یر قبال م حظ مای بر ظفی یت FRP دان د. م چ طین ت فاد مان ع دادم م ارمای میش

پشین ماهش دهلست، که از جمل ه آن ما روش نص ب خارجی )EBR( و روش های شیارزنی )EBROG(س تتق ویتس ازه ملیاك فاده از ورق های FRPسازوکار ه ایگسیختگیمتن وعی را درپی خواه د هنلست، کهمت داولت رین آن ج دا ش گی زود نه گام کله،وزیت FRPپیش از درتیابی بیرترین ظفریت کششی آن سلت. ج داش گی زود رس ممکن لستناشی از ایج هجایی ریز ترک ا دبوتن باری ذاری سیکلی، مرزض عیف بین تن و ورق FRP شالتباه در طراحی و اجرابنل د ][ابنابر این مهین طور کب، کاربردن ورق های FRP درتق ویتس ازه ها در حال گمیترش ىل*سىتى*كفادە از بشترين ظفِيت كلچوزيت FRPمرم تلەزم ح ذف و يلبمتأخيران خات ن ج داش گی زود ەنگام ورقىتقويتىيىب ، کارگیری روش ها وسازوکار هایی برای ایجاد م هار کافی می ش د. روش ،ای متحقی پر ای جل رگ بری یب مت اخیران منا ت ج دانس گی زود هنگام ورق FRP وجود دان د، که از جمله آللهواتفاده از م، ارهای FRPبلوزنی مییش د. م، ارهای FRPشام ل یکمردت، الياف، يا يكفبك ەياليافلۇلى مشر دە، نلّىنى تەبە رزيراپوكى يە عنوانماتریس متین د که یکنت ای آن درون خرمی آمادمش ده، داخلِتنقرار گمرت، اینت ،ای دیگر آن روی ورق RP متصل میشود. این مه ارهابر حموب محل کلپردبه دوسودته کلی مه ارهای مقام و مه ارهای خمید مقسیم میشون د. شکل ) ۱ ( ان واع م، ارها ونيز اجزايت شکيل دهن ده مرم مار رانش ان مي ده د .]2[

درت قبق ات گشذ میت اشیر پام ت ره ای م اره ای FRP بر مقاوم مت اصال و مود شکی ت نمون ه ه به طور گیت رد م ورد بروسی قرار گیرت ه طیت در سال ۲۰۰۹ زب ک اوغ ل و و م کاران فوت ار گرش ی م ه اره ای FRP ه پت ز راب رس ی نم ودن د. ت ایج بروس آن ه ان شان می ده ه اف زایش ه ر یک از پام ت ره ای قط ر عمق، و زاویه ی قرار گیری م ه ار داخلت نمت وس طمق او م مت اص ال کاهش می ید . ه چنین مق او م ت بت ن بارای ن م ن ه ه ای که عمق این نمون ه مار ع دد کو چکی مل ت اه میت پیدا می کند؛ زیرا شکی ت این نمون ه مار ع داد کو چکی مل ت ام میت پیدا می کند؛ زیرا شکی ت این نمون ه مار ع در کر دن به می از روش ساخت وض ب، عمق گیرایی م ه ار، گرد کردن به می وراخ ها، قط رس و راخ و زاویه قرار

ب، ه مراه یک یه دورپیچ در م حالتاص للی ت و نب فون هلیون، عملكيون را درشكلپ ذيري ونيروين، اييهبود ميخش د .]5[

درس ال ۲۰۲۰ سکات لی و و ه مکار ان کیفیت نض ب م هار FRP وت ع ميوت ن و فيترا ل رزه اى ب ون الى ت آرم ، ي ق و ي ت ا ورق های FRP را موربرو*سیق*راردادن هبروسی هانشان می ده د تعميوتن للميب ديدهيات نباكيفيت ايين ختى الييه، ظفريت خ شی و شکلپ ذیری ست ون رب خطر ن مان دازد. ه م چنین كيفيت نص ببر عمل كرد من البس م الربس يلتوأثير ك ذار الست؛ انت ظلس ت و نق ویت شدمبا ورق ها و مه ارهای FRP را کاهش می ده د.ض بص حیح مه ارهای FRP اطمینان می ده د که میت وان به ظفیت مورد الخار درت فلتب دون این کهر شکلپ ذیری استفاده ازچن د یه ورق FRPقویت میشون د، یک تکنیکسیار ستنو تقويتش فأثيرم في الاد ]6[.

> مبر این سائات اده از م هار ه ای FRP درتق ویت شری و خمْسىاعضاىيتن آرمەشاملىتىيىيتونىتاصا و دال، ا نشان مي ده د كب ه كاربردن اين مه ارها ظفييتلوب رين ه ايي و شکلپ ذیری و ج ذب ان رژی رب طور قب ل م حظ مای فلزایش مىدەن د ]9-7[.

تبه اجرز بروسی های مح دودی پیرامون أثیر تکنیک تاص ال روق تق ویتیب ر عملکرد مه اره ای FRPم تق یم ان ج امش ده س تو پاوت رهای مه ارهای FRP تن هایی ومرد برسی قرار گرتان د، که مان عمل لی در اج رای طرح مای دقیق و کار آم برای م، ارهای FRPت وسط هن درین سل بر این هایت قیق جامع پيرامونمش خص ات م دارد اي موتقيمن ظير عمق قرارگيري م مار داخل، طول بخشب اب زی وسن ب تسطح قطع م مار ب، روق تقويتى انجان گفت، سلت. يک مئل، كليدى در كفاد، از م، ارهای FRPتعیین مشخصات ماد بلت جه به روشت اص ال و طول روق تق ویتی است، که ج داش گی ورق FRP به طور کامل ح ذف کردہ و مود شکرت راب،گس یختگی روق تق ویتی تب دیل کذهبر مل است حقق ات ان جامش ده و دانش گهل ن عت ی اصف لملنی،تفاده از روششیارزنی از تکنیک مای مؤر برای ح ذف يلب مت أخيران منخت نج داش کی زود ەنگام روق تق ويتی ملتى. نتايج قي ات شان مى دە د كە نھون، ەايىتى ويت شدم،

روش EBROGبرا ن مایی و شکه پ ذیری بیش تری لین ب ه نون،های قویتش دما روش EBR جو، میکن ه، طوری که در مواردی روش BROGتوانایی ح ذف ج ملل گی ورق و

تب دیل مود شکرت، پارگی ورق را دارد ]10-18[. درسال ۱۱ کلرمت وفینژاد وشام لمیب مبررستی أشیر روش شیارزنی،زمانی که ازچن دین یه ورق ERITتفاده می*شود*، پردانچن د. نمون، اييب لهب عاد ۱۲۰×۱۲۰۰ ميليم ترب دو تکنیک EBR و EBROGبه وریل.هی یک، دو وس، یه ورق تقويتشدن د وت-تبارگ ذاري خمش چ مارنقط ماي قرارگرتن د. نض بض عيف مه ارهای FRP، طور قب لت وج می ظف يت مورد نتايج حاكي از آن لست كتاص ال ورق FRP متير هاي تن میتوان هبارن ،ایی و ، م چنین شکلپ ذیری رب، طور مؤری فلزایش دمین فاده از روش EBROGبرایت دمایی کمبا

کار آم دلست و میتوان بارن هایی رلتا ٤٦ ادرص دفلزایش ده د. ، مچنيننمون، مايتقويتش دم، روش EBROG شكايپ ذيري بیش تری راین تب من مون ، مای قویتش دم ا روش BR ترب ، مىكە د ]11[.

درسال ۲۰۱۹ لیمیان فیتارتاصال کله وزیت FRP را ت- تسرعت ،ای متحل فبارگ ذاریب رسی ن مود. ۳۱ نون با اب ۱۶۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی ته ب امق او م تفش اری ۱۶، ۲۸ و ٤٢ تهیهش دبر سل اس نتایج احص ل از آزمایش بر شرم تق یم در نمون، ماىتقويتش دمب، روش EBRم افلزايش سرعتب ار گذاری ظفییتتاصال ورقتقویتی فلزایش مهاید. ه م چنین فلزایش ظفییت اصالب م اوم تبت ابط می عکس دارد. از طفی در روش EBROGبه این علت که شکرت دوت فاق مفى لتد مقاوم ت با ظفى يتاص ال البط مرم تقيم دارد ]12[.

درسال ۲۰۲۲ محم دیپام تره ای فصل ل ه و رطن تای شیار را که درت چی اتپیشین شبات در نظر گرت، میش د، در کنار پاول رهای عمق و عرضشیار مورهبروسی قرار داد. در این ت قيقبراي اليينبار ازگرومشياب رايتقويتن مون مواكفاده ش هبرسل است ایجب کاهش فطرل می بین شید ارما ق اوم متاص ال فلزایش مایید. همچنین تایج حاکی از آن است که مقاومت تاصال درنمون، مباشيارهاى طولى وعضىتقرباً يكمان ست؛ اما مکانیلزمت قالت نش در آن ملتمف اوت می ش دبه این گون، که

DOI: 10.22034/23.5.8 ]

شيه ارهاى طولى يت نش راب ، عمق ت نن متق ل كرد، ام اشيه ارهاى عض یتن ش را درس طبعت نگست رش میده ند ]13[.

درت قیق خلیس تفاده از مه ارهای متقیب ابزنی در کنار این تکنیک برایب ، رمن دی کام ل از ظفیت و رقبق ویتی مورد بروسىقرار خ واه دگفىتت قوتي اتان جامگىرتە روكاب عاىشيار نشان می ده د عمقشیار ۱۰ میلوت رب ارگسیختگی ن مایی ورق تقویتی رلتا ۸۰درص دفازایش مید هد و میتوان دج دلش گی را استفاده نمود )شکل ۲(. برایتعیین مقاوم تفش اربیت نم موفی، ب، طور کامل حذف کندئ بن این عمق ۱۰ میلیم ترب، عن وان عمق، مینه در تکلیکشیار زنی ارلئش دبل و جبه این کپ ش ش بتن معمو از این قردار بیشت رست، محدودیتی در روش EBROG برای قیویتسازه ملیتن آرمه وجودنخ واه د هٹلت. تحققیاتگشذت،ریش ان داده س ت که عمق کمتار از ۱۰ میلی مقار ج دلش دگی ورقیتقویتی ازسطبجتن رب، ، مرامثولت، و امکان استفادهی کامل از ظفییت ورقیتقویتی در این طلت وجود نخ واه د هل ت ف زايش عرض شيار اع مقلب ت منج رب مف زايش بارگسیختگین هایی میشود؛ اما افزایش عرض شیار بیش از ۱۰ ميلى مقرت وصيه ن ميش ود؛ زيرا ايجاد اين شيار ميتوان داسيب زيادىببەتن وارد كردە و ازطفى مليلانتفادە از چرىبىلوككى رب مقدرى فازايش دهد، كه از نظق التص ادىب موف منس ت ]-16 17لجانب ر این در اینت حقیق ازشیارهاییب عمق و عرض ۱۰ میلیم، وطولتاص للی کته ر ازطولتاص ال مؤرستیف ادمش دس ا امکان، رسی علم کرد م مار دانیت مای ورقیتق ویتی، برای ح ذف ج داش گی ورق ازس طبجتن وج و دشوات مشل د.ع و بر آن، در اعضایی ازسازهانین تیر مای T شکل، ممکن است آمین طول تاص ال مؤر امکان ذیر نبتل دب کارگیری م، ار ای FRPبادزنی یکی از راه لملیتفاده ازبثیترین ظفیت ورقیتقاویتی در این طلت م اره ای منظ وب روس یت رج فی ت ار م ، اره ای م م تق یه م پ س ازض بم، ارها روی ورق های FRP،ن مون، متحت آزمایش در ش سمتقیم قرار می گیرند. در مح دوده پژوهش عمقگیرایی م هار، سنېتسطح قوطع مەارب، ورقىتقويتى، چەونگى قرارگىرى قس متب الجزنی م مار روی ورقتق ویتی و روش ض ب ورق تق ويتى ومرد برسىق رار خواهن دگفوت.

# ۲. مراحل آزنهایگاهی ۲-۱-شخ اتن مقده اوتن مودتفاده

براى ررسى فيت الاتصال روق تق ويتهب وسطيع تدناب اد نمون، ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی بهر درن ظرگرت مش هد ه به ج هت بررسی م، ارهای متقیم بیرون آم گی، ان دازه ۸۰ میلی تر در مرکزنمون،قرارگف تت اوان ازنمون برای ان جام دو آزمایش ۳نمون، طریت وان، ای بالرتفاع ۲۰۰ وقطر ۱۰۰ میلی قر از مر مخلط ت میه شد. آزمایشفشاریتک محوره روی "ن مونچس از ۲۸ روزقرارگیری در حضیچه آب، ان جامش د.

شکل ۲:نمون، های مورداستفاده هت حقیق



Fig. 2. T-shaped specimens

# ۲-۲- شخص اتاری اف بو و کسی م اوردت ف اده

ب، منظور تقويتن هون، واكلم وزيت مردل - شردد دم الاياف رىجىن )CFRP( موىيدىت فادەق رار گۈت. ورق ملى ت فادەش دە، مصولشركت Sikawrap-230C مصولشركت المتجارى SikaWrap-230C مىتەن د از رزين براىلىتصىدال ورقىب،مى «طىجتنو نيزب،عنوان ماتریس در کل**پ**وزیت FRPىتفادە مىشود. د**رت ت**ىیق حصرر از رزيال وكسى Quantom-EPR3301 في دشركتوا كتوم ايران س تفاده ش د. این رزین از دو جزء A و T شکیل ش ده است. سنبت جزء 4، هماليوب اكل، اللي تبرلل اس اكتلاوگ، زمان لازم برای ع م ل آوری رزیالپوکی دی ۷ روز در دمای ۲۵ درجه

مجل، علمی <del>پ</del>ژوهشی م **ن د**سی ع مران م درس

لمنیتیگراد مهیش د. ه مچنین میزان رزین صفی پشین هادش ده توسددطش درکتواکنت و مین ۲۰۰ تا ۲۰۰ گلارم به ازای هر متهر مهاع للیاف سلدت. ش دخس دات مکانیکی الیاف و رزیالپ وکل دی موسودت ف اده در جدول ) ((نش ان دادمش ده مل ت ]19-18[. ا

ورداسىفادە	ں و رزین <i>پ</i> اوک <i>ل</i> ی م	، مكانيكىالياف	<b>ول ۱</b> . څر <u>خ</u> صات	جد
Material	Modulus of elasticity (GPa)	Tensile strength (MPa)	Thickness (mm)	Ultimate strain (%)
0.1 11				

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

۲-۳سدىگاە آزمايشىرىشەتھە

نمون، ەلپس از قماومسازىب، مِسْيلە كلْڥُوزىت FRP داخل سەتىگاە آزمايشبرشىمىتقىيم، مج،زب، يک جک ەيدرولىكىبا ظفىيت ٣٠٠ كىلونۇيتونقرار مىگىرند )شكل ٣(.

#### شكل ۳ندمتىگاه آزمايش رشي متقيم



Fig. 3. Single-lap shear test setup

#### ۲-٤-بطقبەن دى توقويتىن مودەى آزهايىك ادى

نامگ ذارین ون ، مایتق ویتش دامیات فاده از م، ارمای اد بزنی مبصورت T-d-f-n سلت که T روش نض ب )روش نض ب خارجی یا EBR و روشض ب خارجی رویشیار یا EBROG(، n طولبلېزنی، مکڼېتسطح قبطح م مارب ورقیتقويتی و ش ماره تکرار میش د. ه مچنین نهرن ه اییب عن وان نهرن ه های شاه د برای رسی عملکرد م هلون البیات فاده از یک یه ورق RPتقويتشدن د.نامگ ذاري ايننمون، مبصورت T-S-n مي بنل د که T روش ض ب ورقهتق ویتی و اش ماره تکرار س ت. در تمامی آزمایش هلبت می نکونیب مض خامت ۱۳۱/۰، عرض ٤٨ میلی ته ر و طوانتاص ال ۷۰ میلی ته رب کارب ردمش د. ه م چنین عمق گیرایی م مار درتمامی نمون، مایتق ویتش د**مب**اك فاده از م، ارەايىم مىقىب بولر ٥٠ مىلى ىقەر درن ظر گىرت مش دەس ت. در ن ونه های قویتش دمبه روش EBROG از دوشیاربا ع مق و عرض ۱۰ میلی توب فصل ل ب رتعب ر ۲۰ میلی تورت ف اده شدب رای راستی آزمایی نتایج، در آزمایش دوب ار ان جام گفت. درص ورت وجودخاتلاف غيرق قى بول درنتايج، آزمايش تكرارش دبه منظور تقويتن مون ، مراحل زيران جام گفت: مەردادگرکيراق و داود مېتىفىينژاد

۱( در روش EBRتاك دا یهنازکی ازسطىجتا**نب**یاتفاده از سن گسایشب شدات، میش و هتملن گ دان، مای رویسط ح ن من ن مایانشود؛ در روش EBROG محلشی ارما وقرارگیری ورق FRPبسل افاده از کلیس روی سطح ن مون، ع تک ذاری میشود.سپسشی ارەب، ورلىمدىتگاەشىيار زن در م-ل ەاى ع تگ ذاریش ده ایجاد می رون دبرای ایجاد شیار ها ازصف م سن گېگرانايتىتفادە مىشود )شكل ٤(.

> شکل ٤. آمادهسازى سطحن مون ، ماى آزملى گامى؛ )لف (نمون ، ماى EBROG؛ )ب(نمون، ماي EBROG



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

وسيلمت، داخلت ن و قيقاً ، م رللټلبا مح لقرارگيري ورق FRP ايجاد ميشود.

۳ (سطح آمادمش دەنۇف،، ب، وسيل، متىگە ب م ب ،وا از ەرگون، لَاوگى وگرد وبغر تميز مىشود.

ال یاف رکمبن SikaWrap-230Cمجامب عاد موردن یازبرای ساخت م ماربریده میشودپس از خارج کردنن خ مای گەدران ده بين الياف درقس متبعد زنى م مار، أن خش از م مار كه داخيلت ن قرار می گیربه وسیله رزیش اب اعش ده وبه دور یک چوبنازک پیچیده میشود. مراح لساخت م هار در شکل )۵(زش ان دادمش ده ىلى ت.

٥( م مار، داخ ل فحرمپرش دم ا چه ب قرار دادمش دم و چ ب طرفلی خارجش ده از اطراف آن شدات میشود. نصره ا

با زاویهای مکتر از ۱۵ درج دنی متب مسطع حتن اجراش دن متا از خروج چه ب از فر ، مجل رگیری، عمل آید ) شکل ٦-لف (.

شکل ٥. نحوه ی ساخت مه اره ای FRP بلد زنی؛ ال ف رش ورق ه ای RP ب مباعاد موردنیاز؛)ب( ل ل ه کردن مهارب ه دور یک چوبنازک



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

۲ (ال یاف رک بن SikaWrap-230C که قیس مت طول آزاد آن روقۇب لىتلى اىمش دەىلىت، روىسط - ىتلىخ ت بە رزيىن قى رارگەنىت ، با رزياب وكلى تلب اع ميش ود. براى جل وگيرى از ان حراف للياف، رىلىت اكآن سواك فادە ازگون يىلىت رك ش.

٧باقرار گىرتن ورق FRP روىسطح، لليافىب خشباد ۲ خررهای اقطر ۱۲ میلی مقر وبه عمق ۵۰ میلم تربه بزنی م مان روی سطح ورقب و سله ی رزیم سع ل میشون د )شکل ٦-ڡ(.

شکل ٦: آم ادمس ازی نون ه ا



Fig. 6. Preparation of specimens

ن ون ملاس از آمادمی از یب م دت ۷ روز برای عمل آوری درشرایط آزمٹلی گاہقرار دادہ میں ون دبرای ان جام تکنیک PIV،

مجل، علمی <del>پ</del>ژوهشی م **ن** دسی ع مران م درس

بك دارن گىڧىد اع مالش دىپس از خشكش دن،رن گ ەاىآبى، سبزىقرمز و مشكىبىصوت ىقط ماھاشىدىشدن د )شكل %.

**شکل لا**قویتنمون، های آزم<del>ا</del>ییگاهی



Fig. 7. Strengthening of specimens

۳. گنیکسرع تسنج چ صویری ذرات (PIV)

در این تقیقب، ج، ت ارزی میدان لغزش از تکنیک PIV استفاده شده مل تب، ج، ت ایجاه بفل ترن گی من ل ب ج، ت پردازش عکس ما، دبول دارن گ سفیبر روی سطحن ون، اع مال ش دپس از خشکش دنرن گمف ید، رن گ مایآبی س بز، قرمز و مشکی بحص ورت شط مای بر روی سطح پنل یده شدن د. در حین





Fig.8. Test placement

شکل ۹: ال فا بندی فرن ، ج ، تانج ام تکنیک PIV



Fig.9. PIV technique

درسال ۲۰۱۲حسینی و مکاران از این تکنیکبرایبروسی میدان جبه جالیمیتفادهنمودن د. آن هبمنظور میچاب میلغزش ورق FRPمتغییر مکلبن دایتاصال ورقبتقویتی رانهی تبه تغییر مکانسمت رست و چپسطیجت نیبال فاده از ایوط می ((به درت آوردن د ]22[.

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

### ی تا یج آزش ایک اوبی

در ايرب خش آزمايش ماي رش مرد ق يمان جامگرت، روى ن د ن ه ایجتی و یتش دب رسی م کی ردن د. در آغاز، مقاویق اتص ال روق تقویتی درن ون ها و مودگس یختگی آن هارائه میشود. در ادا مەمنحنی مایبار لغزشنمون، مای آز ملیْںہدگاہی مورد برسىقرار مى گيرند.

### ٤-١ مقاوم تع الن مق داى آزمايك ادى

درص دفف زایش مقاویق انص دلل نهدب یت، ن مون، های شردداه د در جدول )۲(ارائ،ش، دەسل،دت. ەم چنىن،مىنظ ورخاتص،ددار، مود این صورت که C⊄یانگر ج داش گی زود **ن**گامروق تقویتی

ازس هطبجتن، Fبیانگر ج دلش ه گیبین ورقیتق ویتی و م مار بلېزنى و FRپاگى روق تقويتىرا نشران مى دە د. نمون، مای BR-Sهج،عنواننمون، مایشامدن مبا یک یه ورق FRPقويتشدن د. مودگسيختگي نون، داي شاه هباتو جه ه شکل ۱۰ للف ج داش گی ورقیتق ویتی اس تبر اس اس جدول ۲، در روش BBTتفاده از م ها رهایی این بتسطح قبطع م هار ب، ورقبتق ویتی کباب رمتوان ایی فاز ایش مقاوم ستاص الت اح دود **۳۴**رص<u>هن</u>ې به نېون. مایش اه د را دان د.

برایبروس دی عملکرد م مار مای FRPفتایج لمص ددل از گسیختگی این نمون، مب صورت ج داش گیبینسط ح ورق و آزمایش رش سه سقیم شرام ل مقاوم تلت صال، مودگس یختگی و بتن وسط چرق با م مار و ده س ت. در ادام هفاز ایشین ب تسط ح قطع م ماب ورقتق ویتی مورب رس یق رار گف ت فل زایش سط ح قطع م هاربه ج ه تغلزايش ط مخاص ال و رقبتق ويتي ب خ ش ب اد گس دیختگی نمون ا مب اهلته از حروف لاتیربیان میش دودب · بزنی م مار وتوان ایی اورت قالب مقتون ش، مقاوم متتاص ال رط مور چش گمیری فازایش می ده دببه طوری که فازایش حدوداً ۸۸ درص دىدر مقاوم متناص ال مشاه ده می ود.

Test specimen	P <sub>test</sub> (kN)	P <sub>test,avg</sub> (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

ج دول ۲. نتایج نمون ، ، ای آزمیل گا می

Table 2. Results of single-lap shear tests

177

#### مجل، علمی تپژوهشی م **ن** دسی ع مران م درس

دورب سیت وس وم کش م اره ۵ کس ال ۱٤٠٢

با این حال، مود شکرت در این طلاتتغییری نکرده و ملب، نمون، مای EBR-60-2، ج داش کیتفاق فیل د. مود شکرت نمون، مای شراهد و نمون، مای EBR-60-2 و EBR-60-3 در شکل )۱۰(نشان دادمش دەللىت.

شکل ۱۰. مودش کر تزمون ، مای آزمایش؛ ال ف(نمون ، مایشا ، د؛ )ب(نمون، مای EBR-60-2؛ )ج(نمون، مای EBR-60-3



(a)



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

بر مل است حقق ات سکات يلو و ٥ مکاران در سال ٢٠١٩ ]6[، ن مون، مایتق ویتشدد دم اله بق فاده از م، ارمای RPبا زاویه ی كته ب خ شب اب زنى م دار، مق ادير ب ارن دايى يشترى رك جو ، ب ب راين ت اده از م ، ار داي اب فى در كذار تكنيك شياز نى ، ج دا کردلان د. زیرا در این طلتمقادیرالیاف در راستاینیروفلزایش فيلتوه تنشب شددي كاهش مماي هبنكر ايردر تقويتن هونه ا س دعیب ایرب ود که زاویه کلب بزن یب مگون ه ای بنل ه د که از ۲۰ درجه کمټرش ده و م هار کام بر روی روق تقویتیقرارگیرد. درتمامی نعونه ها، م مارب اعمقگیرایی ۵۰ میلی متهر مورد استفادهقرارگۈت.ټايج حاکي از أن لست که اين ع مقهتوان ايي

م ج الثتقالة نشهبهت راشولت مب دون این که دچاب یرون کشیدگی شود. ع مق گیرایی ۵۰ میلی نقر معمو در قسمت پوششىتنقرارگىرت، سل ت، ع بر آنقطر خرم ١٠ مىلىمتر بوده و درنواح ی فو ازسازه ملیتن آرم قب ل اجرا میشان د. بلت و ج مبه این که روش EBROG درب مت أخیران هنم تن و یا ح ذف ج داش گی روق تق ویتی عملکر هطوبی دارد، در ادام ه یت ج یق اش م ار م ار م اور قب این روشب، م مراه م م اره ای FRP ومرد برسىق رارگۈت.

ممالگون، که شکل )۱۱( نشران می ده د، در ن**م**ون ه های EBROG مودگس یختگی در نمون، مای شراه د، ج داش گی ورق تقویتی و درن مون، مایتقویتش دمبالك اده از م مارم ای FRP لبمبزنی پارگی ورقتق ویتی ملوت. مبه ذکر ملوت، ع دم گسیختگی م دار در نون دایتقویتش دما م اردای معتقیم نشان دەن دە كفايت سطح قىطع م مار ازرت قال نش ماب مت نسلت.

**شکل ۱۱**. مودگسیختگینمون، مای EBROG؛ )لف(نمون، مایشا، د؛ )ب( نمون، ماي EBROG-60-2



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

ش گی ورقتقویتی را حذف کرده و امکلانیتفاده از ظفییت كامل آن رافراه م مىنمايد. نمون، مايتق ويتش دلمبالتفاده از م، ارەائىمەتقىم،فلىزايش ٤٢ دە دى رب، طور ميانگىنىنبت به نون، مای شاه مت جب، کردان د. مقایس، تایج این گرومبا ن ون های EBRنش ان می دامه، تفاده از روش شیارزنی امکان ح ذف ج دلش کی زود ہنگام ورقیتقویتی رہامقادیر کتہری از

م، ارهای بلوزن فی راه م می کند به ع وه در این گروه نمون ه بار ن ه ایی بیش تری رات ح مل می کند د. م چنین قی اوم ت اص ال ن مون ه ه ای تقویت ش ده با تکنیک EBROG به م مراه م ه اره ای سم تقییم فلزایش ۱۳۳ درص دی ولن ب ت ب ه م مون ه ه ای ش اه د EBR نش ان می ده د.

#### ٤-٢ نمحن يارل غزشن موه داى آزرايكا دى

فیت ایت اص ال ورق FRP مسط میت ن را میت و النبیات ف اده از منحنی مایبار-لغزش ارزیابی نمود.لغزش ازپاهلت رمای مه م آزمايش رشرم متقيم لل ت كلموات فاده از آن ميت وان الموات رهاى دیگریافهان د کرنش میت ش رب ه هرت آورد. ه مالگون ه کمپیش از ايرب يانش د، در ايرت خ يقبراي ارزيابي ميدانل غزش ازتكنيك PIV-ئەدەش دەلىرتبەمنظور ايجادىغىلى رنگى مىنل ببراى پردازش عکس ها، بوك دارن گمفيد روىسطحن مون، اع مالش د. پس از خشکش دنرن گمفید، ن گ ماکمبین بزقی مز و مشکی ب،صورت نقط،ای روی،سط حپشیده شدن د. در حین انجام آزمايش ازنهونه عكس گرته ميش ودپس ازپايان آزمايش رش سمتقدم، عكس مبراى انجام أناليزنيازب المبنن دى دران د. در اين ت جهیق از له مان مایی ب اب عاد ۱۲۸ ×۲۸ اپ یک لب افصل ل ، ۲٤ پيکالهليتفادهش ده مليت. واح د طول در اين عکس مپيکي ل س تباان جام PIV، لغزشی دایت اص ال ورقیتق ویتی در هنگام بارگ ذاری مهرجابه میشود. از طرف دیگرنیروی اع مالش دمبه نمون، در حین آزمایش لعبولتفاده از نیروس نج مای دیگاه، ت میگردهب دیتیرتیبمنحن یبار لغزشبرای ،ر نوم، ب، هرت می آید. در شکل ) ۱۲ (من حنی مای ار - لغزش نمون ه مای EBR نش ان دادمش ده است. در این منحنی ها فست ارب ار - اغ زش ن مونه ه ا را میتوانب، دوقس متنتقسیم کردب، اینصورت که درقس مت اولنموداربارن مون بشيب زياهتا في دارى نزديكبه بشترين مقاوم يتاص الفلزايش م اي د. در اين طلت ن مون ملغ زش كمي در ح دود ۱۵. میلی تقرر رات جبه می کند. قس مت اول نمودار موس و مبع خ ش سل ت یک سل ت پ س از آنمن ح ن یب ای فیت ار، واردش اخ، ایب اش یپ سیار کمټ ر از قس مت اول میش ود. در این قس مت، ن مون ه لغزش های زیادی رات ال حظمی شکر تت رج ه مىكند.ل-ظ ، يالحظاتى از نمودار كەشىب-قىسمت اولىتغيير

می کند، زمانشروع ج داش گی دستاصال FRP مسط حس تب ر سل اسرمن حنی مای بار لی غزش در شکل ) ۱۲ (، در ن مون مایی که ورقیت قویتی عد از تاص الب مسط جا روش BB عبیات فاده از م م ارمای سم تقییم سق ویت میشون د، علاو مب ر فلزایش مق او مت ساص ال، قی دارل غزش ن مایی با یی رسان ب سب من مون مای شاه د ست مل می نکن د.





Fig. 12. Load-slip curves of EBR joints

مچنین ایرمن حنی شددان میده د، درنمونه های قویت ش دبامه ارهای می تقییمنی بت سطح قطع م مار کمق رلم غزش بیش تری رس ب می ش ود بنا زایش نی ب ت سطح قم طع م ماربه ج م تفاز ایش سطح اتص ال روق تق ویتی و خش بلبزن ی م مار و ت و نایدر ان قتال بقتون ش، قی اوم تلتص ه دال رب طور چش هد م گیری فاز ایش داه و مقادیر لغزش را کاهش می ده د.

منحنی بار – لغزش نمون، مای ق و یت ش ددد ده به روش EBROG درش دکل ) ۱۳ (رش دان داد مش د ده سل دت. این نم و داب ر خلاف نم و داره ای گ رق م ب ص دد و رت کام لاص ددع و دی و ده و فیت ارتق رب اً دو خطی نمون، مای تق و یت ش هد دم ، روش BBB را ن دارد. نم و دارب ار ل غزش این گ رو مش دام ل یک ش ها خص دع و دی اس ت، که ش یب آن دبوت دای نو دار ب یش تاز انت مای آن اس ت. در این گ رو مت اوت زیادی درل غزش نمون، مای ش دد دا ه د و نمون، مق ادیرل غزش دم از مای می تق یم م ش اه ده نمی ش و دب ه علاوه، مق ادیرل غزش در نمون، مای تق و یت ش هد دم اس ه تف اده از

مهارهای باد بزنی به روش EBROG، به میزان قابل توجهی کم تر 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. منحنی های بار- لغزش نمونه های 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 می باشد.

مقاوم سازی با ورق FRP از سایر روش های متداول سریع تر بوده و نیازمند تجهیزات کارگاهی زیادی نمی باشد. هم چنین در طی مقاوم سازی نیاز به توقف کاربری سازه نبوده و اعضای مقاوم سازی شده در مدت کوتاهی قابل سرویس دهی می باشند.

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

فولادی، ورق های فولادی بر وجوه کناری تیر، بولت های فولادی و ورق های FRP به صورت دور پیچ استفاده می شود. استفاده از مهارهای باد بزنی FRP نیز یکی از روش های مؤثر در حذف جدا شدگی می باشد. این روش در مقابل سایر روش ها به دلیل استفاده از میزان الیاف کم تر، سرعت اجرای بالاتر و نیاز به تخریب کم تر بیش تر مورد استفاده قرار می گیرد. نکته مهم در عمل کرد مناسب مهارهای FRP باد بزنی دقت در اجرای مهار می باشد، تا اتصال مناسب بین سطح بتن و مهار و هم چنین اتصال مناسب بین مهار و ورق FRP صورت گیرد.

### **۲. نتیجه گیری**

استفاده از بیشترین ظرفیت ورق تقویتی، مستلزم حذف و یا به تأخیر انداختن جدا شدگی زود هنگام آن با به کارگیری روش ها و سازوکارهایی برای ایجاد مهار کافی می باشد. از موش های 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 می دهد:

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 در صد نسبت به نمونههای شاهد مشاهده می شود. 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 چشم گیری 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 مەردادگرکيراق و داود مېتىفىيىنژاد

- [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 Hajialilue-Bonab, M., 2012. Displacement measurement of bending tests using digital image analysis method. Int J Eng Technol, 4(5), p.642.

س سهتفاده از م مار مای مرهتقیم در روش EBROGفلزایش ٤۲ درص د دی به طور میانگین ن دب تبه ن مون مای شددا مت جب کردان د. در این نمون مانی بت سطح قطع ماو به روق تق ویتی بول ۲ درن ظرگرت مش د.

مکل لتفاده از روش شیارزنی امکان ح ذف ج داش گی زود هنگام روق تق ویتی راف راهم می کند.

۵ مق او م تلتص ددال ن مون ، ه ای تق و یت شدد دمبا تکنیک EBROGب، ، م راه م، اره ای مرد تق یم خلز ایش ۱۳۹ در ص د دی را سن ب تب، ن هون ، ه ای ش اه د EB۲ ش ان می ده د.

لا مقادیر بی هدترین غزش نون ش درط ول روق تق ویتی، در نون هایتق ویت ش دهبیل لتفاده از مه ارهای بلدزن ینی ب تبه نون های شاه دفلزایش چش کمیری دارد.

۷ درت مامنمون، دا عمقگیرایی ۵۰ میلی و تون ایان تق ال کاملتن ش ببه تن را هلدت، و م دار دلچ بیرون کی دیدگی شد ده سل ت.

#### ا تقاع ارضم نفاع

نویی دهن دگان اع م می کنن د که میچن وعت عارض مضلعی وجود ن دارد.

# ۷. 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] Llauradi, P.V., Fernendez-Gimez, 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 Quantom-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.