بررسی آزمایشگاهی مقاومت چسبندگی بین بتن الیافی پلی پروپیلن و میلگرد GFRP با قطرهای مختلف با استفاده از آزمایش بیرون کشیدگی (*Pull-out*)

سید محمد موسوی خطیر

کارشناس ارشد سازه، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحدآیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی،آمل، ایران.

khatir1man@yahoo.com

چکیده

استفاده از میلگردهایFRP در صنعت ساختمان سازی، از جمله روشهای نوین ترمیم و مقاومسازی در عصر حاضر محسوب میشود. از طرفی طرح اختلاط بتن و شکل سنگدانه ها و نحوه قرار گرفتن میلگردهای FRP درخواص مکانیکی بتن از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. الیاف پلی پروپیلن به عنوان افزودنی، جهت مسلح نمودن انواع بتن و مخلوط های سیمانی و گچی مورد استفاده قرار می گیرد. مصرف الیاف پلی پروپیلن، باعث افزایش مقاومت خمشی، کششی، برشی و سایشی در بتن الیافی می شود. در این تحقیق ارزیابی آزمایشگاهی مقاومت چسبندگی (*Bond Strength*) با توجه به اندرکنش میان سطوح میلگرد *GFRP* با قطرهای مختلف و بتن الیافی پلی پروپیلن صورت گرفته است که با تست بیرون کشیدگی میلگرد *GFRP* از ۴ نمونه استوانه ای ۳۰۰×۱۵۰ میلیمتر در آزمایشگاه انجام شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که مقاومت چسبندگی میلگردهای *GFRP* و بتن الیافی پلی پروپیلن بیشتر از مقاومت چسبندگی میلگردهای فولادی با بتن معمولی میباشد. همچنین با افزایش قطر میلگرد، مقاومت چسبندگی میان بتن الیافی پلی پروپیلن و میلگردهای *GFRP*، ۰,۲۵ درصد کاهش مییابد.

واژه های کلیدی: بیرون کشیدگی، بتن الیافی پلی پروپیلن، اندرکنش، مقاومت چسبندگی، میلگردGFRP

۱. مقدمه

الیاف پلی پروپیلن هنگام مخلوط شدن با بتن، باعث ته نشین شدن و افزایش وزن بتن نمی شود و محیط قلیایی بتن را از بین نمی برد. الیاف پلی پروپیلن با برشهای طولی ۱۲ و ۱۸ میلیمتر، جهت مصارف بتن و با برش طولی ۶ میلیمتری جهت ملاتهای گچی و نازک تولید می شوند. همچنین از الیاف پلی پروپیلن، بصورت بی رنگ و یا رنگی در پوششهای دیواری و رنگهای نیمه جامد، بعنوان تزئینات داخلی ساختمان استفاده می شود.بکارگیری بتن غیر مسلح به علت تردی آن بغیر از سازه‌های وزنی عملاً کاربرد چندانی ندارد. این عیب عمده بتن در عمل با مسلح کردن آن بوسیله میلگردهای فولادی یا آرماتور برطرف می‌گردد. اما از آنجا که آرماتور منحصراً بخش کوچکی از مقطع را تشکیل می‌دهد تصور اینکه مقطع بتن یک مقطع ایزو تروپ و هموژن است چندان صحیح نخواهد بود. به منظور ایجاد شرایط ایزوتروپی و نیز کاهش ضعف شکنندگی و تردی جسم بتن تا حد ممکن در چند دهه اخیر از رشته‌های نازک و نسبتاً دراز که در تمام حجم بتن بطور همگن و درهم پراکنده می‌گردد استفاده می‌شود. کاربرد اینگونه رشته‌ها یا الیاف در بتن و بطور کلی در ملات‌های سیمانی که مورد استفاده است، می‌تواند الیاف شیشه‌ای، پلی اتیلنی، فولادی، آزبست و یا نایلونی باشد [۱۴].در سال های اخیر مواد FRP به شکل های میلگرد تولید شده اند و در اعضای بتنی به جهت تقویت به جای فولاد مرسوم استفاده می شوند. این میلگردها دارای خواصی از قبیل : مقاومت کششی بالا، مدول الاستیسیته پایین تر نسبت به فولاد، دوام بالاتر، وزن سبک و نفوذپذیری الکترومغناطیسی هستند[1]. میلگردهایGFRPبا سطح صاف و همچنین آج دار برای بهبود چسبندگی در بتن تهیه می شود. مقاومت چسبندگی برای سازه های بتن آرمه از موضوعات مهم و

بحرانی است. نیروهای بکار رفته در میان بتن و میلگردها بوسیله چسبندگی (عمل وابسته به خواص فیزیکی و شیمیایی اجسام)، اصطکاک و ظرفیت باربری (عمل های مکانیکی) انتقال پیدا می کنند[2,3]. اولین بار مطالعات در زمینه چسبندگی میان بتن و میلگرد را آبرامز انجام داد. او توانست نشان دهد که در آرماتورهای آج دار، نیروها از آرماتور به بتن اطراف به صورت فشاری و مورب منتقل میشود. کیفیت بتن و نوع بتن، قطر میلگرد، نوع بارگذاری، پوشش بتن و همچنین هر گونه تغییرات در طرح اختلاط، روش انبار کردن و نگهداری از بتن نیز از عوامل تاثیر گذار بر روی پیوستگی است[4,5,6,7]. برای بررسی میزان مقاومت چسبندگی میلگرد با بتن، یکی از ساده ترین و ارزانترین و سریع ترین راه، آزمایش بیرون کشیدگی(Pull-Out) می باشد.[8]در راستای تحقق هدف این تحقیق، ۴ تست بیرون کشیدگی با میلگردهای GFRP با قطرهای ۸ و۱۰میلیمتری و بتن الیافی پلی پروپیلن صورت گرفته است. اندازه این قالب ها ، نمونه استوانه ای ۳۰۰×۱۵۰ میلیمتر بوده است. ضمن اینکه این نمونه ها تحت بارگذاری استاتیکی یکنواخت بصورت کنترل شونده مورد آزمایش قرار گرفته اند.

۲. برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

- آب

آب مصرفی در ساخت طرح مخلوط نمونه های آزمایشگاهی این آزمایش، آب شرب (شهری) می‌باشد. کیفیت آب در بتن از آن جهت حائز اهمیت است که ناخالصی‌های موجود در آن ممکن است در گیرش سیمان اثر گذاشته و اختلالاتی به وجود اورند. همچنین آب نامناسب ممکن است روی مقاومت بتن اثر نامطلوب گذاشته و سبب بروز لکه‌هایی در سطح بتن و حتی زنگ زدن آرماتور بشود .در اکثر اختلاط‌ها آب مناسب برای بتن آبی است که برای نوشیدن مناسب باشد.

- سیمان

سیمان مصرفی در نمونه های آزمایش این تحقیق، از نوع تیپ ۲ بوده و کارخانه سازنده آن، آبیک می باشد. جدول (۱) آنالیز شیمیایی و فیزیکی سیمان تیپ ۲ را نشان می دهد.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی و فیزیکی سیمان تیپ ۲

Description %	ترکیبات شیمیایی(درصد)	پرتلند تیپ ۲
Silicon Dioxide (SiO_2)	اکسید سیلیسیم	20.79
Aluminium Oxide (Al_2O_3)	اکسید آلو منیوم	4.76
Ferric Oxide (Fe_2O_3)	اکسید آهن	3.86
Calcium Oxide (CaO)	اکسید کلسیم	62.28
Magnesium Oxide (MgO)	اکسید منیزیم	3.22
Sulfur TriOxide (SO_3)	سولفور تری اکسید	1.89

Sodium Oxide (Na_2O)	اکسیدسدیم		0.37
Potassium Oxide (K_2O)	اکسیدپتاسیم		0.68
Free-CaO (CaO.f)	آهک آزاد		0.82
Chloride (Cl)	کلر		-
Loss on Ignition (LOI)	افت حرارتی		1.88
Insoluble Residue (I.R)	باقیمانده نامحلول		0.51
ترکیبات فیزیکی			پرتلند تیپ ۲
Fineness (Blaine Test, cm^2/gr)	بلین		3081
Retained on Seive # 170 (90 µm)	باقیمانده روی الک ۹۰میکرون		5.7
Autoclave Expansion	انبساط طولی		0.21
Water or Normal Consistency	درصد آب		23
Initial Setting Time (Vicat Test, minutes)	زمان گیرش اولیه		153
Final Setting Time (Vicat Test, minutes)	زمان گیرش ثانویه		212
Compressive Strength (kgf/cm2) 2 days	مقاومت فشاری ۲روزه		160
3 days	مقاومت فشاری ۳روزه		208
7 days	مقاومت فشاری ۷روزه		333
28 days	مقاومت فشاری ۲۸ روزه		492

- الیاف پلی پروپیلن

کاربرد الیاف پلی پروپیلن از ترک خوردگی و جمع شدگی بتن بخصوص در سنین اولیه آن جلوگیری می‌کند. تولید بتنی شکل پذیر با الیاف پلی پروپیلن در بتن الیافی دارای شکل پذیری بسیار زیادی می‌باشد و هرگز خرد نمی‌شود. الیاف پلی پروپیلن آب گریز است و درصد جذب آب آن صفر می‌باشد. بنابراین هرگز نباید از افزودن آب اضافی جهت افزایش روانی بتن استفاده کرد. الیاف را می‌توان در هر زمان به میکسر اضافه نمود. همچنین می‌توان الیاف را در انتها به آب طرح اختلاط اضافه نمود و داخل میکسر ریخت که در این صورت باید برای رسیدن به مخلوط یکنواخت، ۳ تا ۴ دقیقه دیگر هم زدن ادامه یابد. در صورت استفاده از

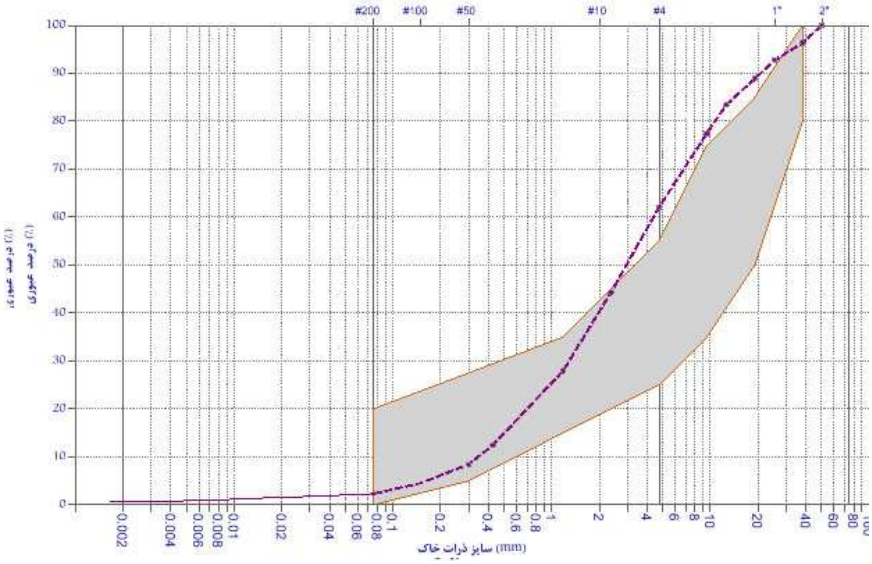
بتن آماده، می‌توان الیاف را به تدریج داخل تراک میکسر ریخت و هم زدن در دور تند باید به قدری ادامه داشته باشد که از پخش کامل الیاف داخل بتن مطمئن شد. مقدار مصرف الیاف با توجه به عملکرد مورد نظر، از ۰٫۶ تا ۳ کیلوگرم در مترمکعب متغیر است.جدول شماره (۲) مشخصات فنی الیاف پلی پروپیلن را نشان می دهد.

جدول شماره ۲- مشخصات فنی الیاف پلی پروپیلن

وزن مخصوص	0.91 گرم بر سانتیمتر مکعب
دمای ذوب	165 درجه سانتی‌گراد
میزان ازدیاد طول	80%
مقاومت کششی	MPa 400
حالت فیزیکی	به صورت الیاف

- سنگدانه‌ها

سنگدانه‌ها در بتن تقریباً سه چهارم حجم آنرا تشکیل می‌دهند از اینرو کیفیت آنها از اهمیت خاصی برخوردار است. در حقیقت خواص فیزیکی، حرارتی و پاره‌ای از اوقات شیمیایی آنها در عملکرد بتن تاثیر می‌گذارد. دانه‌های سنگی طبیعی معمولاً بوسیله هوازدگی و فرسایش و یا به طور مصنوعی باخرد کردن سنگ‌های مادر تشکیل می‌شوند.[۴]بتن عموماً از سنگدانه‌هایی به اندازه‌های مختلف که حداکثر قطرآن بین ۱۰ میلیمتر و۵۰ میلیمتر می‌باشد ساخته می‌شود. به طور متوسط از سنگدانه‌هایی با قطر ۲۰ میلیمتر استفاده می‌شود.[۵] توزیع اندازه ذرات به نام «دانه بندی سنگدانه» مرسوم است. به طور کلی دانه‌های با قطر بیشتر از چهار یا پنج میلیمتر به نام شن و کوچکتر از آن به نام ماسه نامگذاری شده‌اند که این حد فاصل توسط الک ۴٫۷۵ میلیمتری یا نمره چهار مشخص می‌گردد. حد پایین ماسه عموماً ۰٫۰۷ میلیمتر یا کمی کمتر می‌باشد. مواد با قطر بین ۰٫۰۶ میلیمتر و ۰٫۰۰۲ میلیمتر به نام لای(سیلت)و مواد ریزتر رس نامگذاری شده‌اند. گل ماده نرمی است که شامل مقادیر نسبتاً مساوی ماسه و لای و رس می‌باشد[9] .سنگدانه مصرفی در این آزمایش از نوع سنگدانه کوهی می باشد. در نمودار (۱) منحنی دانه‌بندی ترسیم شده است.



نمودار ۱- منحنی دانه‌بندی

۳. عمل آوری

پس از بتن ریزی باید بلافاصله توجه لازم به فرایند عمل آوری معطوف گردد، عمل آوری عبارت است از حفظ رطوبت بتن تا زمانی که واکنش بین سیمان و آب تکمیل شود. این عمل می‌تواند به وسیله عایقکاری موقت، پاشش آب یا تولید بخار صورت گیرد. از دیدگاه عملی، حفظ رطوبت بتن برای ۷ روز توصیه می‌شود. در شرایطی که این کار ممکن نباشد حداقل زمان عمل آوری بتن نباید کمتر از ۲ روز باشد. برای بدست آوردن مقاوت فشاری بتن، ۶ نمونه شاهد مکعبی۱۵× ۱۵سانتیمتر ساخته شده و پس از ۲۸ روز نگه داری در آب توسط جک فشاری ملات شکن شکسته شد. مقاومت فشاری ۲۸روزه بتن برای هر نمونه اندازه گیری شده و میانگین آنها ملاک مقاومت فشاری طرح اختلاط این آزمایش می باشد که معادل Mpa ۵۰ است.

۴. نام گذاری نمونه

نمونه ها با حرف D نام گذاری شده است. همچنین مصالح مورد نیاز شامل سیمان، آب، سنگدانه و الیاف پلی پروپیلن میباشد.

۵. ساخت نمونه ها

پس از بدست آوردن مقاومت فشاری بتن، ساخت نمونه ها با استفاده از قالب های استوانه ای ۳۰×۱۵ ، بطوری که میلگرد در وسط آن قرار گرفته شده اند انجام شد. قطر میلگردهایGFRP استفاده شده در این تحقیق به ترتیب ۸ و ۱۰ میلیمتر می باشد، که در مجموع ۴ نمونه استوانه ای تهیه گردید.

۶. آشنایی با آزمایش بیرون کشیدگی Pull out test

۱-۶- تاریخچه آزمایش بیرون کشیدگی

مقاومت چسبندگی در سازه‌های بتن آرمه از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از روش‌های بدست آوردن مقاومت چسبندگی، آزمایش بیرون کشیدگی[1] می‌باشد. آقای آبرانز[2] در سال ۱۹۱۳ برای اولین بار این آزمایش را انجام داد [۷]. در این قسمت به توضیح نمودار Pull out، انواع مودها، شکست و خرابی در این آزمایش، رابطه و نسبت تنش چسبندگی- لغزش در بتن‌های معمولی و خود تراکم پرداخته می‌شود.

۲-۶- مودهای خرابی و شکست در چسبندگی

گسیختگی چسبندگی میان فولاد و بتن معمولاً به وسیله‌ی دو مود شناسایی و مشخص می‌شود. به نام گسیختگی بیرون کشیدگی[1] و گسیختگی به دو نیم شدن[2] و شکافتن[13،12،11]. اگر نسبت پوشش بتن به قطر میلگرد بزرگ باشد یا بتن درست و خوب محصور شده باشد، گسیختگی چسبندگی در مود بیرون کشیدگی به وقوع می پیوندد. پارامترهای مهمی که بر روی مقاومت چسبندگی بیرون کشیدگی تحت بارهای استاتیکی (یکنواخت) و سیکلی می‌تواند تأثیرگذار باشد، به وسلیه الیگهاسن و همکارانش در سال ۱۹۸۳ مورد بحث و بررسی قرار گرفت[10]. از طرفی دیگر اگر پوشش بتن کم باشد یا میلگردها فضای کمی داشته باشند، ترک‌های شکافی کششی گرایش به بیشتر شدن و توسعه یافتن می‌کنند و باعث به وجود آمدن گسیختگی به دو نیم شدن و شکافتن می‌کنند.

۷. بیرون کشیدگی (Pull out)

پس از عمل آوری نمونه ها و ۲۸ روز نگه داری در آب، نمونه ها تحت بارگذاری یکنواخت و یک طرفه ، توسط دستگاه کشش مستقیم میلگرد که تحمل ۱۰۰ KN فشار را دارد قرار گرفته شد و عمل بیرون کشیدگی میلگردهایGFRP از داخل بتن الیافی پلی پروپیلن صورت پذیرفت. شکل ۱، دستگاه آزمایش بیرون کشیدگی را نشان میدهد.

شکل ۱– دستگاه کشش مستقیم میلگرد

[1] – Pull out
[2] – Abrams

لازم به ذکر است که میلگردها در فاصله d۵ از طول میلگرد در استوانه های ۳۰×۱۵سانتیمتری قرار گرفته اند و مدفون شده بودند. در نتیجه چسبندگی d۵ برای میلگردGFRP با قطر ۸ میلیمتر، ۴ سانتیمتر بوده است. به همیت ترتیب برای میلگرد به قطر ۱۰ میلیمتر، ۵ سانتی متر چسبندگی ایجاد شده است، مابقی میلگرد که در قالب قرار دارند با غلاف پلاستیکی از بتن جدا میشوند با این شرط که میلگرد در غلاف آزاد باشد. نمونه تست آزمایش بیرون کشیدگی در شکل ۲ آمده است.

شکل ۲- نمونه های آزمایش بیرون کشیدگی در تحقیق

با استفاده از این آزمایش، از هر تست بیرون کشیدگی، مقدار بیشینه ی نیروی بین میلگردهایGFRP با قطرهای مختلف را از بتن الیافی پلی پروپیلن بدست آمد. همچنین با تعمیم دادن از رابطه زیر، می توان به میانگین تنش چسبندگی میلگردهای GFRP و بتن الیافی پلی پروپیلن برای هر نمونه دست یافت.

رابطه (۱)

$$\tau = \frac{P}{5\pi d^2}$$

که در آن τ تنش چسبندگی (N/mm^2) ، p نیروی کششی(N)، d قطر میلگرد (mm) و f 'c مقاومت فشاری (MPa) است. در جدول (۳) نتایج بدست آمده از تست های بیرون کشیدگی ارایه شده است.

جدول ۳- نتایج آزمایش ها با توجه به نیروی بیرون کشیدگی میلگرد و استفاده از رابطه (۱)

نام نمونه	قطر میلگرد	P_{max} (kN)	τ_{max} (MPa)	f'_c (MPa)
D	8mm	22	0.3472	50
	10mm	17	0.189	
D	8mm	20	0.3472	50
	10mm	12	0.13	

۸. نتیجه گیری

در طی آزمایش بیرون کشیدگی، مقاومت چسبندگی میان بتن الیافی پروپیلن و میلگرد GFRPمی توان به نتایج زیر رسید که با افزایش قطر میلگرد، مقاومت چسبندگی کمتر می شود. الیاف پلی پروپیلن به عنوان افزودنی، جهت مسلح نمودن انواع بتن و مخلوط های سیمانی و گچی مورد استفاده قرار می گیرد. مصرف الیاف پلی پروپیلن، باعث افزایش مقاومت خمشی، کششی، برشی سایشی در بتن الیافی می شود. برای بدست آوردن مقاوت فشاری بتن، ۶ نمونه شاهد مکعبی۱۵× ۱۵سانتیمتر ساخته شده و پس از ۲۸ روز نگه داری در آب توسط جک فشاری ملات شکن شکسته شد. مقاومت فشاری ۲۸روزه بتن برای هر نمونه اندازه گیری شده و میانگین آنها ملاک مقاومت فشاری طرح اختلاط این آزمایش می باشد که معادل Mpa ۵۰ است. همچنین از تحقیقات به عمل آمده در مورد چسبندگی میلگردهایFRP با بتن الیافی پروپیلن، نتیجه گیری شده است که میلگردهای ساخته شده از الیاف FRPانعطاف پذیری یا تنش تسلیم کمتری نسبت به میلگردهای فولادی دارند. شایان ذکر است که با توجه به آزمایش های انجام شده، مقاومت چسبندگی میلگرد GFRP با قطرهای مختلف و بتن الیافی پروپیلن ، ۰,۲۵ درصدکمتر از مقاومت چسبندگی آن با میلگردهای فولادی با قطرهای مختلف است.

۹. مراجع

[1] Francesco Focacci, Antonio Nanni, Fellow, ASCE, and Charles E. Bakis.LOCAL BOND-SLIP RELATIONSHIP FOR FRP REINFORCEMENTIN CONCRETE.(2000),JOURNAL OF COMPOSITES FOR CONSTRUCTION / FEBRUARY 2000

[2] Cosenza, E., Manfredi, G., and Realfonzo, R. (1996). ‘‘Ilcalcolodellalunghezza di ancoraggio per barre in plastica fibro-rinforzata (FRP).’’Proc., 11th congresso CTE, 451–461 (in Italian)

[3] Greco, C., Manfredi, G., Pecce, M., and Realfonzo, R. (1998). ‘‘Experiment alanalysis of bond between GFRP deformed rebars and concrete.’’*Proc., ECCM-8—Eur. Conf. on Compos. Mat.*, I. Crivelli Visconti,ed., Vol. 2, 301–308

[4] Larralde, J., and Silva-Rodriguez, R. (1993). ‘‘Bond and slip of FRP. rebars in concrete.’’ *J. Mat. in Civ. Engrg.*, ASCE, 5(1), 30–40

[5] Malvar, L. J. (1995). ‘‘Tensile and bond properties of GFRP reinforcing. bars.’’ *ACI Mat. J.*, 92(3), 276–2985.

[6] Nanni, A., Al-Zaharani, M. M., Al-Dulaijan, S. U., Bakis, C. E., and Boothby, T. E. (1995). ‘‘Bond of FRP reinforcement to concrete—Experimental results.’’ *Proc., 2nd Int. RILEMSymp. (FRPRCS-2)—Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Struct.*, L. Taerwe, ed.,135–145

[7] Ehsani, M. R., Saadatmanesh, H., and Tao, S. ~1995!. “Bond of hooked glass fiber reinforced plastic ~GFRP! reinforcing bars to concrete.”.*ACI Mater. J.*, 92~4!, 391–400

[8] Chaallal, O., and Benmokrane, B. (1993). ‘‘Pullout and bond of glassfibre rods embedded in concrete and cement grout.’’ *Mat. andStruct.*, 26, 135–145

[9] Bloem, D.L, "Effect of Maximum Size of Aggregate on Aggregate on Strength of Concrete.'' National sand and Gravel Association, Circular No, 74, Washington DC, Feb. 1959.

[10] Eligehausen, R., Popov, E. P., and Bertero, V. V. _1983_. "Local bond stress–slip relationships of deformed bars under generalized excitations." *Rep. UCB/EERC-83/23*, Univ. of California at Berkeley, Berkeley, Calif.

[11] American Concrete Institute _ACI_. _1990_. "Suggested development, splices, and standard hook provisions for deformed bars in tension." *ACI Committee Rep. 408.1R-90*, Detroit.

[12] American Concrete Institute _ACI_. _1992_. "State-of-the-art report on bond under cyclic loads." *ACI Committee Rep. 408.2R92*, Detroit.

[13] Zuo, J., and Darwin, D. _2000_. "Splice strength of conventional and high relative rib area bars and high-strength concrete." *ACI Struct. J.*, 97_4_, 630–641.

[۱۴] کیوانی، عبداله، "بتن الیافی و کاربرد آن در سازه‌های بتنی"، کارگاههای تخصصی بتن: بتن‌های ویژه، مهرماه ۸۴.