

بررسی نقش افزودنی فوق روان کننده بر روی مقاومت پیوستگی بتن- فولاد به وسیله آزمایش Pull out

مهدی رزمی
دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خورموج.
نهمت خدایی*
استاد یار، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خورموج.

چکیده

پیوستگی مناسب بتن و فولاد از عوامل کلیدی در عملکرد کمپوزیتی سازه‌های بتن آرمه است. در این تحقیق، اثر افزودنی فوق روان کننده بر روی مقاومت پیوستگی فولاد-بتن به صورت آزمایشگاهی مطالعه شده است. تعداد ۱۸ نمونه در دو نسبت اختلاط بتن معمولی و بتن حاوی فوق روان کننده تهیه شده است. میلگردهای استفاده شده از سه اندازه قطر ۸، ۱۰ و ۱۲ میلیمتر هستند که در طولی معادل با ۵ برابر قطر میلگرد در داخل بتن محصور شده‌اند. مقاومت پیوستگی از طریق تست بیرون کشیدگی مستقیم با دستگاه کشش یونیورسال تعیین شده است. ۵ عدد نمونه مکعبی استاندارد بتن برای بررسی مقاومت فشاری و مشخصات نمونه‌های سخت شده تهیه شده است. نمونه‌ها در سن ۴۲ روزه مورد آزمایش قرار گرفته‌اند و منحنی‌های نیرو-جابجایی آن‌ها با استفاده از روش بیرون کشیدگی مستقیم ترسیم شده است. مقادیر نیروی ماکزیمم و جابجایی متناظر با آن، تنش پیوستگی و سایر پارامترهای مهم برای حالات مختلف مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد مقاومت پیوستگی بتن-فولاد با افزایش قطر میلگرد کاهش می‌یابد. افزودنی فوق روان کننده تأثیر قابل توجهی در افزایش مقاومت پیوستگی بتن-فولاد و مقاومت فشاری نمونه‌ها دارد، به طور مثال، مقاومت پیوستگی متوسط برای بتن حاوی فوق روان کننده ۲/۳ برابر بتن معمولی است.

واژه‌های کلیدی: مقاومت پیوستگی، آزمایش بیرون کشیدگی میلگرد، فوق روان کننده، بتن با مقاومت بالا، سازه بتن آرمه.

* نویسنده مسئول: N.khodaie@iaukh.ac.ir

۱- مقدمه

مقاومت پیوستگی بتن- فولاد در بتن خود متراکم را مورد بررسی قرار داده‌اند که برخی از آن‌ها از روش تست مستقیم بیرون کشیدگی استفاده کرده‌اند [۱۰ و ۹] و برخی دیگر از نمونه‌های تیر برای مطالعه مقاومت پیوستگی فولاد- بتن خود متراکم استفاده نموده‌اند [۱۱ و ۱۲] نتایج تحقیقات مذکور نشان داد مقاومت پیوستگی در بتن خود تراکم نسبت به بتن معمولی بیشتر است.

Bilek و همکاران [۱۳] با استفاده از آزمایش بیرون کشیدگی، مقاومت پیوستگی بتن را برای سه حالت بتن مورد بررسی قرار دادند. حالت اول بتن معمولی بود و در حالت دوم، بخشی از سیمان با روباره‌های فعال شده به صورت قلیایی جایگزین شده بود. در حالت سوم، روباره فعال شده با کرنات سدیم استفاده شده بود. مطابق این مطالعه، نمونه بتن فعال شده به صورت قلیایی نسبت به طرح معمولی مقاومت پیوستگی بیشتری نشان داد. Nematinejad و همکاران [۱۴] مقاومت پیوستگی میان میلگرد و بتن حاوی درصد‌های مختلف میکروسیلیس، نانوسیلیس و الیاف پلیمری را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه بر اساس ۳۶ نمونه آزمایشی با ۱۲ نسبت مخلوط متفاوت، یک مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی نتایج ارائه گردید.

Hadi [۱۵] مقاومت پیوستگی بتن- فولاد را در برای بتن و فولاد با مقاومت بالا مورد بررسی قرار داد. مقاومت بتن و فولاد به ترتیب ۷۰ و ۵۰۰ مگاپاسکال بود. تعداد ۱۴ نمونه آزمایشگاهی با قطر میلگرد بین ۱۲ تا ۳۶ میلیمتر و پوشش بتن ۲۴۰ میلیمتر و ۳۰۰ میلیمتر ساخته شد. در نهایت، بر اساس نتایج ارائه شده رابطه‌ای برای مقاومت پیوستگی ارائه گردید. Kabir و Islam [۱۶] با استفاده از نرم‌افزار المان محدود ANSYS نمونه‌های مقاومت پیوستگی را مدل‌سازی نمودند. توسعه تنش طولی و شعاعی در بتن در اثر نیروی اعمالی به میلگرد مشاهده شد و ناحیه آسیب‌پذیر که محل تشکیل ترک در نمونه‌های تست بیرون کشیدگی قرار دارد از روی الگوی توزیع تنش شناسایی گردید.

Sureshbabu و Mathew [۱۷] تأثیر افزودنی فلای اش بر روی مقاومت پیوستگی بتن- فولاد تحت دماهای بالا را مورد مطالعه قرار دادند. Dybel [۱۸] تأثیر جهت بتن ریزی را در بتن‌های خود متراکم با مقاومت بالا را روی مقاومت پیوستگی بتن- فولاد مورد ارزیابی قرار داد.

اعضای سازه‌های بتن آرمه، مرکب از مصالح بتن و میلگرد می‌باشند که عملکرد مناسب آن‌ها علاوه بر کیفیت بتن و فولاد، به مقاومت پیوستگی و انتقال مناسب نیرو بین بتن و فولاد وابسته است. پیوستگی به اندرکنش بین میلگرد و بتن اطراف گفته می‌شود که امکان انتقال تنش کششی از فولاد به بتن را فراهم می‌آورد و مهار میلگردهای مستقیم را ممکن می‌سازد. پیوستگی روی عوامل مهمی از بتن سازه‌ای از قبیل کنترل ترک و سختی مقطع تأثیر مستقیم دارد [۱]. مقاومت پیوستگی بتن- فولاد به سه عامل اصلی وابسته است که شامل تنش برشی ناشی از چسبندگی در سطح تماس، مقاومت ناشی از اتصال مکانیکی بین آج‌های میلگرد و بتن و اصطکاک بین آج‌های میلگرد و بتن اطراف است. از بین عوامل مذکور، اندرکنش مکانیکی بیشترین تأثیر را دارد [۲].

مقدار مقاومت پیوستگی تابع عواملی از قبیل مقدار سطح تماس، شکل سطحی پیرامون میلگرد، قطر میلگرد و پوشش بتن اطراف میلگرد است [۳]. تست بیرون کشیدگی مستقیم یا Pull-out که در آن میلگرد از داخل بلوک بتنی بیرون کشیده می‌شود، متداول‌ترین روش آزمایش مقاومت پیوستگی بین میلگرد و بتن است [۴ و ۵].

مطالعات متعددی برای بررسی مقاومت پیوستگی بتن- فولاد در شرایط متفاوت انجام پذیرفته است. Looney و همکاران [۶] مطالعه آزمایشگاهی برای مقایسه مقاومت پیوستگی فولاد- بتن در بتن‌های خود متراکم و معمولی انجام دادند. برای این منظور ۲۴ نمونه تست بیرون کشیدگی میلگرد و ۱۲ نمونه با مقیاس واقعی تیر بتن مسلح ساخته شد. نتایج این آزمایش نشان داد مقاومت پیوستگی بتن خود متراکم نزدیک به بتن معمولی و در برخی موارد، اندکی بیش از آن می‌باشد. Ahmed و همکاران [۷] مقاومت پیوستگی بتن معمولی و بتن با مقاومت بالا را مورد بررسی قرار دادند. تست بیرون کشیدگی برای دو شرایط آزمایشگاهی مختلف انجام گردید و نتایج دو حالت مقایسه شد. تأثیر مقاومت فشاری، قطر میلگرد، مقدار پوشش بتنی و طول ترک اولیه خمشی بر روی مقاومت پیوستگی بررسی گردید و روابطی برای تخمین مقاومت پیوستگی طراحی ارائه شد. Esfahani و Hakeml [۸] مقاومت پیوستگی را برای بتن معمولی و خود متراکم ساخته شده از مصالح بازیافتی مطالعه نمودند. مطالعات مشابه دیگری نیز

میلگرد در نظر گرفته شد. طول مدفون در بتن شامل دو بخش می‌باشد که بخش تحتانی به اندازه ۴۰ درصد طول مدفون، به صورت مستقیم با بتن درگیر است. درگیری بخش فوقانی طول مدفون، با استفاده از پوشش چسب کاغذی کاهش داده شده است تا از ترک گوه‌ای و گسیختگی بتن در ناحیه فوقانی اطراف میلگرد جلوگیری شود. با توجه به اینکه هدف از این تحقیق مقایسه مقاومت پیوستگی برای دو نوع بتن مختلف می‌باشد، در محاسبه تنش پیوستگی، مساحت پیرامونی با احتساب کل طول مدفون میلگرد تعیین شده است. با توجه به طول مدفون و طول لازم برای انجام تست، میلگردهای با قطر ۸، ۱۰ و ۱۲ میلیمتر به ترتیب در طول‌های ۱۶، ۱۸ و ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته شدند.

جدول ۱- برنامه آزمایش‌ها بیرون کشیدگی میلگرد شامل سه نسبت مخلوط بتن و سه قطر میلگرد متفاوت

کد نمونه	کد مخلوط اختلاط	قطر میلگردها (mm)	طول میلگرد بریده شده (mm)	طول مدفون میلگرد	زمان عمل آوری
N8-1	N	۸	۱۶۰	۴۰	۴۲
N8-2	N	۸	۱۶۰	۴۰	۴۲
N8-3	N	۸	۱۶۰	۴۰	۴۲
N10-1	N	۱۰	۱۸۰	۵۰	۴۲
N10-2	N	۱۰	۱۸۰	۵۰	۴۲
N10-3	N	۱۰	۱۸۰	۵۰	۴۲
N12-1	N	۱۲	۲۰۰	۶۰	۴۲
N12-2	N	۱۲	۲۰۰	۶۰	۴۲
N12-3	N	۱۲	۲۰۰	۶۰	۴۲
SP8-1	SP	۸	۱۶۰	۴۰	۴۲
SP8-2	SP	۸	۱۶۰	۴۰	۴۲
SP8-3	SP	۸	۱۶۰	۴۰	۴۲
SP10-1	SP	۱۰	۱۸۰	۵۰	۴۲
SP10-2	SP	۱۰	۱۸۰	۵۰	۴۲
SP10-3	SP	۱۰	۱۸۰	۵۰	۴۲
SP12-1	SP	۱۲	۲۰۰	۶۰	۴۲
SP12-2	SP	۱۲	۲۰۰	۶۰	۴۲
SP12-3	SP	۱۲	۲۰۰	۶۰	۴۲

۳- مصالح استفاده شده برای ساخت نمونه‌ها

با توجه به موضوع تحقیق، مصالح لازم برای تهیه بتن شامل مصالح سنگی، سیمان، آب و افزودنی فوق روان کننده می‌باشد که منبع تهیه مصالح و مشخصات آن‌ها در این قسمت ارائه می‌شود.

Chu و Kwan [۵] از روش المان محدود برای نشان دادن تغییرات توزیع تنش بین فولاد-بتن برای نمونه‌های آزمایشی تست بیرون کشیدگی استفاده کردند. نمونه‌های آزمایشی شامل بتن معمولی و بتن حاوی الیاف فولادی بود. بر اساس نتایج به دست آمده توصیه‌هایی برای بهبود انجام آزمایش بیرون کشیدگی ارائه شد. با توجه به رایج شدن استفاده از آرماتورهای پلیمری مسلح الیافی (FRP)، بعضی از مطالعات در سال‌های اخیر به بررسی مقاومت پیوستگی بتن و آرماتورهای FRP پرداخته‌اند [۲۱-۱۹]. در این تحقیق، اثر افزودنی فوق روان کننده بر روی مقاومت پیوستگی فولاد-بتن مورد بررسی قرار گرفته است. ۱۸ نمونه آزمایشی در دو گروه نسبت اختلاط بتن معمولی و بتن حاوی فوق روان کننده ساخته شده است. مقاومت پیوستگی از طریق تست بیرون کشیدگی توسط دستگاه کشش یونیورسال مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

۲- برنامه آزمایش‌های بیرون کشیدگی میلگرد

به منظور بررسی تأثیر افزودنی فوق روان کننده بر روی مقاومت پیوستگی، دو نسبت مخلوط بتن مد نظر قرار گرفت که شامل بتن معمولی و بتن حاوی فوق روان کننده است. این نسبت اختلاط‌ها به ترتیب با کدهای N و SP نشان داده شده‌اند و روش به دست آوردن نسبت اختلاط و جداول مربوطه در بخش ۴ تشریح می‌شود. مبانی مهم در نظر گرفته شده برای نسبت اختلاط بتن، عیار سیمان مصرفی ۳۵۰ کیلوگرم در متر مکعب و مقدار اسلامپ ۱۲ سانتی متر می‌باشد. برنامه در نظر گرفته شده برای انجام آزمایش‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. این جدول، برنامه تست ۱۸ نمونه را شامل می‌شود که دربرگیرنده ۹ نمونه در دو نسبت اختلاط بتن می‌باشد. در هر حالت، سه قطر میلگرد ۸، ۱۰ و ۱۲ میلیمتر در نظر گرفته شده است. این قطر‌ها بر مبنای آزمایشات مقدماتی و متناسب با شرایط تحقیق و همچنین بررسی روند آزمایشات مطالعات پیشین انتخاب شدند. به ازای هر نوع بتن و قطر میلگرد معین، سه نمونه ساخته شده است. هدف از ساخت سه نمونه برای هر حالت، بررسی تغییرات و پراکندگی نتایج بوده و در نهایت، نتیجه هر حالت با میانگین گیری از سه نتیجه حاصله مشخص می‌شود.

با توجه به مطالعات پیشین و آزمایش‌های مقدماتی انجام شده در این تحقیق، طول مدفون در بتن میلگردها به اندازه ۵ برابر قطر

۱-۳- مصالح سنگي

استفاده شده به حالت مایع و جرم مخصوص آن حدود ۱/۰۸ گرم بر سانتیمتر مکعب است. مقدار مصرفی توصیه شده این محصول بین ۰/۱ تا ۱/۲ درصد وزنی سیمان است که در این مطالعه ۰/۶ درصد وزنی سیمان در نظر گرفته شد.

مصالح سنگی مورد نیاز در این مطالعه، از یکی از معادن مورد تایید و توصیه کارشناسان آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان بوشهر بود. حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی درشت‌دانه مطابق استاندارد ASTM C125، ۱۹ میلی‌متر بود. خواص فیزیکی مصالح سنگی از جمله وزن حجمی، درصد جذب آب، ارزش ماسه‌ای و مدول نرمی ماسه به همراه استانداردهای اندازه‌گیری مربوطه در جدول ۲ ارائه شده است.

۴- نسبت اختلاط بتن

مبانی نسبت اختلاط بتن به روش استاندارد ACI 211 و نتیجه به کارگیری آن برای تهیه بتن بر مبنای مشخصات مصالح و اهداف مورد نظر، در این بخش ارائه می‌شود. هدف از ارائه نسبت مخلوط بتن، تعیین نسبت اجزای بتن به‌نحوی است که بتن تولید شده تا حد امکان مقرون به صرفه باشد و الزامات مورد نیاز را تأمین کند. معمولاً در نسبت مخلوط بتن، سه مسئله رسیدن به مقاومت فشاری خاص، تأمین دوام مناسب و رسیدن به حد اسلامپ مشخص از اهداف مهم طراحی می‌باشد. مورد اول و دوم به بتن سخت شده و مورد سوم به بتن تازه مربوط می‌شود. در این مطالعه، نسبت اختلاط با رسیدن به یک اسلامپ مشخص با عیار ثابت سیمان مد نظر می‌باشد. مراحل به کار گرفته شده برای تهیه نسبت مخلوط بتن به روش حجمی به شرح ذیل است:

جدول ۲- مشخصات فیزیکی مصالح سنگی مصرفی

مدول نرمی	ارزش ماسه‌ای	وزن مخصوص SSD	وزن حجمی	وزن حجمی	تراکم	نوع مصالح سنگی
		(gr/cm ³)	(Kg/m ³)			
ASTM C136	AASH TO: T176	ASTM: C127 & C128		ASTM: C29		
-	-	۲/۳	۲/۵۷۵	۱۳۵۰	۱۴۵۵	شن
-	-	۲/۵	۲/۶۱۷	۱۴۵۰	۱۵۶۱	شن
۳/۷۸	۷۹	۳/۰	۲/۵۶۹	۱۵۰۵	۱۷۱۶	ماسه

مرحله اول: انتخاب اسلامپ براساس تجربه و شرایط و محل بتن‌ریزی، که در این حالت برای رسیدن به کارآیی مطلوب، ۱۲ سانتیمتر انتخاب شده است.

۲-۳- سیمان

با توجه به شرایط محیطی استان بوشهر که عموماً از سیمان پرتلند تیپ ۲ استفاده می‌شود، برای تهیه نمونه‌ها از این نوع سیمان استفاده گردید.

مرحله دوم: انتخاب بزرگترین اندازه سنگدانه‌ها مطابق ضوابط آیین‌نامه‌ای و بر حسب شرایط موجود از قبیل ابعاد محل بتن‌ریزی، فاصله آزاد میلگردها، ضخامت پوشش بتن و موارد مشابه. در این مطالعه براساس دانه بندی انجام شده مصالح سنگی، اندازه اسمی بزرگ‌ترین سنگ‌دانه ۱۹ میلی‌متر است.

۳-۳- آب

طبق آیین‌نامه بتن ایران، آب مصرفی در ساخت بتن باید تمیز و صاف باشد و PH آب بایستی در بازه ۵ تا ۸/۵ باشد. به طور کلی، آب آشامیدنی برای ساخت بتن رضایت بخش تلقی می‌شود و در این مطالعه، از آب شرب برای تهیه بتن استفاده شد.

مرحله سوم: تخمین مقدار آب لازم و میزان هوا بر حسب اسلامپ بتن و بزرگ‌ترین اندازه اسمی سنگدانه‌ها. مرحله چهارم: انتخاب نسبت آب به سیمان براساس مقاومت مورد نیاز و الزامات محیطی و دوام بتن که در این مطالعه با توجه به اینکه جهت مقایسه در یک میزان اسلامپ ثابت بوده، نسبت آب به سیمان بر مبنای رسیدن به اسلامپ مدنظر تنظیم شده است و مقدار این نسبت برای بتن معمولی و بتن حاوی افزودنی به ترتیب ۰/۴ و ۰/۵۲ انتخاب شده است. مقدار افزودنی فوق روان‌کننده ۰/۶ درصد وزنی سیمان می‌باشد.

۴-۳- افزودنی فوق روان‌کننده

افزودنی فوق روان‌کننده بتن یا کاهنده شدید آب، به منظور کاهش میزان آب مصرفی در بتن با حفظ کارآیی مقبول مورد استفاده قرار می‌گیرد که به دلیل کاستن آب اضافی بتن، تخلخل بتن را کاهش داده و باعث افزایش مقاومت فشاری بتن می‌شود. فوق روان‌کننده

مرحله هشتم: تصحیح جهت رطوبت دانه‌ها برای رسیدن به میزان آب مخلوط بتن بر حسب رطوبت سنگدانه‌ها.

مرحله نهم: ساخت نمونه آزمایشی وانجام تصحیحات لازم برای حصول اهداف مورد نظر.

مطابق مبانی در نظر گرفته شده و مشخصات مصالح و همچنین خصوصیات مصالح افزودنی استفاده شده، نتایج نسبت اختلاط در جدول ۳ ارائه شده است. همچنین، مشخصات بتن تازه و سخت شده در جدول ۴ ارائه شده است.

مرحله پنجم: محاسبه مقدار سیمان با تقسیم وزن آب بر حسب کیلوگرم در واحد حجم بر نسبت آب به سیمان، که میزان عیار سیمان در هر دو نسبت مخلوط ۳۵۰ کیلوگرم در متر مکعب در نظر گرفته شده است.

مرحله ششم: تعیین مقدار درشت دانه براساس بزرگ‌ترین اندازه اسمی دانه‌ها و مدول نرمی ماسه.

مرحله هفتم: تعیین مقدار دانه‌های ریز (ماسه) به روش حجمی و با داشتن وزن حجمی ماسه در حالت خشک و اشباع.

جدول ۳- نسبت‌های اختلاط وزنی مواد مصرفی در حالت خشک در هر متر مکعب بتن برای انواع بتن مورد مطالعه

نوع بتن	سیمان (Kg)	مصالح سنگی درشت دانه (Kg)	مصالح سنگی ریزدانه (Kg)	ماسه شسته (Kg)	آب (Kg)	مواد افزودنی (Kg)
بتن معمولی	۳۵۰	۳۴۲	۳۶۷	۱۰۲۴	۱۸۲	-
بتن حاوی فوق	۳۵۰	۳۴۲	۳۶۷	۱۱۲۸	۱۴۰	۲/۱

جدول ۴- مشخصات بتن تازه و سخت شده برای انواع بتن مورد مطالعه

نوع بتن	افت بتن (cm)	درصد حباب هوای بتن	نسبت آب به سیمان	وزن واحد حجم بتن تازه (Kg/m ³)	وزن مخصوص بتن سخت شده (Kg/m ³)	میانگین مقاومت فشاری نمونه مکعبی استاندارد (Kg/cm ²)
بتن معمولی	۱۲	۲	۰/۵۲	۲۳۱۳	۲۲۵۰	۲۳۲/۲
بتن حاوی فوق	۱۲	۲	۰/۴۰	۲۳۸۰	۲۳۵۰	۴۴۳/۹



شکل ۱- توزین افزودنی فوق روان کننده

۵- مراحل آماده سازی نمونه‌ها

پس از تهیه مصالح، بتن نمونه‌ها مطابق نسبت اختلاط‌های تعیین شده که جزئیات آن‌ها در بخش ۴ ارائه گردید، تهیه شد و نمونه‌های آزمایشی بر اساس برنامه ارائه شده در بخش ۲، در سه مرحله تهیه شدند. مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها به شرح ذیل می‌باشد:

- با توجه به اینکه نمونه به صورت مکعبی با ابعاد مساوی ۱۵ سانتیمتر در نظر گرفته شد، برای ساخت نمونه‌ها از قالب‌های مکعبی استاندارد استفاده گردید. سطح داخلی قالب‌های مکعبی قبل از بتن پاکسازی و روغنکاری گردید.

- بتن مورد نیاز مطابق نسبت اختلاط مربوطه تهیه گردید. برای این منظور پس از محاسبه حجم بتن لازم در هر مرحله، وزن اجزای بتن تعیین شد و مصالح مورد نیاز توزین و با استفاده از دستگاه مخلوط کن آزمایشگاهی مخلوط گردید. شکل ۱ و ۲ به ترتیب توزین افزودنی فوق روان کننده و آزمایش اسلامپ بتن را نشان می‌دهد.

- میلگردها در سه قطر ۸، ۱۰ و ۱۲ برای جاگذاری در داخل بتن در طول‌های مورد نظر و مطابق جزئیات تشریح شده در بخش ۲ آماده شدند. شکل ۳ آماده‌سازی میلگردها برای جاگذاری در بتن



شکل ۴- بتن ریزی، تراکم و تسطیح نمونه‌ها

را نشان می‌دهد. بتن ریزی نمونه‌ها و تسطیح سطح فوقانی نمونه‌ها مطابق تصویر ۴ انجام شد. نمونه‌ها پس از گیرش نسبی به داخل حوض آب آزمایشگاه منتقل گردیدند و به مدت ۴۲ روز نگهداری گردیدند و مطابق جزئیاتی که در بخش ۶ ارائه می‌شود مورد آزمایش قرار گرفتند.



شکل ۲- آزمایش اسلامپ بتن

۶- روش انجام تست بیرون کشیدگی

همان‌طور که در بخش قبلی توضیح داده شد، نمونه‌های آزمایشی به صورت مکعبی با ابعاد یکسان ۱۵ سانتیمتر تهیه شدند که برای تهیه آنها از قالب مکعبی استاندارد استفاده شد. برای انجام تست بیرون کشیدگی، از دستگاه کشش یونیورسال استفاده گردید. روش انجام آزمون بیرون کشیدگی در شکل ۵ نشان داده شده است. دستگاه استفاده شده با ظرفیت کششی ۱۰۰ تن است که دارای دو فک ثابت و متحرک می‌باشد. فک تحتانی ثابت بوده و نمونه را به صورت ثابت نگه می‌دارد و فک فوقانی متحرک است که با حرکت خود به سمت بالا میلگرد را بیرون می‌کشد.

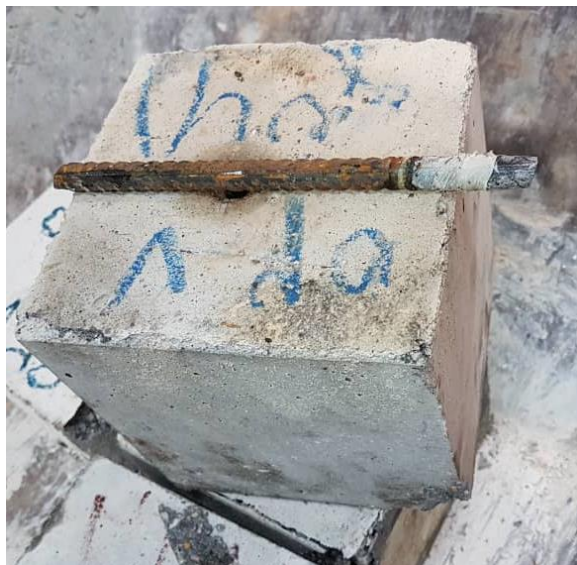
برای مهار نمونه در حین آزمایش، از سازه فلزی مخصوصی که برای این منظور آماده شد استفاده گردید. تصویر سازه فلزی مورد نظر در شکل ۶ نشان داده شده است. این سیستم فلزی، دارای دو صفحه فلزی در بالا و پایین می‌باشد که توسط چهار بولت رزوه دار قوی در چهار گوشه صفحات، در فاصله دلخواه نسبت به هم تثبیت می‌شوند. یک میلگرد قطور به صفحه تحتانی جوشکاری شده است که در حین آزمایش، توسط فک تحتانی دستگاه نگه‌داشته می‌شود. در امتداد همین بولت، در صفحه فوقانی سوراخی برای عبور میلگرد نمونه پیش‌بینی گردیده است. میلگرد نمونه آزمایشی در حین تست بیرون کشیدگی توسط فک فوقانی دستگاه کشیده می‌شود و تست بیرون کشیدگی با نرخ مورد نظر انجام می‌پذیرد. وضعیت نمونه پس از انجام تست نیز در شکل ۷ ارائه شده است.



شکل ۳- آماده سازی میلگردها برای جاگذاری در بتن

همزمان با ساخت نمونه‌های بیرون کشیدگی میلگرد، نمونه‌های مکعبی استاندارد برای سنجش خصوصیات بتن سخت شده از قبیل مقاومت فشاری، وزن مخصوص و تعیین ابعاد نمونه پس از سخت شدن تهیه گردید. نمونه‌های مکعبی ۵ عدد بودند که ۲ مورد مربوط به بتن معمولی و ۳ مورد برای بتن حاوی فوق روان‌کننده بود.

ترسیم نماید. نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها در بخش بعدی ارائه شده است.



شکل ۷- وضعیت نمونه پس از اتمام آزمایش

۷- بررسی نتایج

در این بخش به بررسی نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده پرداخته می‌شود. نتایج در دو بخش نمونه‌های مقاومت فشاری و بیرون کشیدگی میلگرد تشریح می‌شود.

۷-۱- نتایج مربوط به آزمون‌های مقاومت فشاری

نتایج آزمون‌های مقاومت فشاری برای حالت‌های مختلف در جدول ۵ ارائه شده است. تعداد نمونه‌های مکعبی ۵ عدد است که ۲ نمونه مربوط به بتن معمولی و ۳ نمونه مربوط به بتن حاوی فوق‌روان‌کننده است. اطلاعات ارائه شده در این جدول، شامل ابعاد نمونه در حالت سخت شده و قبل از انجام تست مقاومت فشاری، سطح فوقانی، حجم، وزن مخصوص، نیروی ماکزیمم فشاری و مقاومت فشاری می‌باشد. مقادیر میانگین مقاومت فشاری برای هر نوع بتن، در ستون آخر جدول ارائه شده است.

مطابق نتیجه حاصله، مقادیر مقاومت فشاری میانگین برای بتن معمولی و بتن حاوی فوق‌روان‌کننده به ترتیب ۲۳۲ و ۴۴۳/۹ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع است. در نتیجه، افزودنی فوق‌روان‌کننده باعث افزایش مقاومت فشاری به میزان ۹۱ درصد در مقایسه با بتن معمولی گردیده است.



شکل ۵- نحوه انجام آزمایش بیرون کشیدگی



شکل ۶- سازه فلزی مخصوص مهار نمونه در حین تست

بارگذاری تا مرحله‌ای ادامه می‌یابد که میلگرد مدفون شده از بتن جدا شود و تا حد قابل توجهی در داخل نمونه حرکت نماید. سیستم رایانه متصل به این دستگاه قادر است خروجی‌ها را به صورت منحنی نیرو- تغییر مکان برای انواع بتن‌های ساخته شده مورد نظر،

وزن مخصوص میانگین نمونه‌ها برای بتن معمولی و بتن دارای فوق روان کننده به دلیل حجم آب مصرفی کمتر با افت روان کننده به ترتیب ۲/۲۵ و ۲/۳۵ می‌باشد که نشان می‌دهد بتن کمتری همراه بوده و دارای وزن مخصوص بیشتری است.

جدول ۵- نتایج آزمون‌های مقاومت فشاری برای نمونه‌های ساخته شده

نوع بتن	ابعاد			حجم	وزن	وزن مخصوص	نیرو	مقاومت فشاری	مقاومت فشاری میانگین
	طول	عرض	ارتفاع						
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(gr)	(gr/cm ³)	Kgf	(Kgf/cm ²)	(Kgf/cm ²)
بتن معمولی	۱۵	۱۵/۱	۱۴/۹	۲۲۶/۵	۷۵۹۴	۲/۲۵	۵۱۳۰۲	۲۲۶/۵	۲۳۲/۲
	۱۵	۱۵	۱۵	۲۲۵	۷۵۸۹	۲/۲۵	۵۳۵۵۰	۲۳۸	
بتن دارای ابر روان کننده	۱۵/۲	۱۵/۱	۱۵/۱	۲۲۹/۵	۸۱۱۰	۲/۳۴	۱۰۲۵۸۰	۴۴۶/۹	۴۴۳/۹
	۱۵/۱	۱۵	۱۵/۱	۲۲۶/۵	۸۰۴۱	۲/۳۵	۹۵۸۹۰	۴۲۳/۴	۴۶۱/۴
	۱۵/۱	۱۵/۱	۱۵/۱	۲۲۸	۸۱۲۰	۲/۳۶	۱۹۵۲۰۰	۴۶۱/۴	

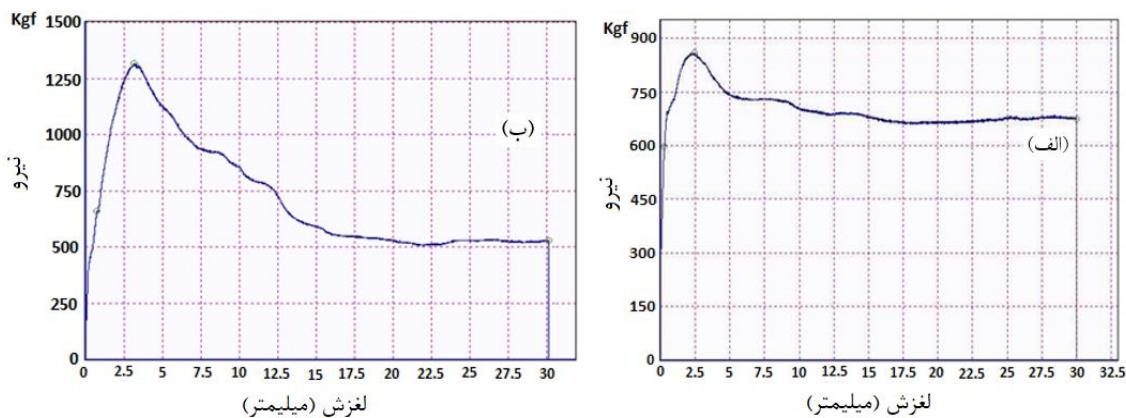
در این ناحیه، میلگرد از ناحیه اطراف جدا شده است ولی جابجایی بیشتر میلگرد به دلیل اصطکاک موجود بین میلگرد و بتن اطراف، مستلزم اعمال نیرو می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش جابجایی، میزان اصطکاک کاهش یافته و نیروی مربوطه کمتر می‌شود.

مقایسه منحنی‌ها نشان می‌دهد به ازای قطر معینی از میلگرد، مقدار نیروی پیک، که با مقاومت پیوستگی بتن- فولاد متناسب است، برای بتن حاوی فوق روان کننده بیشتر از بتن معمولی است. منحنی‌های نشان داده شده در این بخش مربوط به ۴ نمونه از ۱۸ نمونه تست شده می‌باشد و اطلاعات تکمیلی در خصوص نتایج حاصله برای کل نمونه‌ها در ادامه ارائه می‌شود.

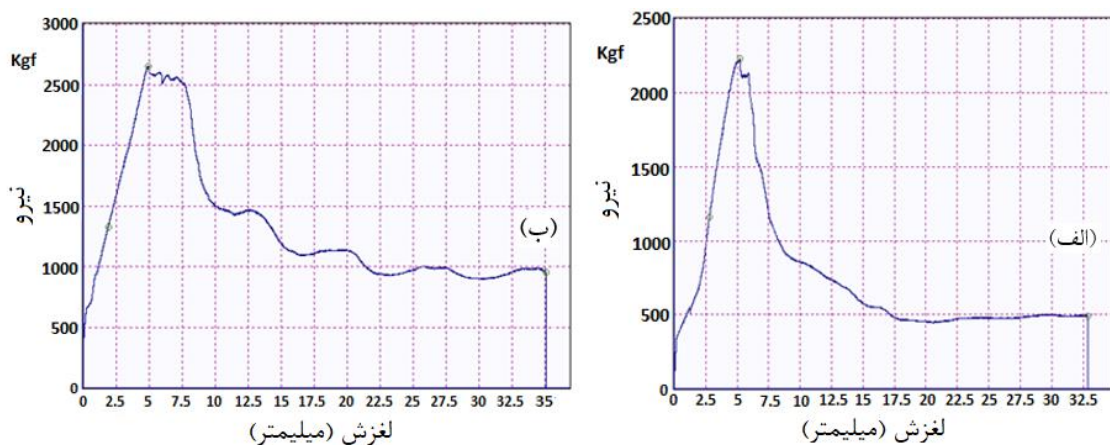
جدول ۶ نتایج آزمون بیرون کشیدگی را برای کل نمونه‌ها نشان می‌دهد. نتایج ارائه شده در این جدول شامل نیروی پیک، نیروی باقیمانده (مربوط به جابجایی انتهایی تست)، نسبت نیروی باقیمانده به نیروی پیک، لغزش متناسب با نیروی پیک، سطح پیوستگی بتن- فولاد، تنش ماکزیمم مربوط به نیروی پیک و میانگین تنش مقاوم پیوستگی برای هر قطر میلگرد و نوع بتن مشخص می‌باشد. به طور مثال تنش مقاوم متوسط برای بتن معمولی با قطر میلگر ۸، ۱۰ و ۱۲ میلیمتر به ترتیب ۸۵/۵۲، ۵۴/۰۹ و ۷۹/۹۶ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می‌باشد.

۲-۲- نتایج مربوط به آزمون‌های تست بیرون کشیدگی

آزمون بیرون کشیدگی میلگرد مطابق روش تشریح شده در بخش ۶ بر روی ۱۸ نمونه آزمایشی ساخته شده در سن ۴۲ روزه انجام پذیرفت. نتایج آزمایش، توسط رایانه متصل به دستگاه، به صورت منحنی نیرو-لغزش ترسیم گردید و اطلاعاتی از قبیل نیروی پیک، جابجایی متناظر با نیروی پیک، جابجایی نهایی میلگرد و نیروی متناظر با آن که در اینجا نیروی باقیمانده نامیده می‌شود و سایر اطلاعات مربوط به آزمایش برای هر نمونه توسط دستگاه کشش ارائه گردید. شکل‌های ۸ و ۹ نمونه‌هایی از منحنی‌های نیرو-تغییر مکان را به ترتیب برای بتن‌های معمولی و بتن حاوی فوق روان کننده برای دو میلگرد ۸ و ۱۲ میلیمتر نشان می‌دهد. تست بیرون کشیدگی تا جابجایی حدود ۳ سانتیمتر میلگرد ادامه یافته است. با توجه به شکل عمومی منحنی، منحنی نیرو-جابجایی را می‌توان به سه ناحیه متمایز تقسیم‌بندی نمود. ناحیه اول به صورت خطی و با سختی نسبتاً بالا می‌باشد که نشان می‌دهد جابجایی اولیه مستلزم اعمال تغییرات نیروی بیشتری می‌باشد. ناحیه دوم، محدوده قبل از رسیدن به نیروی اوج می‌باشد که پس از مرحله اول و به صورت تغییرات غیرخطی تا رسیدن به نیروی اوج ادامه دارد. ناحیه سوم مربوط به بعد از نیروی پیک می‌باشد که در آن با افزایش جابجایی، مقدار نیرو کاهش می‌یابد.



شکل ۸- منحنی نیرو-تغییر مکان برای دو نمونه از بتن معمولی با قطرهای: الف) ۸ میلیمتر ب) ۱۲ میلیمتر



شکل ۹- منحنی نیرو-تغییر مکان برای دو نمونه از بتن حاوی فوق روان کننده با قطرهای: الف) ۸ میلیمتر ب) ۱۲ میلیمتر

جدول ۶- نتایج بدست آمده برای نمونه‌های میلگرد با قطرهای مختلف

کد نمونه	نیروی اوج (kg)	نیروی باقیمانده (kg)	نسبت نیروی باقیمانده به اوج	لغزش مربوط به نیروی اوج (mm)	سطح پیوستگی (cm ²)	تنش ماکزیمم (kg/cm ²)	میانگین تنش ماکزیمم (kg/cm ²)
N8-1	۸۹۵/۹۵	۶۷۵	۰/۷۸	۲/۴۴۹	۱۰/۰۵	۸۵/۵۷	۸۵/۵۲
N8-2	۸۵۸/۶	۶۷۶/۰۳	۰/۷۹	۲/۴۳۹	۱۰/۰۵	۸۵/۴۳	
N8-3	۸۶۰	۶۷۵	۰/۷۸	۲/۴۴۹	۱۰/۰۵	۸۵/۵۷	
N10-1	۶۲۷/۵	۷۹/۹۹	۰/۱۳	۲/۲۸۸	۱۵/۷۰	۳۹/۹۷	۵۴/۰۹
N10-2	۹۶۰	۴۷۷/۵	۰/۵۰	۲/۸۳۷	۱۵/۷۰	۶۱/۱۵	
N10-3	۹۵۹/۹۹	۴۷۸/۵	۰/۵۰	۲/۸۵۷	۱۵/۷۰	۶۱/۱۵	
N12-1	۱۳۱۷/۵	۵۳۰	۰/۴۰	۳/۱۶۹	۲۲/۶۱	۵۸/۲۷	۷۹/۹۶
N12-2	۲۰۵۰	۱۰۵۰	۰/۵۱	۴/۷۶۳	۲۲/۶۱	۹۰/۶۷	
N12-3	۲۰۵۶	۱۰۶۰	۰/۵۲	۴/۷۶۶	۲۲/۶۱	۹۰/۹۳	
SP8-1	۲۲۲۷/۵	۴۹۲/۵	۰/۲۲	۵/۲۰۹	۱۰/۰۵	۲۲۱/۶۴	۱۹۱/۱۳
SP8-2	۱۴۰۷/۵	۴۰۵	۰/۲۹	۱۱/۷۶۹	۱۰/۰۵	۱۴۰/۰۵	
SP8-3	۲۱۲۷/۵	۶۳۲/۵	۰/۳	۱۱/۵۵۴	۱۰/۰۵	۲۱۱/۶۹	
SP10-1	۳۵۳۷/۵	۹۶۲/۵	۰/۲۷	۶/۶۲۶	۱۵/۷۰	۲۲۵/۳۲	۱۸۷/۳۱
SP10-2	۲۶۴۵/۰۱	۵۱۲/۵	۰/۱۹	۶/۱۱۴	۱۵/۷۰	۱۶۸/۴۷	
SP10-3	۲۶۴۰	۶۴۲/۵	۰/۲۴	۶/۸۴۹	۱۵/۷۰	۱۶۸/۱۵	
SP12-1	۲۶۵۰	۹۵۵	۰/۳۶	۴/۹۱۰	۲۲/۶۱	۱۱۷/۲۰	۱۲۷/۴۵
SP12-2	۲۸۲۰	۶۰۵	۰/۲۱	۵/۷۶۵	۲۲/۶۱	۱۲۴/۷۲	
SP12-3	۳۱۷۵/۰۱	۳۷۲/۵	۰/۱۲	۹/۸۷۲	۲۲/۶۱	۱۴۰/۴۲	

روان کننده بيشتر از بتن معمولي است. مقدار كميت مذكور براي بتن حاوي فوق روان کننده و بتن معمولي به ترتيب ۷/۶۳، ۳/۱۱ ميليتر است.

با در نظر گرفتن نتايج كل نمونه‌ها مي توان گفت، تنش پيوستگي با افزايش قطر ميلگرد کاهش مي يابد و بيشترين تنش پيوستگي در هر دو نوع بتن مطالعه شده، مربوط به ميلگرد با قطر ۸ ميليتر مي باشد. از طرف ديگر، با توجه به اينكه سطح مقطع ميلگرد و نيروي نهايي قابل تحمل آن، با مجذور قطر ميلگرد متناسب است، لذا طول پيوستگي لازم براي مهار كشي آرماتورهاي با قطر بالا، به دليل افزايش توان كشي ميلگرد و کاهش تنش پيوستگي بتن- فولاد، حائز اهميت بوده و به توجه بيشترى نياز دارد.

مقدار ميانگين نسبت نيروي باقيمانده به نيروي پيك براي بتن معمولي و بتن داراي فوق روان کننده به ترتيب حدود ۰/۵۶ و ۰/۲۴ است و نشان مي دهد براي بتن با مقاومت بالاتر، مقدار نيروي بيرون كشيده گي پس از نيروي پيك و در ناحيه نزولي منحنى، در مقايسه با بتن معمولي، با افت نيروي بيشترى همراه بوده است.

با توجه به اينكه هدف از اخذ و آزمايش سه نمونه به ازاي هر نوع بتن و ميلگرد ثابت، ميانگين گيري از نتيجه‌ها و افزايش دقت جهت مقايسه نتايج بود. ميانگين نتيجه‌هاي حاصله براي پارامترهاي مورد نظر، در جدول ۷ ارائه گرديده است. اين جدول داري ۶ ردیف مي باشد كه اعداد هر ردیف، ميانگين سه نمونه با قطر ميلگرد و نوع بتن ثابت است. به طور مثال، گروه N8 ميانگين نتايج را براي بتن معمولي با قطر ميلگرد ۸ ميليتر نشان مي دهد. بر اساس اين جدول، نتايج مهم حاصل از آزمون‌هاي بيرون كشيده گي ميلگرد به شرح ذيل مي باشد:

ميانگين تنش پيوستگي براي بتن معمولي و بتن حاوي فوق روان کننده به ترتيب ۷۳/۱۹ و ۱۶۸/۶۳ كيلوگرم بر سانتيمتر مربع مي باشد. در نتيجه، نسبت مقاومت پيوستگي بتن حاوي روان کننده به مقاومت پيوستگي بتن معمولي ۲/۳ است. به عبارت ديگر، افزودني فوق روان کننده موجب افزايش ۱۳۰ درصدی مقاومت پيوستگي نسبت به بتن معمولي شده است. همچنين نتايج نشان مي دهد لغزش متوسط متناظر با نيروي پيك براي بتن حاوي فوق

جدول ۷- ميانگين نتايج بدست آمده براي نمونه‌هاي ميلگرد با قطرهاي مختلف

كود نمونه‌ها	نيروي اوج (kg)	نيروي باقيمانده (kg)	نسبت نيروي باقيمانده به نيروي اوج	لغزش مربوط به نيروي اوج (mm)	سطح پيوستگي (cm ²)	تنش ماكزيمم (kg/cm ²)	ميانگين تنش ماكزيمم (kg/cm ²)
N8	۸۵۹/۵۲	۶۷۵/۳۴	۰/۷۹	۲/۴۴۶	۱۰/۰۵	۸۵/۵۲	
N10	۸۴۹/۱۶	۳۴۵/۳۳	۰/۴۱	۲/۶۶۱	۱۵/۷	۵۴/۰۹	۷۳/۱۹
N12	۱۸۰۷/۸۳	۸۸۰	۰/۴۹	۴/۲۳۳	۲۲/۶۱	۷۹/۹۶	
SP8	۱۹۲۰/۸۴	۵۱۰	۰/۲۷	۹/۵۱	۱۰/۰۵	۱۹۱/۱۳	
SP10	۲۹۴۰/۸۴	۷۰۵/۸۳	۰/۲۴	۶/۵۳	۱۵/۷۰	۱۸۷/۳۱	۱۶۸/۶۳
SP12	۲۸۸۱/۶۷	۶۴۴/۱۷	۰/۲۲	۶/۸۵	۲۲/۶۱	۱۲۷/۴۵	

۸- نتيجه گيري

بررسی تغييرات اندازه نمونه‌ها پس از سخت شدن، ۵ عدد نمونه مكعبی استاندارد بتن تهيه گرديد. با توجه به منحنی‌هاي نيرو-جابجايی نمونه‌ها كه از روش بيرون كشيده گي مستقيم استخراج گرديد و همچنين نتايج آزمون‌هاي مقاومت فشاری نتايج كلي به شرح ذيل حاصل شد:

- افزودني فوق روان کننده تأثير افزايشی قابل ملاحظه‌ای بر روی مقاومت پيوستگي نمونه‌ها داشت به نحوی كه نسبت تنش پيوستگي ميانگين براي بتن حاوي فوق روان کننده ۲/۳ برابر مقدار

در اين تحقيق، اثر افزودني فوق روان کننده بر روی مقاومت پيوستگي فولاد-بتن به صورت آزمايشگاهی مورد مطالعه قرار گرفت. تعداد ۱۸ نمونه آزمايشی در دو نوع بتن معمولي و بتن حاوي فوق روان کننده با ميلگردهای با قطر ۸، ۱۰ و ۱۲ ميليتر از نوع AIII ساخته شد. مقاومت پيوستگي بتن-فولاد از طريق تست بيرون-كشيده گي مستقيم با دستگاه كشش يونيورسال تعيين گرديد و همزمان با ساخت نمونه‌ها، براي ارزيابی مقاومت فشاری و

reinforced concrete”, Engineering Structures, 164, 82–91, 2018.

[6] Looney T J, Arezoumandi M, Volz J, and Myers J, “An Experimental Study on Bond Strength of Reinforcing Steel in Self-Consolidating Concrete”, International Journal of Concrete Structures and Materials, 6(3), 187–197, 2012.

[7] Ahmed MD, Hafez E, Elyamany, Mostafa AH, Hazem MA, “Bond behavior and assessment of design ultimate bond stress of normal and high strength concrete”, Alexandria Engineering Journal, 53, 355–371, 2014.

[8] Esfahani MR, Hakem I A, “Bond strength of reinforcing bars in self-consolidating concrete (SCC) made with recycled aggregates”, Sharif journal of civil engineering, 2-27 (2), 93-99, 2011.

[9] Foroughi-Asl A, Dilmaghani S, Famili H, “Bond strength of reinforcement steel in self-compacting concrete”, International Journal of Civil Engineering, 6(1), 24–33, 2008.

[10] Hassan A, Hossain K, Lachemi M, “Bond strength of deformed bars in large reinforced concrete members cast with industrial self-consolidating concrete mixture”, Journal of Construction and Building Materials, 24(4), 520–530, 2010.

[11] Turk K, Benli A, Calayir Y, “Bond strength of tension lap-splices in full scale self-consolidating concrete beams”, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 32, 377–386, 2008.

[12] Castel A, Vidal T, Francois R, “Bond and cracking properties of self-consolidating concrete”, Journal of Construction and Building Materials, 24(7), 1222–1231, 2010.

[13] Bilek V, Bonczková S, Hurta J, Pytlík D, Mrovec M, “Bond Strength Between Reinforcing Steel and Different Types of Concrete”, Procedia Engineering, 190, 243 – 247, 2017.

[14] Nematinejad M, Eskandari-Naddaf H, Tadayonfar G, Saghi, H, “ANN Prediction of bond strength between steel rebar and concrete containing micro-silica, nano-silica and fibers”, Concrete research, 10(2), 47-57, 2017.

[15] Hadi M., Bond of high strength concrete with high strength reinforcing steel, The Open Civil Engineering Journal, 2, 143-147, 2008.

[16] Kabir R, Islam M, “Bond stress behavior between concrete and steel rebar: Critical investigation of pull-out test via Finite Element Modeling”, International journal of civil and structural engineering, 5(1), 80-90, 2014.

[17] Sureshbabu N. and Mathew G. Influence of temperature on bond-slip characteristics of concrete

مربوطه برای بتن معمولی بود. بیشترین مقاومت فشاری همانند مقاومت پیوستگی بتن- فولاد مربوط به نمونه بتن حاوی فوق روان کننده بود، به نحوی که مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با این افزودنی، ۱/۹ برابر مقاومت فشاری بتن معمولی بود. این نتیجه نشان دهنده ارتباط مستقیم مقاومت فشاری با مقاومت پیوستگی بتن- فولاد است. همچنین استفاده از این افزودنی با کاهش آب اضافی بتن، باعث تراکم بیشتر بتن و بالا رفتن وزن مخصوص بتن گردید، به نحوی که وزن مخصوص بتن حاوی فوق روان کننده حدود ۴/۳ درصد بیشتر از بتن معمولی بود.

- با توجه به نتیجه کلی نمونه‌ها می‌توان گفت مقاومت پیوستگی بتن- فولاد با افزایش قطر میلگرد کاهش می‌یابد و در نتیجه از بین سه میلگرد با قطر ۸، ۱۰ و ۱۲ میلیمتر، بیشترین تنش پیوستگی مربوط به میلگرد با قطر ۸ میلیمتر می‌باشد.

- نسبت نیروی باقیمانده به نیروی پیک، برای بتن حاوی فوق روان کننده کمتر از بتن معمولی می‌باشد که نشان می‌دهد برای بتن با مقاومت بالاتر، مقدار نیروی بیرون کشیدگی در ناحیه نزولی منحنی نیرو، با افت بیشتری همراه است.

۹- تقدیر و تشکر

با توجه به این که کلیه مراحل عملی تحقیق حاضر در آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان بوشهر انجام گردیده است، بدین وسیله از همکاری و مساعدت مسئولین محترم آن شرکت تشکر و قدردانی می‌گردد.

۱۰- مراجع

[1] Orangun CO, Jirsa IO, Breen JE, “A re-evaluation of test data on development length and splices”, ACI Journal, 74 (3), 114–122, 1977.

[2] Robert P, Thomas P, “Reinforced Concrete Structures”, John Wiley & Sons, New York, 1975.

[3] Mousa MI, “Effect of bond loss of tension reinforcement on the flexural behaviour of reinforced concrete beams”, HBRC Journal, 12, 235–241, 2016.

[4] Mousavi SS, Dehestani M, Mousavi KK, “Bond strength and development length of steel bar in unconfined self-consolidating concrete”, Eng. Struct., 131, 587–98, 2017.

[5]. Chu S H, Kwan A K H, “A new method for pull out test of reinforcing bars in plain and fiber

containing fly ash, Asian Journal of Civil Engineering, <https://doi.org/10.1007/s42107-020-00258-8>.

[18] Dybel P., Effect of casting direction on bond of reinforcement in High Performance Self-Compacting Concrete (HPSCC), MATEC Web of Conferences 262, 06004. 2019.

[19] Tepfers R and De Lorenzis L., "Bond of FRP reinforcement in concrete", Journal of Mechanics of Composite Materials, 39(4), 447-496, 2003.

[20] Tepfers R, "Bond clause proposal for FRPbars/rods in concrete based on CEB/FIP Model Code 90. Part 1: design bond stress for FRP reinforcing bars", Struct Concrete, 7(2), 47-55, 2006.

[21] Hao QD, Wang YL, Zhang ZC, "Bond strength improvement of GFRP rebars with different rib geometries", J Zhejiang Univ Sci A, 8(9): 1356-1365, 2007.

Experimental Investigation of the effect of super-plasticizer additive on the concrete-steel bond strength using pull-out test

Mehdi Razmi

MSc. Student, Islamic Azad University, Khormouj Branch.

Nahmat Khodaie *

Assistant Professor, Islamic Azad University, Khormuj Branch.

Abstract

The bond between concrete and reinforcing steel is essential for the composite action in reinforced concrete structures. In the present study, the effects of super-plasticizer additive on the steel-concrete bond strength is experimentally investigated. A total of 18 pullout samples are prepared in two concrete mix design cases, including ordinary and high-strength concrete. The used steel bars are of diameters 8, 10 and 12 mm, which are embedded inside the concrete in a length five times the rebar diameter. The steel-concrete bond strength is evaluated using direct pullout test method with the universal testing machine. Besides preparing the pullout specimens, 5 standard cube samples of concrete are casted to examine the concrete compressive strength and dimensions of the hardened concrete cubes. The specimens are tested at the 42-day ages and the slip-force curves are obtained using the pullout test. The maximum force and the corresponding slip, bond stress and other important parameters are determined and discussed for the different studied conditions. The results indicate that the rebar-concrete bond strength decreases by increasing the rebar diameter and the super-plasticizer additive has an important effect on the bond strength. For instance, the average bond strength for the concrete mix containing superplasticizer is 2.3 time of that for the normal concrete.

Keywords: Bond strength, Super-plasticizer, Pullout test, High-strength concrete, RC structures.

* Corresponding Author: N.khodaie@iaukh.ac.ir

