

اثر افزودنی های میکروسیلیس و فوق روان کننده بر مقاومت پیوستگی موضعی آرماتور و بتن

محمد رضا اصفهانی

استاد یار

دانشکده مهندسی عمران ، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در این تحقیق پیوستگی موضعی بین آرماتور و بتن با مقاومت معمولی و بالا مورد بررسی قرار می گیرد. هدف از مطالعه، تعیین اثر افزودنی های میکروسیلیس و فوق روان کننده بر مقاومت پیوستگی می باشد. در تحقیق تعداد ۵۰ عدد نمونه ساخته و آزمایش شدند. در هر نمونه آرماتوری به طول کوتاه در يك بلوك بتنی تعبیه شده و در آزمایش به بیرون کشیده شد. نتایج آزمایش ها نشان می دهند که افزودنی میکروسیلیس در مخلوط بتن مقاومت پیوستگی را کاهش نمی دهد. در نمونه های ساخته شده از بتن با افزودنی روان کننده کاهش قابل ملاحظه ای در مقاومت پیوستگی موضعی دیده نشد. لیکن در نمونه های از بتن با مقاومت بالایی که دارای هردو افزودنی مذکور بودند، مقاومت پیوستگی به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش یافت.

Effect of Silica Fume and Superplasticizer on Steel-Concrete Bond

M. R. Esfahani

Assistant Professor

Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

This paper presents a study on the influence of silica fume and superplasticizer on bond strength. The study included tests of fifty short length pull-out specimens in five series. The effect of silica fume and superplasticizer on bond strength was evaluated separately by tests of specimens made of concretes with similar strengths but different admixtures. Test results showed that the addition of silica fume in the concrete mixture had not a negative effect on bond strength. Also, there was not a considerable decrease in bond strength of specimens made of concrete with superplasticizer. Comparing the measured bond strengths normalized with respect to the square root of the concrete compressive strength, it was seen that the normalized bond strength increased with the concrete strength. This result agrees with the model previously proposed by the author for local bond strength. For the specimens made of high strength concrete including silica fume and superplasticizer, the normalized bond strength did not increase with the concrete strength.

Keywords

bond, high performance concrete, high strength concrete, reinforcing steel, silica fume, superplasticizer

آرماتور، بتن با مقاومت بالا، مقاومت پیوستگی، فوق روان کننده، میکروسیلیس.

مقدمه

باتوجه به گسترش روزافزون در استفاده از بتن با مقاومت بالا، لازم است مقاومت پیوستگی آرماتور و بتن با مقاومت بالا مطالعه شود. در تحقیقات اخیر گزارش شده است که مواد افزودنی میکروسیلیس و فوق روان کننده در مخلوط بتن بر مقاومت پیوستگی تأثیر می‌گذارند. متأسفانه در بعضی موارد نتایج بدست آمده متناقض بوده‌اند (۱). در این تحقیق با استفاده از بتن با مقاومت بالا اثر افزودنی‌های میکروسیلیس SF و فوق روان کننده SP بر مقاومت پیوستگی مطالعه می‌گردد. این افزودنی‌ها برای رسیدن به مقاومت‌های بالا لازم می‌باشند. به جز مشخصات هندسی آجها، عوامل اصلی مؤثر بر مقاومت پیوستگی، قطر آرماتور، ضخامت پوشش بتنی، مقاومت بتن و طول پیوستگی می‌باشند. در مورد مقاومت پیوستگی موضعی (مقاومت پیوستگی در طول‌های کوتاه) می‌توان از اثر طول صرف‌نظر کرد زیرا در این حالت توزیع تنش‌های پیوستگی در امتداد طول تقریباً یکنواخت است، با حذف اثر طول بر مقاومت پیوستگی می‌توان اثر عوامل دیگر را با دقت بررسی و مطالعه نمود. از جمله مهمترین مطالعات انجام شده بر پیوستگی موضعی مطالعه‌ای است که توسط تپفرز (Tepfers) انجام شد (۲). وی توزیع تنش‌های حلقوی در پهنای پوشش بتنی اطراف آرماتور را به کمک تئوری الاستیسیته مطالعه نمود. تنش‌های حلقوی در اثر نیروهای شعاعی مورب که از آرماتور به بتن اطراف اعمال می‌شوند، ایجاد می‌گردند (شکل ۱). تپفرز (۲) برای محاسبه مقاومت پیوستگی ترک خوردگی در طول‌های کوتاه، تئوری استوانه ضخیم نیمه ترک خورده را پیشنهاد نمود. در این تئوری فرض می‌شود که یک حلقه بتنی ترک نخورده وجود دارد که بتن ترک خورده و آرماتور را در بر می‌گیرد. این حلقه ترک نخورده نیروهای شعاعی مورب را که با زاویه α از آرماتور به بتن اعمال می‌شوند، تحمل می‌کند (شکل ۱). از آنجا که تعیین مقدار زاویه α عملی نبود، تپفرز (۲) زاویه α را ۴۵ درجه فرض کرد. اصفهانی و رنگان (۳) (Esfahani and Rangan) تئوری استوانه جدار ضخیم نیمه ترک خورده تپفرز را با در نظر گرفتن زاویه α

اصلاح نموده و معادله‌ای برای مقاومت پیوستگی موضعی بدست آوردند. این معادله برای بتن با مقاومت معمولی $f_c \leq 50 \text{ MPa}$ و برای بتن با مقاومت بالا $f_c > 50 \text{ MPa}$ عبارت است از:

$$u_c = [4.9 (C/d_b + 0.5)/(C/d_b + 3.6)]f_{ct} \quad f_c \leq 50 \text{ MPa} \quad (1)$$

$$u_c = [8.6 (C/d_b + 0.5)/(C/d_b + 5.5)]f_{ct} \quad f_c > 50 \text{ MPa} \quad (2)$$

در معادله‌های فوق u_c مقاومت پیوستگی ترک خوردگی پوشش بتن، C کمترین ضخامت پوشش بتن، $f_{ct} = 0.55$ با $(f_c')^{0.5}$ مقاومت کششی بتن، d_b قطر آرماتور می‌باشد. با استفاده از معادله‌های فوق، اصفهانی و رنگان (۳) معادله‌ای برای تعیین مقاومت پیوستگی وصله‌ها و طول‌های مهارى در تیرها ارائه نمودند.

در سال‌های اخیر با گسترش استفاده از بتن با مقاومت و توانمندی بالا (HPC) در سازه‌های بتن آرمه مطالعات مختلفی در مورد پیوستگی بین آرماتور و بتن با مقاومت بالا انجام شده است. بسیاری نشان داده‌اند که برای تعیین مقاومت پیوستگی در بتن با مقاومت بالا، روابط قبلی مناسب نیستند. از طرفی گزارش شده است که افزودنی‌های معمول در بتن با مقاومت بالا از جمله میکروسیلیس SF و روان کننده SP در مقاومت پیوستگی مؤثرند. گجورو و همکارانش (۴) (Gjorv et al) اثر SF را در مقاومت پیوستگی مطالعه نموده و نشان دادند که افزایش SF تا ۱۶ درصد وزنی سیمان، مقاومت پیوستگی را افزایش می‌دهد. برخلاف این نتایج، هوانگ و همکارانش (۵) (Hwang et al) در آزمایش وصله در تیرها نتیجه‌گیری کردند که افزودنی میکروسیلیس در بتن باعث کاهش مقاومت پیوستگی می‌گردد. حمد وایتانی (۶) (Hamad and Itani) در مطالعه اخیر خود که شامل آزمایش روی مقاومت پیوستگی وصله‌ها بوده است چنین نتیجه‌گیری کرده‌اند که هر دو افزودنی SF و SP در مخلوط بتن مقاومت پیوستگی را کاهش می‌دهند. متأسفانه تعداد نمونه‌های آزمایشی در تحقیقات فوق اندک بوده و با توجه به وجود پراکندگی بالقوه زیاد در نتایج آزمایش‌های پیوستگی نمی‌توان نسبت به نتیجه‌گیری‌های فوق اطمینان حاصل کرد. بنابراین همانند تعیین مقاومت فشاری نمونه‌های استاندارد بتن،

آزمایش ۱۰۰ میلیمتر از انتهای آرماتور تراشکاری شد (۷).

مشخصات آرماتور

آرماتور مورد استفاده با قطر اسمی ۲۰ میلیمتر از تولیدات کارخانه ذوب آهن اصفهان می باشد. برای تعیین تنش تسلیم و تنش نهایی آرماتور از دستگاه کشش آزمایشگاه مقاومت مصالح دانشکده مهندسی استفاده شد. در آزمایش کششی روی دو عدد نمونه، تنش تسلیم آرماتور بابر با 370 MPa و تنش نهایی گسیختگی برابر با 610 MPa اندازه گیری گردید. برای جزئیات مشخصات هندسی آج های آرماتور به گزارش تحقیقاتی مربوطه مراجعه گردد (۷).

مشخصات مخلوط بتن

سیمان مصرفی از نوع پوزولانی تیپ ۲ از تولیدات کارخانه سیمان مشهد بود. جنس سنگدانه ها از نوع اولترا بازیکی و حداکثر قطر درشت دانه مورد استفاده برابر ۹/۵ میلیمتر بود. ماسه مصرفی از مصالح رودخانه ای تهیه شد. شن و ماسه قبل از استفاده با آب شسته و سپس در هوای آزاد خشک شدند. در جدول ۱ جزئیات مخلوط بتن در سری های مختلف آزمایشی آورده شده است. پس از تهیه بتن در دستگاه اختلاط، بتن در قالب ها ریخته شد و روی صفحه دستگاه لرزاننده متراکم گردید. برای جزئیات تهیه و نگهداری نمونه های سریهای مختلف به گزارش تحقیقاتی مربوطه مراجعه شود (۷). نتایج آزمایش ها در جدول ۲ آورده شده اند. در جدول ۲، P میانگین بارهای نهایی ۵ نمونه از هر مجموعه بوده و u تنش پیوستگی نهایی (میانگین ۵ نمونه) است که به کمک رابطه $u = P / (\pi d_p L)$ محاسبه می شود. در این رابطه L طول نمونه، d_p قطر آرماتور و P بار نهایی می باشد. برای تعیین مقاومت فشاری بتن از استوانه های 20×10 cm و مکعب های 15×15 cm و 10×10 cm استفاده و مقاومت نمونه های استوانه ای 20×10 cm به عنوان مقاومت فشاری بتن در نظر گرفته شد.

در جدول های ۱ و ۲، نمادهای NC برای بتن معمولی، SF برای بتن محتوی میکروسیلیس، SP برای بتن محتوی روان کننده و (SF + SP) برای بتن محتوی میکروسیلیس و روان کننده می باشد.

می باید تعداد زیادی از هر نمونه ساخت و آزمایش نمود. از طرفی در هر یک از مطالعات فوق، بتن های مختلف شامل بتن معمولی، بتن حاوی SF و یا بتن حاوی SP، دارای مقاومت فشاری یکسان نبودند. بنابراین مقایسه مقاومت های پیوستگی آنها برای تعیین اثر SF و SP خالی از اشکال نخواهد بود. در این تحقیق نمونه های آزمایشی با طول پیوستگی کوتاه انتخاب شده اند تا بتوان با صرف نظر نمودن از اثر طول در مقاومت پیوستگی مقدار مقاومت پیوستگی موضعی را اندازه گیری کرد. در بخش های بعد مقاومت پیوستگی موضعی (مقاومت پیوستگی در طول های کوتاه) مورد بررسی قرار گرفته و اثر افزودنی های میکروسیلیس و روان کننده بر پیوستگی موضعی مطالعه خواهد شد. با توجه به اینکه در مورد پیوستگی انحراف معیار نتایج زیاد است، تعداد ۵ نمونه مشابه در هر مجموعه ساخته و آزمایش شدند.

نمونه های آزمایشی و روش آزمایش

تعداد ۵۰ عدد نمونه در ۵ سری ساخته و آزمایش شدند. در سری اول از بتن معمولی استفاده شد. سری دوم شامل بتن معمولی با مقاومت بالاتر از بتن سری اول و سری سوم شامل بتن با افزودنی میکروسیلیس بود. در سری چهارم از افزودنی فوق روان کننده برای تهیه بتن با مقاومت بالا استفاده شد. نمونه های سری پنجم از بتن با مقاومت بالا با افزودنی های میکروسیلیس و فوق روان کننده ساخته شد. مقایسه نتایج سری های فوق اثر میکروسیلیس و فوق روان کننده را بر پیوستگی موضعی مشخص خواهد کرد. به علاوه تفاوت مقاومت پیوستگی موضعی در بتن معمولی و بتن با مقاومت بالا تعیین می شود. هر یک از سری های مختلف شامل ۱۰ عدد نمونه بود. این ۱۰ نمونه شامل دو مجموعه ۵ عددی بود. در مجموعه اول مقدار C/d_p برابر با ۲ و در مجموعه دوم مقدار C/d_p برابر با ۴ بود. بنابراین هر مجموعه از ۵ نمونه مشابه تشکیل شده است. برای هر مجموعه ۵ نمونه ای یک قالب تهیه شد. شکل ۲ مشخصات یک نمونه آزمایشی را نشان می دهد. در هر نمونه طول کل آرماتور ۵۵۰ میلیمتر و طول مهار شده در بتن برابر با ۸۰ میلیمتر می باشد. ابعاد نمونه ها برای $C/d_p=2$ برابر با 240×180 میلیمتر و برای $C/d_p=4$ برابر با 240×180 میلیمتر بوده است. در تمام نمونه ها از آرماتور با قطر اسمی ۲۰ میلیمتر استفاده شد. به منظور ایجاد یک سطح مناسب برای نگهداری آرماتور در فک های دستگاه

دستگاه و روش آزمایش

برای کشیدن آرماتور از داخل بتن از دستگاه تعیین مقاومت کششی فولاد موجود در آزمایشگاه مقاومت مصالح استفاده شده است. برای ایجاد تکیه گاهی مناسب برای نگهداری نمونه بتنی در مقابل کشش از یک صفحه مربع شکل فولادی به ابعاد 100×100 میلیمتر و ضخامت ۲۰ میلیمتر که سوراخی به قطر ۲۴ میلیمتر در وسط آن تعبیه شده استفاده شد. قبل از آزمایش روی این صفحه قدری گریس پخش می شود تا از اصطکاک آن با بتن کاسته شده و بتن بتواند در اثر تنش های شعاعی ناشی از بیرون کشیدگی آرماتور به راحتی تغییر مکان جانی دهد. برای انجام آزمایش، آرماتور را از سوراخ صفحه فولادی عبور داده و سپس آن را در فک های دستگاه محکم می کنیم. سپس دستگاه را روشن کرده و آرماتور را با نیرویی با سرعت حدود ۱۲ کیلو نیوتن در دقیقه به بیرون می کشیم. پس از اینکه در اثر چند تکه شدن بلوک بتنی، آرماتور به بیرون کشیده شد، نیروی اعمال شده و زمان انجام آزمایش قرائت می شوند.

نتایج آزمایشگاهی و مقایسه آنها با مقادیر محاسباتی

مقادیر اندازه گیری شده و محاسباتی

برای محاسبه مقاومت پیوستگی موضعی، از روابطی که توسط اصفهانی و رنگان (۳) ارائه شده است، استفاده می شود. قبلاً نشان داده شد که این روابط به خوبی با نتایج آزمایشگاهی گذشته مطابقت داشته و از سایر روابط ارائه شده دقیق تر می باشند. این روابط با اصلاح ثنوری استوانه نیمه ترک خورده تپفرز به دست آمده اند. برای حالتی که $C_y/C_x=1$ می باشد، مقاومت پیوستگی موضعی از روابط ۱ و ۲ محاسبه می شوند. در روابط ۱ و ۲ اثر شکست بتن در مجاورت آج ها و تغییر زاویه α در نظر گرفته شده است (شکل ۳).

در جدول ۲ خلاصه نتایج آزمایش ها به همراه مقایسه آنها آورده شده است. در این جدول هر یک از مقادیر مقاومت های آزمایشی P و تنش نهایی مربوطه U_{test} میانگین نتایج ۵ نمونه آزمایشی مشابه می باشد.

اثر مقاومت فشاری بتن بر مقاومت پیوستگی موضعی

در گذشته محققین مقاومت پیوستگی را متناسب با مقاومت کششی بتن در نظر گرفته اند و از آنجا که

مقاومت کششی بتن، تقریباً با ریشه دوم مقاومت فشاری بتن $(f_c')^{1/2}$ رابطه مستقیم دارد، در روابط پیشنهادی و ضوابط آیین نامه های بسیاری کشورها مقاومت پیوستگی متناسب با $(f_c')^{1/2}$ می باشد. دلیل این موضوع ایجاد تنش های حلقوی در استوانه بتنی اطراف آرماتور است که باعث شکست کششی بتن می گردد. با توجه به مطلب فوق در بسیاری از تحقیقات برای تعیین اثر عوامل مختلف بر مقاومت پیوستگی رسم بر این بوده است که مقادیر مقاومت های پیوستگی را بر $(f_c')^{1/2}$ تقسیم نموده و یا به اصطلاح مقاومت پیوستگی نرمال شده نسبت به $(f_c')^{1/2}$ را محاسبه کرده و مقادیر آن را با یکدیگر مقایسه نمایند. با این کار فرض می شود که اثر عامل مقاومت بتن در مطالعه حذف شده و می توان اثر عوامل دیگر را مستقل از مقاومت بتن بررسی نمود. در مطالعه ای که اصفهانی و رنگان (۳) روی مقاومت پیوستگی طول های کوتاه (مقاومت پیوستگی موضعی) انجام دادند، برای اولین بار مشخص شد که مقاومت پیوستگی نرمال شده نسبت به $(f_c')^{1/2}$ مستقل از مقاومت فشاری بتن نیست و برای بتن با مقاومت های مختلف تفاوت می کند. در آن مطالعه برای بتن های با مقاومت معمولی و بالا دو رابطه ارائه و نشان داده شد که مقاومت پیوستگی نرمال شده نسبت به $(f_c')^{1/2}$ با افزایش مقاومت بتن افزایش می یابد. اصفهانی و رنگان (۳) پدیده فوق را ناشی از شکست لهیدگی بتن در جلوی آج های آرماتورها و تغییر زاویه نیروهای گوه ای از آرماتور به بتن و در نتیجه تغییر زاویه α دانستند. برای جزئیات بیشتر به مقاله مربوطه مراجعه شود (۳). در مطالعه حاضر نظریه فوق به کمک سه سری آزمایش NC24, SF36, NC57 دوباره تأیید می شود. شکل ۴ مقایسه نتایج مقاومت پیوستگی سری های مذکور را نشان دهد. در شکل مشخص است که با افزایش مقاومت فشاری بتن، مقاومت پیوستگی نرمال شده نسبت به $(f_c')^{1/2}$ افزایش می یابد.

اثر فوق روان کننده (SP) در مخلوط بتن بر مقاومت پیوستگی موضعی

در نمونه های با نسبت C/d_b مساوی، دو مجموعه نمونه NC57/2 و SP56/2 را در نظر می گیریم. مقاومت های فشاری بتن در این دو مجموعه تقریباً یکسان بوده و تنها تفاوت در این دو مجموعه وجود

یعنی مقادیر برای منحنی SF36 از منحنی میانگین با مقاومت ۴۰/۵ مگاپاسکال بیشتر است. از طرفی مقایسه مجموعه نمونه های SF36/4 و SP 36/4 در شکل ۵ نشان می دهد که افزودنی SF حتی ممکن است مقاومت پیوستگی را افزایش دهد. مقدار $u / (f_c')^{1/2}$ برای نمونه های SF36/4 برابر با ۱/۸۹ و برای نمونه های SP36/4 برابر با ۱/۷۸ می باشد. اگر نتیجه قبل در مورد عدم اثر کاهش دهندگی روان کننده بر مقاومت پیوستگی را بپذیریم، می توان گفت که SF مقاومت پیوستگی را افزایش نیز داده است.

مقایسه مقاومت پیوستگی در بتن معمولی و بتن با مقاومت و توانمندی بالا (HPC)

در قسمت های قبل ملاحظه شد که با افزایش مقاومت فشاری بتن، نسبت $u / (f_c')^{1/2}$ افزایش می یابد. در مورد نتایج آزمایشی بتن HPC که دارای مقاومت فشاری ۷۴ مگاپاسکال و شامل هردو افزودنی SF و SP بوده، نتیجه برعکس است. شکل ۷ نشان می دهد که مقادیر $u / (f_c')^{1/2}$ برای بتن HPC با مقاومت ۷۴ مگاپاسکال کمتر از مقادیر $u / (f_c')^{1/2}$ در مورد بتن معمولی با مقاومت فشاری ۵۷ مگاپاسکال می باشد. این نتیجه در مطالعه قبلی (۳) نیز مشاهده شده است. این مسئله ممکن است به علت کاهش تغییر شکل های پلاستیک در بتن با مقاومت بالا در حلقه بتنی اطراف آرماتور باشد. همچنین ممکن است وجود همزمان SF و SP در مخلوط بتن و لزجت زیاد بتن باعث کاهش مقاومت پیوستگی شده باشد. این موضوع نیاز به تحقیق بیشتری دارد.

افزودنی روان کننده در مجموعه SP56/2 می باشد. همانطور که در شکل ۵ نیز مشخص است مقادیر $u / (f_c')^{1/2}$ در دو مجموعه تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. در مجموعه NC57/2 میانگین برای چهار عدد نمونه برابر با ۱/۵۵ و در مجموعه SP56/2 برای ۵ عدد نمونه برابر با ۱/۵۷ می باشد. از طرفی همانطور که در جدول ۲ ملاحظه می شود، مقادیر u_{test} برای هر دو مجموعه برابر ۱۱/۷ مگاپاسکال می باشند. مقایسه نتایج مجموعه های SP36/4 و SF36/4 در شکل ۵ و جدول ۲ نیز نشان می دهد که مقاومت پیوستگی بتن با افزودنی روان کننده تنها ۶ درصد کمتر از مقاومت پیوستگی بتن با افزودنی میکروسیلیس می باشد. بنابراین این براساس این نتایج می توان گفت که وجود روان کننده به تنهایی مقاومت پیوستگی را کاهش نمی دهد.

اثر میکروسیلیس (SF) در مخلوط بتن بر مقاومت پیوستگی موضعی

مقایسه مقادیر $u / (f_c')^{1/2}$ برای سه سری آزمایشی SF36، NC24 و NC57 در شکل ۶ نشان می دهد که افزودنی SF در مخلوط بتن مقاومت پیوستگی را کاهش نداده است. همانطور که در شکل دیده می شود چنانچه افزایش $u / (f_c')^{1/2}$ را نسبت به افزایش مقاومت فشاری به طور خطی متناسب در نظر بگیریم، برای بتنی با مقاومت فشاری میانگین دو مقدار ۲۴ مگاپاسکال و ۵۷ مگاپاسکال یعنی مقدار ۴۰/۵ مگاپاسکال منحنی A را خواهیم داشت، در حالیکه منحنی مربوط به بتن ۲۶ مگاپاسکال بالاتر از این منحنی بوده

جدول (۱) جزئیات مخلوط بتن.

نوع بتن	f_c' (MPa)	Slump (mm)	W/C	سیمان Kg/m ³	SF (Kg/m ³)	SP* (Kg/m ³)	SP/C**	شن Kg/m ³	ماسه Kg/m ³
NC-24	۲۴	۳۵	۰,۵۰	۵۰۰	-	-	-	۹۸۰	۶۹۴
NC-57	۵۷	۱۵	۰,۴۵	۵۳۵	-	-	-	۹۹۰	۶۰۶
SF	۳۶	۵	۰,۴۶	۴۵۵	۸۰	-	-	۹۴۶	۵۸۴
SP-56	۵۶	۵	۰,۲۸	۵۳۵	-	۲۰,۱	۰,۰۱۵	۱۰۵۶	۶۳۴
SP-36	۳۶,۵	۳۰	۰,۳۱	۵۳۵	-	۲۰,۱	۰,۰۱۵	۱۰۵۶	۶۳۴
SF+SP	۷۴	۲۰	۰,۳۱	۴۵۵	۸۰	۲۰,۱	۰,۰۱۵	۱۰۵۶	۶۳۴

x مایع (به غلظت ۴۰ درصد)

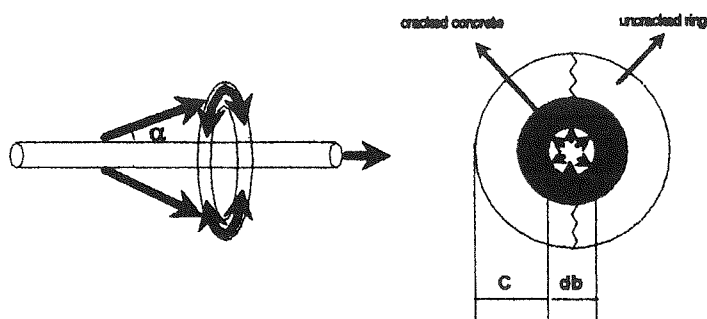
xx نسبت مواد جامد

جدول (۲) مقاومت‌های اندازه‌گیری شده و مقایسه آنها با مقادیر محاسباتی.

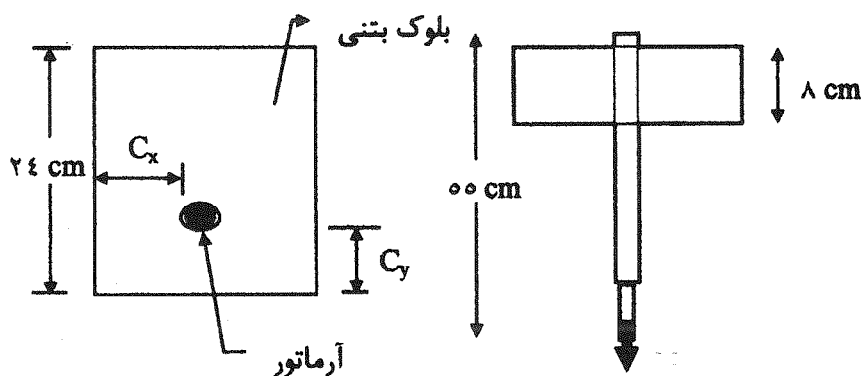
نوع بتن	f'_c	C/d_b	P (kN)	u_{test} (MPa)	u_c (MPa)	u_{test}/u_c
NC-24 MPa	۲۴	۲	۲۷,۱	۵,۴	۵,۹	۰,۹۲
	۲۴	۴	۳۶,۴	۷,۲	۷,۸	۰,۹۳
NC-57 MPa	۵۷	۲	۵۸,۶	۱۱,۷	۱۱,۹	۰,۹۸
	۵۷	۴	۷۸,۰	۱۵,۵	۱۶,۹	۰,۹۲
SF	۳۶	۲	۴۱,۴	۸,۲	۷,۲	۱,۱۴
		۴	۵۶,۹	۱۱,۳	۹,۶	۱,۱۸
SP-56	۵۶	۲	۵۹,۱	۱۱,۷	۱۱,۸	۰,۹۹
SP-36	۳۶,۵	۴	۵۴,۰	۱۰,۷	۹,۶	۱,۱۲
SF+SP	۷۴	۲	۶۱,۱	۱۲,۲	۱۳,۵	۰,۹۰
		۴	۷۶,۰	۱۵,۱	۱۹,۲	۰,۷۹

P = میانگین بارهای نهایی ۵ نمونه از هر مجموعه

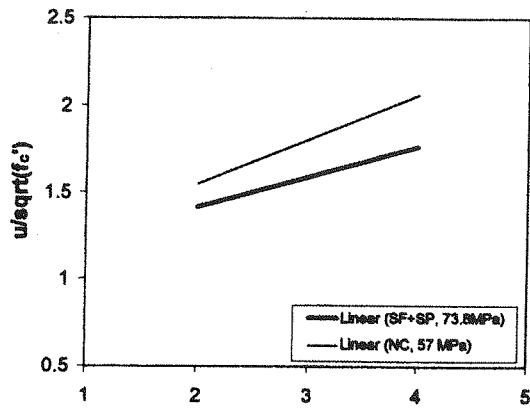
u = تنش پیوستگی نهایی میانگین برای هر مجموعه



شکل (۱) تنش‌های حلقوی در اثر نیروهای شعاعی مورب (۲) Tefpers.



شکل (۲) مشخصات یک نمونه آزمایشی.



شکل (۷) مقایسه مقاومت پیوستگی موضعی در بتن های معمولی و مقاومت بالا.

نتیجه گیری

در این تحقیق نتایج آزمایش ۵۰ عدد نمونه پیوستگی به طول کوتاه گزارش و با مقادیر محاسباتی مدل ارائه شده مقایسه شدند. براساس مطالعه انجام شده نتایج زیر بدست می آید.

۱- در تحقیق گذشته (۳) نظریه ای مبنی بر اینکه مقدار مقاومت پیوستگی موضعی نرمال شده با افزایش مقاومت فشاری بتن افزایش می یابد، ارائه شد. این نظریه که براساس تعداد محدودی نمونه آزمایشی مطرح شده بود، در سری های مختلف آزمایشی در این تحقیق به اثبات رسید.

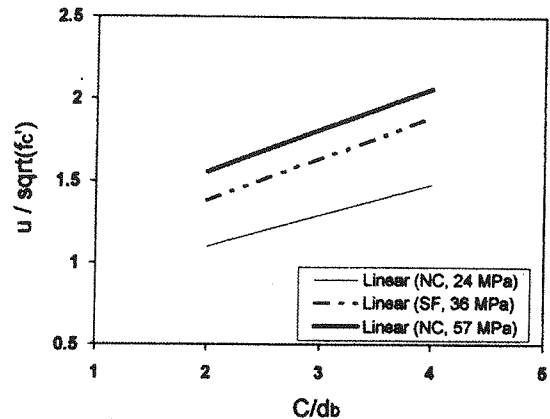
۲- نتایج آزمایش ها در این تحقیق نشان می دهند که افزودنی میکروسیلیس در مخلوط بتن باعث کاهش مقاومت پیوستگی نمی شود.

۳- براساس نتایج آزمایش ها، وجود افزودنی فوق روان کننده در مخلوط بتن اثر منفی قابل توجهی بر مقاومت پیوستگی ندارد. دلیل اینکه در بعضی تحقیقات گذشته اثر منفی گزارش شده است، عدم استفاده از بتن های با مقاومت های فشاری یکسان در سری های مختلف آزمایشی بوده است.

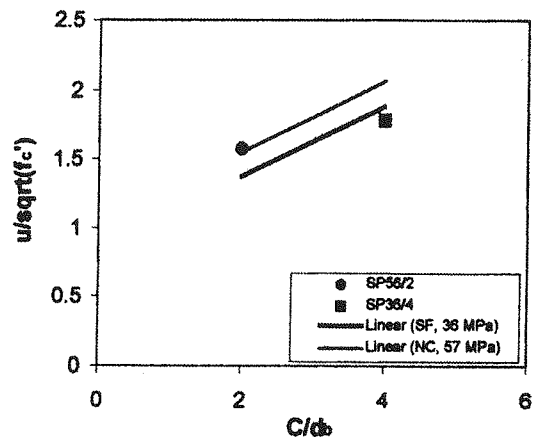
۴- در نمونه های ساخته شده از بتن با مقاومت های بالا که شامل هردو افزودنی فوق بوده اند، کاهش قابل ملاحظه ای در مقاومت پیوستگی موضعی دیده می شود. این مسئله ممکن است به دلیل کاهش تغییر شکل های پلاستیک در بتن با مقاومت و توانمندی بالا (HPC) باشد.



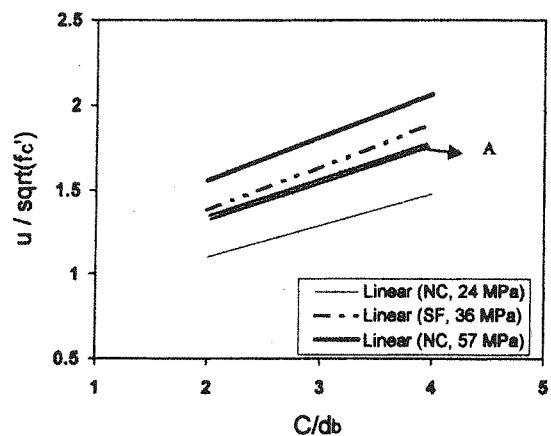
شکل (۳) شکست بتن در مجاورت آج آرماتور و تغییر زاویه α .



شکل (۴) اثر مقاومت بتن بر مقاومت پیوستگی موضعی.



شکل (۵) اثر فوق روان کننده بر مقاومت پیوستگی موضعی.



شکل (۶) اثر میکروسیلیس بر مقاومت پیوستگی موضعی.

قدردانی

همکاری ایشان بی شک انجام این طرح مدت زیادی به طول می انجامد. نویسنده از همکاری این گروه بخصوص دانشجوی سال چهارم گروه عمران آقای جواد مروتی قدردانی می کند.

این طرح پژوهشی به شماره ۱۰۵۰ به تصویب معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی رسیده و هزینه های آن توسط دانشگاه فردوسی تأمین شده است. نویسنده از این همکاری قدردانی می کند. در جریان آزمایش ها، دانشجویان گروه HSC با اینجانب همکاری نمودند. بدون

مراجع

- [1] Esfahani, M. R. "Bond Strength of Reinforcement in High-Performance Concrete," Discussion, ACI Materials Journal, July 1999, pp. 510-511.
- [2] Tepfers, R., "A Theory of Bond Applied to Overlapped Tensile Reinforcement Splices for Deformed Bars," Publication No. 73:2. Division of Concrete Structures, Chalmers University of Technology, Goteborg, 1973, 328 pp.
- [3] Esfahani, M. R. and Rangan, B. V., "Local Bond Strength of Reinforcing Bars in Normal Strength and High Strength Concrete (HSC), ACI Structural Journal, Vol. 95, No. 2, March/April 1998, pp. 96-106.
- [4] Gjorv, O. E, Monterio, P. J. and Mehta, P. K., "Effect of Condensed Silica Fume on the Steel-Concrete Bond," Proceedings, ACI Materials Journal, Vol. 87, No. 6, Nov. - Dec. 1990, pp. 573-580.
- [5] Hwang, S. J., Lee, Y. Y., and Lee, C. S., "Effect of Silica Fume on the Splice Strength of Deformed Bars of High Performance Concrete," ACI Structural Journal, V. 91, No. 3, May-June 1994, pp. 294-302.
- [6] Hamad, B., S. and Itani, M., S., "Bond Strength of Reinforcement in High-Performance Concrete" The Role of Silica Fume, Casting Position, and Superplasticizer Dosage," ACI Materials Journal, V. 95, No. 5, Sep-Oct. 1998, pp. 499-511.
- [7] Esfahani, M. R. "Effect of Silica Fume and Superplasticizer on Local Bond Strength," Report No. 1050, Ferdowsi University, Iran, 1998, pp. 30.