

تحلیل شکل پذیری محل اتصال در اعضاء ساخته شده از بتن خود متراکم (SCC)

علی اکبر مقصودی
دانشیار بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.
maghsoudi.a.a@mail.uk.ac.ir

چکیده:

در آئین نامه های طراحی، تحلیل اتصالات تیر به ستون در سازه های بتن مسلح به فراموشی سپرده شده است. اخیراً، در تعداد محدودی آئین نامه ها، روش طراحی این اعضاء مهم برای بتن های معمولی (بتن هائی که نیاز به ویبره کردن دارند) آورده شده است. اغلب چنین اعضائی از تراکم بالای میلگرد برخوردار بوده و امکان عبور و ویبره کردن مناسب بتن (معمولی) نمی باشد. در این صورت، استفاده از بتن نسل جدید معروف به بتن خود متراکم (Self Compacting Concrete, SCC) بدون نیاز به ویبره کردن، میتواند نه تنها یک مزیت بلکه تحولی اساسی در چنین اعضائی تلقی گردد. از خصوصیات ویژه SCC، می توان به کارایی بالا، مقاومت زیاد در برابر جدا شدگی، عدم نیاز به ویبره داخلی و یا بدنه قالب جهت تراکم و تسریع در عملیات ساخت و ساز اشاره کرد. در مناطق زلزله خیز، طراحی اعضاء بر اساس شکل پذیری منجر به ایمنی بیشتر آنها نسبت به سایر روشهای طراحی میگردد. در تحقیق حاضر، بعضی از پارامترهای تأثیرگذار جهت طراحی شکل پذیری اتصال در اعضاء بتن خود متراکم و همچنین مراحل عملکردی آنها مورد بررسی قرار گرفته است.

تعداد دو عدد اتصال شبیه سازی شده و با بتن خود متراکم با درصد فولاد کششی و فشاری متغیر ساخته و بصورت آزمایشگاهی تحت بار فزاینده تا مرحله تخریب بارگذاری شده است. مقادیر کرنش در ارتفاع مقاطع و محل اتصال (میلگرد و بتن) و خیز در نقاط مختلف در طول عضو قرائت گردیده و مورد بررسی قرار گرفته است.

از اهداف این تحقیق گزارش مشاهدات عینی رفتار شکل پذیری اتصال و نوع شکست مقاطع مورد آزمایش ساخته شده از بتن خود متراکم و مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج تئوریک آئین نامه ای بتن های معمولی می باشد.

واژه های کلیدی: اتصال، بتن خود متراکم (SCC)، درصد فولاد کششی و فشاری، شکل پذیری و عملکرد.

۱- مقدمه

ادامه به آنها اشاره شده است، پرداخته شده است. اتصالات شبیه سازی شده و پس از نصب ابزارهای دقیق اندازه گیری بر سطح بتن و میلگرد ها، اعضاء تحت بار قرار گرفته و عوامل مؤثر در شکل پذیری آنها مورد ارزیابی قرار گرفته است، تا بدین طریق بتوان نه تنها کمبود محسوس تحقیقات در مورد شکل پذیری اتصال تیر به ستون بتن مسلح را تا حدی بر طرف نمود بلکه همچنین از آنجا که هیچگونه گزارشی (غیر از مراجعات [۱۲]-[۱۵])، برای چنین اعضاء (دارای بتن خود متراکم) در دسترس نمی باشد، آغازی برای تحقیقات بعدی در چنین عناصر مهمی باشد. یادآور می گردد، الگوی شبیه سازی اتصالات این گزارش شبیه الگوی شبیه سازی شده مرجع [۱۶] است که قبلا برای بتن معمولی صورت گرفته است، می باشد.

۲- برنامه آزمایشات

۱.۲- نمونه های آزمایش

تعداد دو عدد نمونه اتصال بتنی مسلح دارای بتن خود متراکم به ابعاد $15 \times 30 \times 300$ سانتیمتر همراه با ریشه (stub) ستون به ابعاد $15 \times 30 \times 30$ سانتیمتر ساخته شده و آزمایش شده اند. در جدول ۱ جزئیات نمونه ها آورده شده است. استفاده از نشانه S7 و S8 در جدول S مشخص کننده بتن خود متراکم (SCC) و اعداد 7 و 8 نشان دهنده دو عدد نمونه آزمایش شده در این تحقیق با تغییر در میزان فولاد کششی و فشاری در مقطع می باشد (یادآور میگردد، گزارش کامل نمونه های S1-S6 در مرجع [۱۲] آورده شده است).

در شکل (۱) نمایی از نمونه های ساخته شده و همچنین محل نصب کرنش سنجهای الکتریکی و جزئیات کامل آرماتورگذاری نشان داده شده است.

۲.۲- مصالح آزمایش شده:

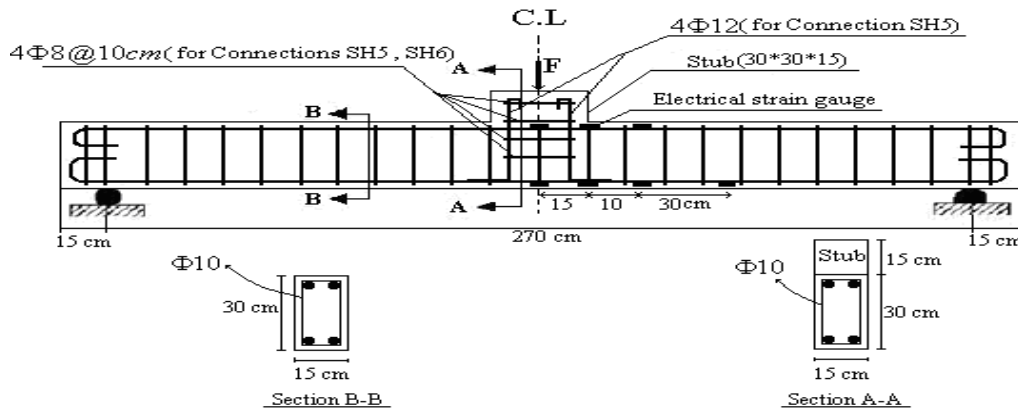
در نمونه ها از میلگرد آجدار کارخانه ذوب آهن اصفهان که از آزمایش میلگرد، تنش تسلیمی برابر با 400 MPa بدست آمد،

بتن خود متراکم (Self Compacting Concrete, SCC)، نسل جدید بتن است که توسط [1] Okumara به منظور حل مشکلات موجود ناشی از عدم تراکم و دوام سازه های بتنی مطرح گردید و در زمینه های مختلفی مورد استفاده قرار گرفت. این نوع بتن، به عنوان بتنی که برای متراکم شدن نیاز به هیچگونه ویبره داخلی و یا خارجی نداشته و تحت اثر وزن خود متراکم شده و در سازه های با تراکم بسیار بالای آرماتور از جمله اتصالات سازه های بتنی، کاربرد دارد. سه معیار اساسی به منظور ایجاد خود متراکم شونده در SCC عبارتند از: شکل پذیری بالا، توانایی عبور کنندگی یا تغییر شکل بالا و مقاومت زیاد در برابر جدایشگی [۲-۵]. احتیاج به هر یک از این معیارها به منظور اطمینان از بتن ریزی صحیح و عملکرد موفق این نوع بتن امری الزامی است.

پاسخ سازه به بارهای زلزله یا باد بستگی به سختی آن دارد، عمل شکل پذیری غیر ارتجاعی سعی به کاهش نیروهای اینرسی به ساختمان را داشته، در نتیجه باعث اقتصادی شدن طرح سازه می گردد. پارامترهای زیادی بر شکل پذیری سازه های بتنی موثرند [۶-۸]، که از بین آنها فولاد طولی (کششی و فشاری) بدلیل آنکه تغییر در میزان آن به شدت مقاومت مقطع را تغییر می دهد، بیشتر طراحان جهت حصول به مقاومت های مختلف از تغییر در میزان فولاد طولی (کششی و فشاری) استفاده می کنند [۵-۹]. به منظور بررسی رفتار کامل بار-تغییر شکل و همچنین میزان وارد شدن در ناحیه سختی کرنشی اعضاء بتن مسلح ساخته شده از بتن خود متراکم (SCC) و بار گذاری شده تا حد خرابی و با توجه به محدودیت آیین نامه ACI-02 [۱۰] و تجدید نظر شده در ACI-08 [۱۱] تعدادی اتصال با دو نوع بتن خود متراکم دارای مقاومت معمولی و مقاومت بالا، بنحوی که کرنش در فولاد کششی در بار نهائی وارد محدوده سختی کرنشی گردد، طراحی شده و در بازه های زمانی مختلف در آزمایشگاه بار گذاری شده و گزارش آنها ارائه شده است [۱۲-۱۵]. در مقاله حاضر گزارش دو عدد اتصال که اخیرا آزمایش شده است با مشخصاتی که در

جدول ۱: مشخصات و متغیرهای اتصالات

Specime no. no.	f'_c (MPa)	d (mm)	d' (mm)	A_s	ρ/ρ_b	A'_s	ρ	Stirrup in beam	Tie in column	A_s in column	ρ'/ρ
S7	27.6	267	31	2Φ16	0.25	2Φ12	1.01	Φ10@15	4Φ8@10	4Φ12	0.56
S8	32.3	265	33	2Φ20	0.36	2Φ16	1.58	Φ10@15	4Φ8@10	-----	0.64



شکل ۱- نمونه ای از شبکه آرماتورها و محل نصب کرنش سنجهای الکتریکی

تکیه گاه ساده تحت آزمایش قرار گرفته است (شکل ۱). خیز در نقاط مختلف دهانه بوسیله خیزسنج‌های مکانیکی و الکتریکی و کرنش در فولاد کششی، فشاری و خاموت بوسیله کرنش سنجهای الکتریکی نصب شده بر روی آنها اندازه گیری شد. پولکی‌ها بر سطح بتن جهت قرائت کرنش بتن نصب گردید و جهت بارگذاری از جک هیدرولیکی با ظرفیت ۱۴۰۰ KN استفاده شد. مراحل بارگذاری هر نمونه بین ۱۵ تا ۲۲ مرحله تا لحظه شکست صورت گرفته و پس از هر افزایش بار، مشاهدات و قرائت‌ها و گسترش ترک روی سطح تیر ثبت می‌گردید.

جدول ۲: ویژگیهای بتن خود متراکم (SCC) تازه

Slump flow diameter (mm)	L-box (h_2/h_1)	V-funnel flow time (Sec.)	J-ring (mm)
685 (650-700)	0.83 (0.8-1.0)	5 (max. 6)	682 (650-700)

استفاده شده است. از طرح اختلاط بتن خود متراکم که توسط نگارنده ارائه گردید و اطلاعات آن در مرجع [۱۲] بکار گرفته شد، استفاده گردید. پس از تهیه طرح اختلاط بتن، آزمایشات فاز ۲.۲ خمیری شامل اندازه گیری قطر جریان اسلامپ بتن، آزمایش حلقه-L، آزمایش جعبه-L شکل و آزمایش قیف-V، جهت سنجش ویژگی‌های بتن (خمیری) تازه خود متراکم انجام گردید. همچنین متوسط نتایج بدست آمده فاز خمیری بتن در جدول ۲ آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد، نتایج بدست آمده در محدوده مقادیر تعریف شده جهانی [۳] برای قرار گرفتن بتن در محدوده بتن SCC می‌باشد. همچنین بمنظور مقایسه نتایج بدست آمده با مقادیر جهانی، این مقادیر در داخل پرانتز در جدول ۲ آورده شده است. نتایج آزمایشات فاز بتن سخت شده، شامل مقاومت فشاری متوسط بتن هر عضو اتصال در جدول ۱ آورده شده است. کلیه نمونه‌ها و نمونه‌های کنترل ساخته شده، با شرایط یکسان، حداقل بمدت ۲۸ روز و تا ۲۴ ساعت قبل از آزمایش در زیر پلاستیک و گونی خیس نگهداری شده‌اند.

۳.۲- مراحل آزمایش

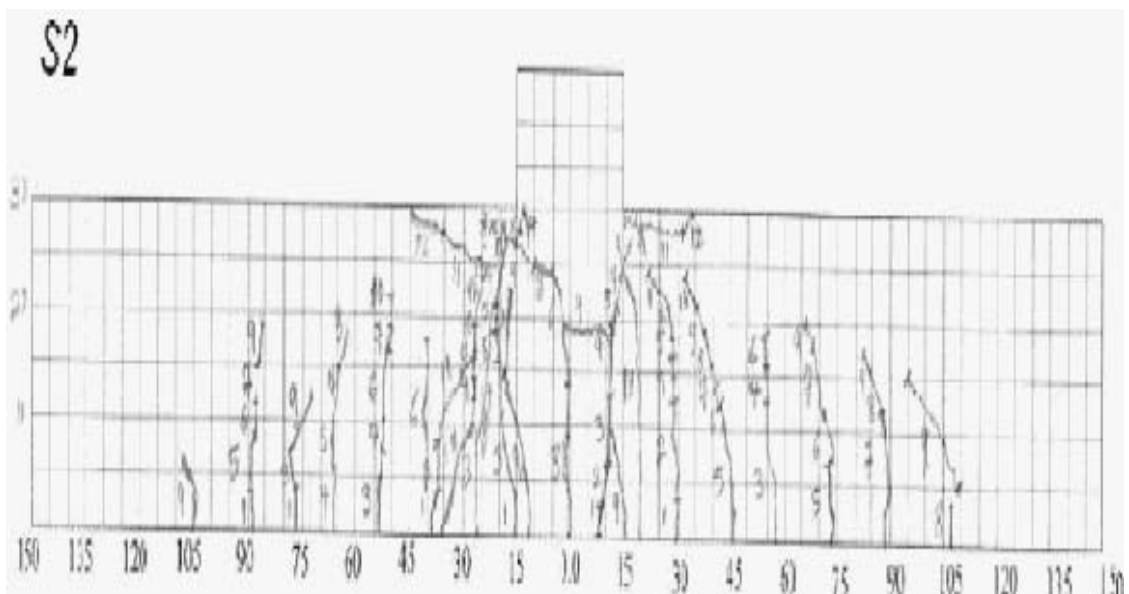
تعداد دو نمونه اتصال تحت بار نقطه‌ای بر روی سطح stub با

۳- نتایج آزمایش

در هر دو اتصال با توجه به نسبت دهانه برش به عمق موثر در نظر گرفته شده، مشابه مراجع [۱۲-۱۵]، شکست خمشی اتفاق افتاد. شکست در هر دو عضو در سطح فوقانی تیر و نزدیک فصل مشترک تیر و ستون (Stub) اتفاق افتاد. پوسته شدن اولیه بتن در وجه تیر و ستون شروع شد و با ادامه بارگذاری و با گسترش پوسته شدن در مناطق دورتر از بر ستون در تیر، تیر باربری خود را از دست داد (شکل ۲). در این تحقیق نتایج ممان-انحناء نمونه ها ارائه گردیده و با استفاده از این نمودارها، شکل پذیری انحناء نمونه ها که بیانگر رفتار سازه می باشد، محاسبه شده است. در حین بارگذاری نمونه ها، مقادیر آزمایشگاهی کرنش فولاد کششی بکمک ابزارهای دقیق نصب شده بر میلگردها با دقت میکرون قرائت و نتایج پردازش آنها ارائه شده است. در شکل ۲ نمایی از نمونه در هنگام تخریب و در شکل ۳ گسترش ترک در یکی از نمونه ها مشاهده می شود.



شکل ۲: نمایی از اتصال در هنگام تخریب

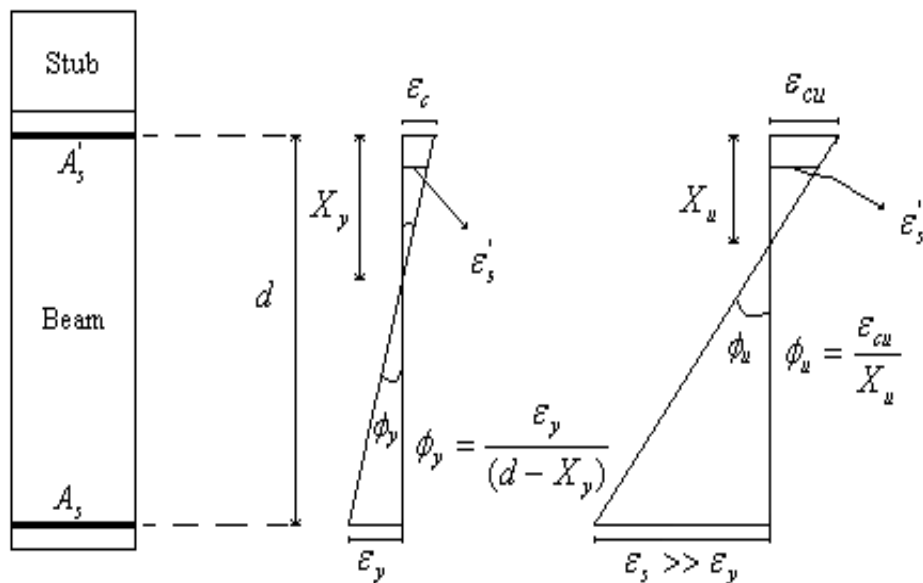


شکل ۳: نمایی از نحوه گسترش ترک و نحوه تخریب در یکی از اتصالات

۱.۳ - رفتار ممان انحنا و شکل پذیری انحنا

شکل پذیری انحنا (μ_ϕ) عبارتست از نسبت انحنا در بار نهائی (ϕ_u) به انحنا در اولین نقطه‌ای که فولاد کششی جاری (ϕ_y) می‌شود. بار نهایی در آزمایش عبارتست از، حداکثر باری که یک نمونه در حین بارگذاری قادر به تحمل کردن است و بعد از آن با کمترین افزایش باری، منحنی در نمودار ممان-انحنا نزولی می‌شود. بنابراین، بدین مفهوم، (ϕ_u) در نمودار ممان-انحنا نقطه ای روی منحنی است که شیب آن تغییر کرده و به صفر نزدیک می‌شود و (ϕ_u) نقطه ای روی منحنی ممان-انحنا است که شیب آن منفی (دارای سیر نزولی میگردد) می‌شود. یادآور میگردد با بکارگیری مفاهیم زیر در روابط مربوط به شکل ۴، مقادیر آزمایشگاهی شکل پذیری انحنا ($\mu_\phi = \phi_u / \phi_y$) برای اتصالات مزبور تعیین و مقادیر در جدول ۳ نشان داده شده است. بعنوان مثال مقدار آزمایشگاهی شکل پذیری انحنا (μ_ϕ) برای نمونه S7 از تقسیم کردن مقدار آزمایشگاهی انحنا نهائی به انحنا تسلیم ($16.16 = 175.25 / 10.84$) بدست می‌آید (جدول ۳).

d = عمق موثر مقطع
 X_u = ارتفاع محور خنثی در حالت نهائی
 X_y = ارتفاع محور خنثی در هنگام تسلیم میلگرد
 ϵ_c = کرنش فشاری بتن در هنگام تسلیم میلگرد
 ϵ_{cu} = کرنش فشاری بتن در هنگام تخریب عضو
 ϵ_s = کرنش میلگرد کششی در هنگام تخریب عضو
 ϵ'_s = کرنش فشاری میلگرد
 ϕ_y = انحنا مقطع در هنگام تسلیم میلگرد کششی
 ϕ_u = انحنا نهائی مقطع
 بمنظور رسم نمودارهای ممان-انحنا نمونه های آزمایشگاهی، پارامترهای مربوط به روابط شکل ۴، در مراحل مختلف بارگذاری، بصورت آزمایشگاهی اندازه گیری شده (مقادیر کرنش میلگردهای طولی به کمک قرائت کرنش سنج های الکتریکی و مقادیر کرنش بتن به کمک قرائت مکانیکی کرنش سنج های مکانیکی نصب شده در سطح بتن) و نتایج در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۴: انحنا تسلیم ϕ_y و انحنا نهائی تخریب ϕ_u (لحظه اعمال بار تخریب) خمشی

۲.۳ - مقادیر آزمایشگاهی کرنش فولاد کششی

افزایش یافته و در نتیجه در بار نهایی نسبت تنش فولاد کششی به بار جاری شدن فولاد افزایش یافته است [۱۲]. یادآور می گردد، در این مورد توضیحات بیشتری در بند ۳-۳ آورده شده است. در جدول ۵ مقادیر آزمایشگاهی بار جاری شدن و بار نهایی و همچنین نسبت مقادیر آزمایشگاهی ارتفاع خنثی در حالت تسلیم به ارتفاع خنثی نهایی نمونه ها نشان داده شده است.

نتایج نشان میدهد، برای دو نمونه آزمایش شده تحت بار نهایی، کرنش فولاد کششی به حد سختی کرنشی رسیده است. لذا، ضمن توصیه به انجام آزمایشات بیشتر، بنظر میرسد، می توان چنین نتیجه گیری کرد، نمونه های ساخته شده با بتن خود متراکم (SCC) بلحاظ شکل پذیری قابل اعتماد هستند (یادآور می گردد، چنین نتیجه گیری برای نمونه های مشابه ساخته شده از SCC و گزارش شده در مراجع [۱۲-۱۵] نیز صورت گرفته

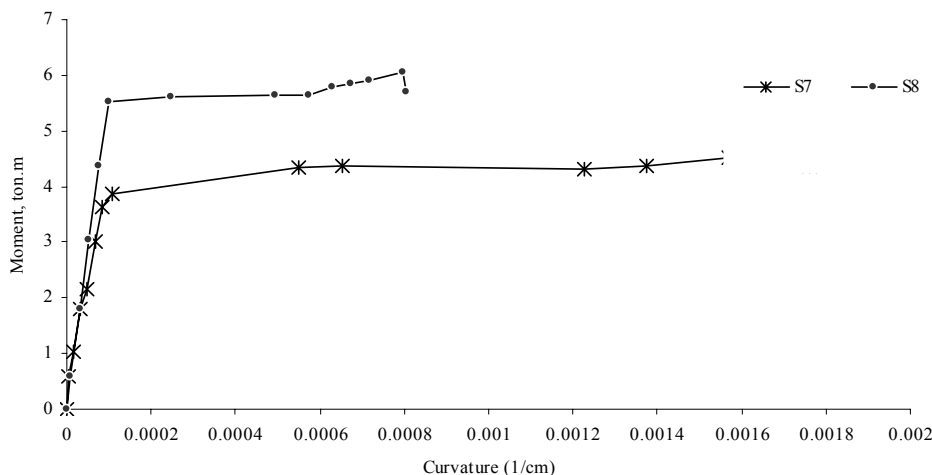
است). همانگونه که در ستون آخر جدول ۴ نشان داده شده است، در بار نهایی میزان تنش میلگرد کششی نمونه های آزمایش شده بیش از تنش جاری شدن فولاد می باشد بعبارت دیگر، در نمونه های SCC با تغییر درصد فولاد کششی و فشاری، تنش میلگرد در بار نهایی تغییر می یابد. برای نمونه های آزمایش شده این نسبت برابر با ۱/۸۴ برای نمونه S8 و ۱/۸ برای نمونه S7 بدست آمده است. لذا بمنظور محاسبه طول مهارى درنمونه های دارای SCC، امکان استفاده از تنش فولادی بیش از تنش جاری شدن بنحویکه همچنان شکست خمشی مقدم بر شکست پیوستگی باشد، وجود دارد. بعبارت دیگر، طراحی اتصالات بتن مسلح دارای بتن خودمتراکم شکل پذیر امکان پذیر است.

در مناطق زلزله خیز که نیاز به شکل پذیری قابل توجه در طراحی سازه هاست، بمنظور اطمینان از مهار کافی میلگرد در بتن و مقدم نبودن شکست پیوستگی بر خمشی، لازم است در بار نهایی، کرنش و تنش وارد محدوده سختی کرنشی (-Strain Hardening) گردد [۱۷]. لذا جهت اطمینان از نوع شکست، خصوصاً در مورد بتن خود متراکم از آنجا که گزارشی در این مورد ملاحظه نگردید، اقدام به نصب کرنش سنج الکتریکی بر سطح میلگردهای اعضاء در مقاطع مختلف گردید (شکل ۱-). در آزمایش نمونه ها در مراحل مختلف بارگذاری، با هر افزایش بار مقادیر کرنش میلگردها قرائت گردیده و در جدول ۴ میزان کرنش و تنش در فولاد کششی در بحرانی ترین مقطع (۱۵ سانتیمتری از مرکز نمونه) در بار نهایی محاسبه و آورده شده است.

بکمک آزمایش کشش میلگردها و رسم منحنی تنش-کرنش مربوطه، مقادیر کرنش بترتیب در ابتداء و انتهای طیف افقی (سختی کرنشی) میلگرد، برابر با $\epsilon_y = 0.0019$ و $\epsilon_{sh} = 0.0091$ بدست آمده است [۱۲] لذا، در محاسبات مربوط به این جدول کرنش فولاد کششی در ابتدا سختی کرنش برابر ۰/۰۰۱۹ و تنش جاری شدن فولاد ۴۰۰ مگا پاسکال در نظر گرفته شده است. همانگونه که از نتایج جدول مشهود است، با افزایش فولاد کششی در نمونه، از کرنش نهایی فولاد و مقدار وارد شدن کرنش به محدوده سختی کرنشی کاسته شده است و در نتیجه در بار نهایی از نسبت تنش فولاد کششی به تنش جاری شدن فولاد کاسته شده است. با افزایش فولاد فشاری در مقطع، کرنش نهایی

جدول ۳: مقایسه شکل پذیری انحناء آزمایشگاهی

شماره نمونه	آزمایشگاهی		
	ϕ_y	ϕ_u	μ_ϕ
S7	10.84	175.25	16.16
S8	9.95	79.81	8.02



شکل ۵: نمودار لنگر-انحناء نمونه های آزمایشی

جدول ۴: مقادیر کرنش و تنش فولاد کششی نمونه ها در بار نهایی

شماره نمونه	کرنش فولاد در بار تخریب ϵ_{sf}	نسبت کرنش تخریب به کرنش ابتدا سخت شدگی $(\epsilon_{sf} / \epsilon_y)$	تنش فولاد کششی در بار تخریب (MPa)	نسبت تنش فولاد کششی در بار تخریب به تنش جاری شدن فولاد کششی
S7	0.0409	21.5	739.8	1.8
S8	0.0342	18.0	736.4	1.84

خود متراکم از آنجا که گزارشی در این مورد ملاحظه نگردید، اقدام به نصب کرنش سنج های مکانیکی و الکتریکی بر سطح بتن در مقاطع مختلف گردید (شکل-2). در آزمایش نمونه ها در مراحل مختلف بارگذاری، با هر افزایش بار مقادیر کرنش بتن قرائت گردیده است. برای اتصال S7 و S8 مقادیر بار-کرنش بتن در بحرانی ترین تار فشاری بتن در مراحل مختلف بارگذاری در مرکز و ۱۵ سانتیمتری از مرکز بترتیب در شکل 6 و 7 نشان داده شده است.

همانگونه که از شکل های 6 و 7 مشهود است، میزان کرنش فشاری بتن (ϵ_{cu}) در هنگام تخریب عضو دارای بتن خودمتراکم، در محل اتصال تیر به ستون (در ۱۵ سانتیمتری از مرکز عضو) دارای بیشترین مقدار (این مقدار اندازه گیری شده با شکل 2 نیز هماهنگی دارد) و از مقدار محافظه کارانه پیش بینی

جدول ۵: مقادیر آزمایشگاهی بار جاری شدن و نهایی و نسبت ارتفاع محور خنثی تسلیم به ارتفاع خنثی نهایی

Member No.	S7	S8
P_u	7.53	10.07
X_u/d	0.087	0.246
P_y	6.21	8.71
X_y/d	0.392	0.441

۳.۳ - مقادیر آزمایشگاهی کرنش در تار بحرانی بتن منطقه فشاری

از مباحث تئوری شکل پذیری اعضاء مشخص گردیده است، میزان شکل پذیری، بطور مستقیم وابسته به مقدار کرنش نهایی بتن در بحرانی ترین تار فشاری عضو در هنگام تخریب است [۱۷]. لذا جهت اطمینان از نوع شکست، خصوصاً در مورد بتن

یادآور میگردد، نتایج تحقیقات بدست آمده محققین در مورد منحنی های تنش- کرنش مربوط به آزمایش نمونه های فشاری بتن های سستی (نیازمند به ویبره کردن)، دلالت بر تغییرات قابل توجه در میزان کرنش با توجه به رشد مقاومت آنها دارد. بعنوان مثال، در نمونه های دارای مقاومت فشاری کمتر، حداکثر مقدار کرنش نهائی بتن در هنگام تخریب بمراتب بیش از مقدار آن برای بتن های با مقاومت بالاتر است. به بیان دیگر بتن های سستی با مقاومت بالاتر تردشکن تر از بتن های سستی با مقاومت کمتر هستند. هرچند چنین نتیجه ائی در مورد بتن های خودمتراکم، SCC نیازمند به تحقیقات بیشتر دارد.

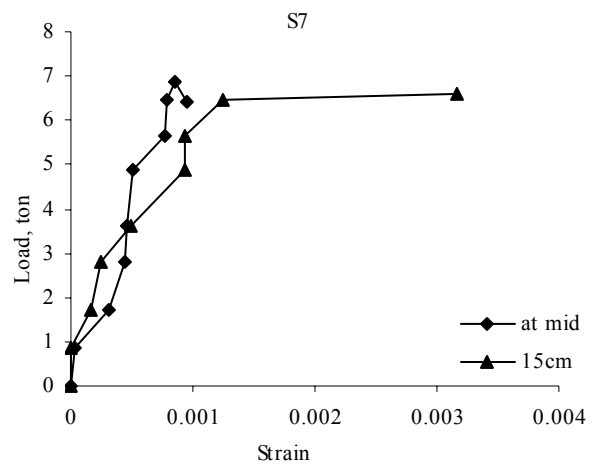
۴۰۳- عملکرد اتصالات دارای بتن خود

متراکم

در حین بارگذاری دو اتصال، چهار مرحله رفتاری مشابه دیگر اعضاء سازه های بتن مسلح دارای بتن معمولی مشاهده گردید.

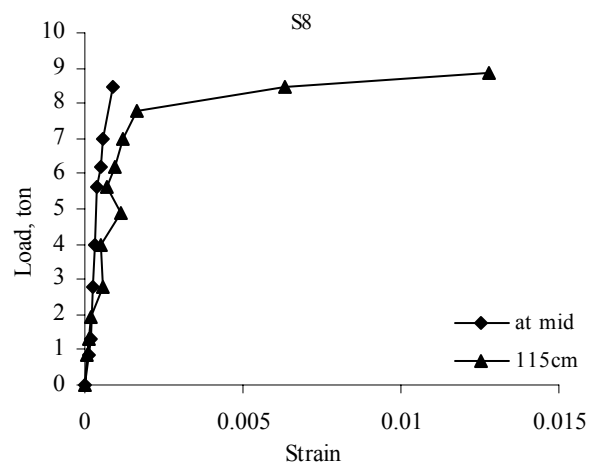
نمونه های آزمایش شده ابتدا در بار ترک خوردگی، در ناحیه کششی ترک می خورند، پس از آن، ممان اینرسی مقطع در اثر ترک خوردگی مقطع کاهش می یابد (شکل ۲). ترکهای خمشی اولیه در محل اتصال تیر به ستون (stub) در ارتفاع کمی از پائین تیر به طرف بالا گسترش می یابد. مرحله مهم دوم، تسلیم میلگرد کششی عضو میباشد. از آنجا که اعضاء بطور مطلوبی مسلح شده اند (جدول ۱)، فولاد کششی قبل از رسیدن به کرنش بحرانی فشاری در بتن، تسلیم شده است (جدول ۳ و ۴). مرحله تسلیم از اهمیت ویژه ای برخوردار است؛ زیرا این مرحله، مرز بین آنچه که رفتار الاستیک نامیده می شود و رفتار غیر الاستیک را مشخص می نماید. مرحله سوم رفتاری عضو، معرف شکست اولیه بتن (رسیدن کرنش در تار بحرانی عضو به کرنش بحرانی فشاری بتن) در منطقه فشاری می باشد. به منظور شناسائی این مرحله، از قرائتهای کرنش فشاری بتن اتصال استفاده شده است (اشکال ۶ و ۷ بیانگر رسیدن مقدار بیش از مقدار پیشنهادی آئین نامه ACI برای بتن های معمولی است. مرحله آخر رفتاری (مرحله چهارم) عضو با پوسته پوسته شدن سطحی در طرف فوقانی تیر در گوشه های Stub (محل وصل عضو عمودی Stub به سطح فوقانی تیر در این محل) و رسیدن کرنش بتن در

شده ($\epsilon_{cu}=0.003$) آئین نامه [11] ACI برای بتن های سستی (نیازمند به ویبره کردن) بیشتر می باشد. همانگونه که از جدول ۱ مشخص است، مقدار فولاد فشاری استفاده شده برای نمونه S8 ($A'_s=2\Phi16$) بیش از نمونه S7 ($A'_s=2\Phi12$) است. بعبارت دیگر (علیرغم توصیه با انجام آزمایشات بیشتر)، با توجه به تعداد اندک دو آزمایش انجام شده در این تحقیق، می توان چنین نتیجه گیری کرد که، مشابه سازه های بتن مسلح حاوی بتن سستی (بتن های نیازمند به ویبره کردن)، در سازه های بتن مسلح دارای SCC نیز با افزایش فولاد فشاری مقدار شکل پذیری (با افزایش در میزان کرنش بتن (ϵ_{cu})) افزایش می یابد. این مهم برای نمونه S8 در شکل 7 مشهود است ($\epsilon_{cu} > 0.0$).



شکل ۶: نمودار بار-کرنش فشاری تار بحرانی بتن نمونه اتصال

S7



شکل ۷: نمودار بار-کرنش فشاری تار بحرانی بتن نمونه اتصال

S8

2. Skarendahl, A., Petersson, Ö., 2001, State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC, Self-Compacting Concrete, Report No. 23, P.P. 141.
3. Khayat, K.H., 1999, Workability, Testing, and Performance of Self- Consolidating Concrete, ACI Materials Journal, Vol. 96, No. 3, P.P. 349-353.
4. Maghsoudi, A.A., Hoornahad, H., 2005, Investigation of Engineering properties of SCC with Colloidal Silica,, Proceeding of the Third International Conference, The University of British Vancouver, Canada. Colombia,
5. Maghsoudi, A.A., Hoornahad, H., 2004, Self Compacting Concrete Workability Test Method ,Peace Winds Japan Incorporation with Housing Foundation of the Islamic Republic of Iran, Earthquake Safer Design for People, Bam, Iran, P.P. 74-77.
6. مقصودی، ع. ا. و اکبرزاده بنگر، ح.، آنالیز شکل پذیری تیرهای محصور شده دارای بتن مقاومت بالا (HSC)، ۱۳۸۳، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، کد مقاله ۱۰۲۴.
7. Ashour, A.A., 2000, Effect of Compressive Strength and Tensile Reinforcement Ratio on Flexural Behavior of High-Strength Concrete Beams, Eng. Struct. J., P.P. 413-423.
8. Mattock, A.H., 1964, The Rotational Capacity of Hinging Region in Reinforced Concrete Beams, Proceedings of the International Symposium on Flexural Mechanics of Reinforced Concrete, ASCE-ACI, Miami, P.P. 143-181.
9. MAGHSOUDI A. A. and AKBARZADEH H. B. Flexural ductility of HSC members. Struct. Engng. and Mechanics, An International J., 2006, 24, Sept, 195-212
10. American Concrete Institute (ACI), 2002, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI 318_02 and ACI 318R_02.
11. American Concrete Institute (ACI), 2008, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI 318_08 and ACI 318R_08.
۱۲. فرخ قاطع، ح.، بررسی تحلیلی و تجربی شکست اتصالات تیر به ستون در اعضای بتن مسلح دارای بتن خود متراکم (SCC)، ۱۳۸۵، پایان نامه کارشناسی ارشد، بخش مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان (استاد راهنما دکتر مقصودی).
۱۳. محمدی ینگچه، م.، بررسی شکل پذیری اتصالات تیر- ستون با بتن خودتراکم مقاومت بالا، شهریور ۱۳۸۶، پایان نامه

این ناحیه به کرنش نهایی، شکست رخ می دهد. در مرحله ۴ نیز ممکن است که میلگردهای کششی گسیخته شده و باربری خود را از دست بدهند و یا فولادهای فشاری دچار کمانه شوند، تصاویری از کمانه کردن فولادهای فشاری در محل stub در مراجع [12, 13] موجود است.

۴- نتیجه گیری:

- ۱- در این نوع بتن، همانند اعضای بتن معمولی، با افزایش فولاد فشاری در مقطع، مقدار شکل پذیری انحاء (با افزایش در میزان کرنش بتن (ϵ_{cu}))، افزایش یافته است.
- ۲- همانند اعضای بتن معمولی (NC)، با افزایش فولاد کششی، عمق محور خنثی در شرایط نهایی افزایش یافته و با افزایش فولاد فشاری عمق محور خنثی در شرایط نهایی کاهش یافته است..
- ۳- برای نمونه های آزمایش شده تحت بار نهایی، کرنش در فولاد کششی به حد سختی کرنشی رسیده، لذا، ضمن توصیه با انجام تحقیقات بیشتر، بنظر چنین میرسد، نمونه های مزبور از شکل پذیری قابل اعتمادی برخوردارند و امکان رسیدن تنش در فولاد بیش از تنش جاری شدن بنحویکه همچنان شکست خمشی مقدم بر شکست پیوستگی گردد، وجود دارد.
- ۴- با افزایش فولاد کششی در نمونه، از کرنش نهایی فولاد و مقدار وارد شدن کرنش به محدوده سختی کرنشی کاسته شده است و در نتیجه در بار نهایی از نسبت تنش فولاد کششی به تنش جاری شدن فولاد کاسته شده است
- ۵- عملکرد بتن خود متراکم (بدون نیاز به ویریه کردن) در سازه های بتن مسلح همانند بتن معمولی (نیازمند به ویریه کردن) چهار مرحله رفتاری از خود نشان داده است. بنابراین، بنظر میرسد، در نواحی با تراکم زیاد آرماتورکه استفاده از بتن معمولی را با مشکل ویریه کردن روبرو می گرداند، میتواند جایگزین مناسبی باشد.

۵- مراجع

1. Okamura, H., 1997, Self-Compacting High-Performance Concrete, Concrete International, Vol. 19, No. 7, P.P. 50-54.

- کارشناسی ارشد، بخش مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان (استاد راهنما دکتر مقصودی).
۱۴. علی اکبر مقصودی و مسعود محمدی ینگچه، مفصل پلاستیک در تیر ستونهای بتن مسلح با بتن خودمتراکم با مقاومت بالا (HSSCC)، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷.
۱۵. مقصودی، ع.، ا. و فرخ قاطع، ح.، "شکل پذیری و حالت نهایی محل اتصال در اعضا ساخته شده از بتن خود متراکم"،
- اولین کنفرانس بین المللی مقاوم سازی سازه ها، کد مقاله ۶۰۵، دانشگاه امیرکبیر، تهران، اردیبهشت ۱۳۸۵.
16. Ned H.B., Chester P.S.F., 1966, Plastic Hing - ing in Reinforced Concrete, .Journal of the Stru - ctural Division Proceeding of the American Soc - iety of Civil Engineers, ASCE , P.P. 45-64.
۱۷. مقصودی، علی اکبر، "شکل پذیری سازه های بتن آرمه ویژه مناطق زلزله خیز"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۷۵