

بررسی آزمایشگاهی اثر ورق‌های سخت‌کننده در رفتار ستون‌های فولادی پُر شده با بتن CFST

طالب مرادی شقاقی (دکتری)

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

فریبرز ناطقی الهی (استاد)

پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

ستون‌های فولادی پُر شده با بتن CFST نوعی از ستون‌های مرکب هستند که به دلیل مزایای فراوانی که نسبت به ستون‌های بتن‌آرمه و فولادی دارند، استفاده از آن‌ها مخصوصاً در ساختمان‌های بلند در سال‌های اخیر رواج زیادی پیدا کرده است. در این تحقیق اثر ورق‌های سخت‌کننده که به صورت سرتاسری و یا در نواحی بحرانی (محل تنش‌های بیشینه) در داخل ستون به جدار فولادی جوش می‌شوند، به صورت آزمایشگاهی بررسی می‌شوند. در این بررسی‌ها ۱۰ نمونه ستون با مقیاس حدود ۱:۳ ساخته شده‌اند و آزمایش می‌شوند. تعدادی از نمونه‌ها بدون ورق‌های سخت‌کننده هستند و در تعدادی ورق‌های سخت‌کننده در تمام طول ستون و در تعدادی دیگر ورق‌های سخت‌کننده در ناحیه‌ی بحرانی ستون قرار داده شده است. نمونه‌های مورد آزمایش تحت بار محوری فشاری توأم با بار جانبی متناوب افزایش‌یابنده تا انهدام کامل ستون قرار می‌گیرند و منحنی‌های رفتاری نمونه‌ها ترسیم شده و مورد بررسی قرار می‌گیرند. از لحاظ شکل مقطع عرضی، سه شکل دایره، مربع و هشت ضلعی در نظر گرفته شده است. وجود ورق‌های سخت‌کننده در نواحی بحرانی ستون باعث بهبود رفتار ستون در چرخه‌های بارگذاری جانبی می‌شوند و شکل‌پذیری ستون را افزایش می‌دهند.

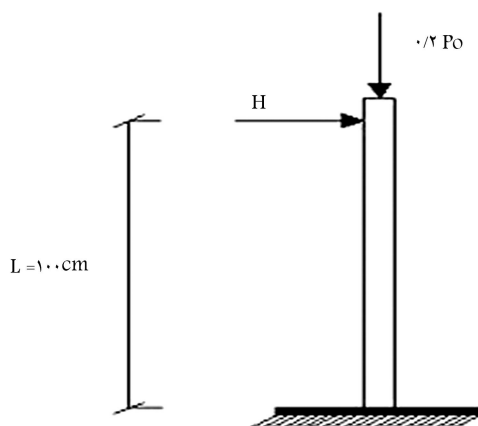
واژگان کلیدی: ستون‌های فولادی پُر شده با بتن، جدار فولادی، ورق‌های

سخت‌کننده، شکل‌پذیری، بار جانبی متناوب.

ta.moradi@yahoo.com
nat.eghi@iiies.ac.ir

مقدمه

برای بررسی آثار ورق‌های سخت‌کننده در رفتار ستون‌های CFST، در آزمایشگاه سازی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۰ نمونه ستون با مقیاس حدود ۱:۳ ساخته و تحت نیروی محوری فشاری توأم با نیروی جانبی متناوب افزایش‌یابنده آزمایش شدند. از ۱۰ نمونه ستون، نمونه‌های O_2 ، O_3 ، S_3 ، C_3 بدون ورق‌های سخت‌کننده و نمونه‌های O_2S ، C_3S دارای ورق‌های سخت‌کننده در سرتاسر طول ستون و نمونه‌های S_3SN ، O_3SN ، O_2SN ، C_3SN دارای ورق‌های سخت‌کننده در ناحیه‌ی بحرانی ستون (محل تنش‌های بیشینه) بودند. در آزمایش‌ها از دستگاه محرک نیرو با ظرفیت ۵۰۰ کیلو نیوتن برای اعمال بار محوری و از دستگاه با ظرفیت ۲۵۰ کیلو نیوتن برای وارد کردن بار جانبی در انتهای ستون به صورت اعمال تغییر مکان جانبی استفاده شد.^[۱]



شکل ۱. مدل نمونه‌های CFST.

نمونه‌ها به صورت یک‌سرگیردار مدل شدند و در انتهای آزاد تحت بار محوری تا حدود $0.2 P_o$ توأم با بار جانبی افزایش‌یابنده به صورت اعمال تغییر مکان جانبی رفت و برگشتی قرار گرفتند.^[۲] تصویر تعدادی از نمونه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

مدل نمونه‌های تحت آزمایش

مدل ۰ نمونه‌های تحت بار محوری توأم با بار جانبی به صورت شکل ۱ است. این

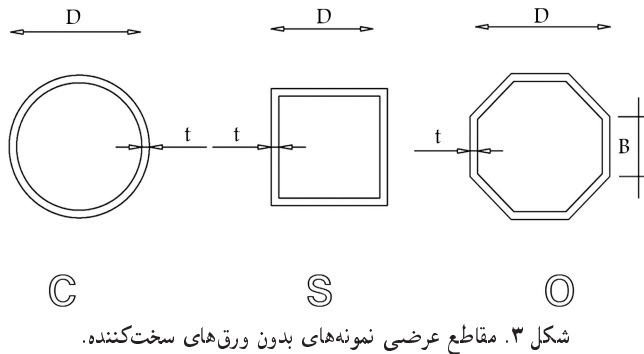
تاریخ: دریافت ۱۳۸۶/۱۱/۱۰، دوری ۱۳۸۷/۵/۱۵، پذیرش ۱۳۸۷/۷/۳۰.

جدول ۲. مشخصات بتن نمونه‌ها.

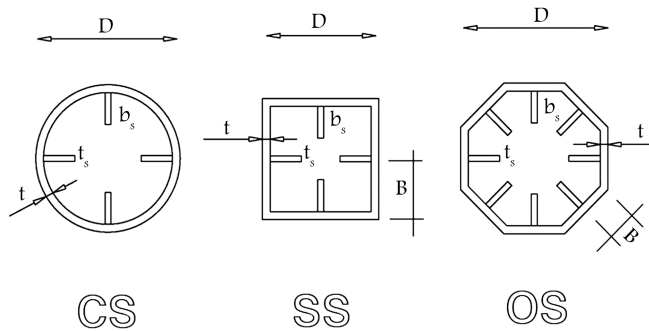
آزمونه‌ها	وزن مخصوص (Kn/m^3)	f_c' (Mpa)
آزمونه‌ی مکعبی ۱	۲۲,۵۷	۳۰,۸
آزمونه‌ی مکعبی ۲	۲۲,۷۴	۲۷,۲
آزمونه‌ی استوانه‌یی ۱	۲۲,۴۴	۳۰,۴
آزمونه‌ی استوانه‌یی ۲	۲۱,۸۵	۲۶,۹



شکل ۲. تصویر تعدادی از نمونه‌های آزمایش.



شکل ۳. مقاطع عرضی نمونه‌های بدون ورق‌های سخت‌کننده.



شکل ۴. مقاطع عرضی نمونه‌های با ورق‌های سخت‌کننده.

اول مشخص‌کننده‌ی شکل مقطع و عدد بعد از حرف اول مشخصه‌ی ضخامت جداره‌ی فولادی است. نمونه‌هایی که حرف سوم آن‌ها S است، دارای ورق‌های سخت‌کننده در سرتاسر طول و نمونه‌هایی که حرف سوم و چهارم آن‌ها SN است، دارای ورق‌های سخت‌کننده در ناحیه‌ی بحرانی (پایین ستون) هستند. مشخصات هندسی نمونه‌ها طوری طراحی شده است که با دستگاه‌های موجود در آزمایشگاه بتوان نمونه‌ها را تا حد گسیختگی آزمایش کرد. مشخصات هندسی نمونه‌ها و مقاومت مشخصه‌ی بتن و تنش تسلیم فولاد جداره‌ی نمونه‌ها در جدول ۳ و شکل مقطع عرضی نمونه‌ها در شکل‌های ۳ و ۴ آورده شده است. در جدول ۳، P_o مقاومت محوری خالص ستون است. در جدول ۳، t_s و b_s به ترتیب عرض و ضخامت ورق‌های سخت‌کننده، و A_s و A_c به ترتیب مساحت بتن و فولاد مقطع نمونه‌ها هستند.

جدار فولادی به همراه ورق پای ستون و اتصال پایین در یک کارگاه صنعتی با دقت بسیار بالا ساخته شده و در آزمایشگاه بعد از بتن‌ریزی و عمل‌آوردن بتن، در سن ۲۸ روزه با ۴ عدد پیچ نمره‌ی ۲۵ از نوع پر مقاومت به قاب صلب آزمایشگاه متصل شد. در ساخت جدار فولادی از جوش شیاری سرتاسری استفاده شده است.

مشخصات مصالح نمونه‌ها

مشخصات فولاد جداره‌ی نمونه‌ها

فولادهای مورد استفاده در ساخت جداره‌ی نمونه‌ها از نوع ST-۳۷ است که تحت آزمایش کشش قرار گرفتند. مشخصات فولادها طبق نتایج آزمایش‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

مشخصات بتن مصرفی در نمونه‌ها

با توجه به اینکه نمونه‌های مورد آزمایش کوچک‌تر از مقادیر واقعی و با مقیاس حدود ۱:۳ هستند، لذا مصالح بتن نمونه‌های ستون با مصالح ستون‌های واقعی مقادیری فرق خواهند داشت. دانه‌بندی مواد دانه‌یی در نمونه‌ها با دانه‌بندی مواد دانه‌یی در مقیاس واقعی ستون‌ها متفاوت خواهد بود.^[۵]

در نمونه‌های مورد آزمایش نسبت‌های وزنی مواد تشکیل‌دهنده‌ی بتن ۰/۵۷:۱:۴ ($W/C, C, Agg.$) و عیار سیمان مصرفی 350 Kg/m^3 است.^[۵] آزمونه‌های بتن در قالب‌های استوانه‌یی و مکعبی در حین بتن‌ریزی نمونه‌ها برداشته شده‌اند و در روز آزمایش (در سن ۲۸ روزه)، تحت آزمایش فشار قرار گرفتند که مشخصات آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

مشخصات نمونه‌های آزمایشی

نمونه‌های آزمایشی ستون‌های CFST شامل ۱۰ نمونه است که شکل مقاطع نمونه‌ها دایره (C)، مربع (S) و هشت‌ضلعی (O) انتخاب شده‌اند. در اسامی نمونه‌ها حرف

جدول ۱. مشخصات فولاد جداره‌ی نمونه‌ها.

نمونه‌ها	F_y (Mpa)	F_u (Mpa)	ϵ_y	ϵ_u
فولاد نمونه‌های با مقطع هشت‌ضلعی (O)	۳۰۷	۴۲۴	۰/۰۲	۰/۲۴
فولاد نمونه‌های با مقطع مدور (C)	۳۳۳	۴۲۸	۰/۰۷	۰/۲۳
فولاد نمونه‌های با مقطع مربعی (S)	۴۰۱/۶	۴۴۵/۶	۰/۰۱	۰/۱

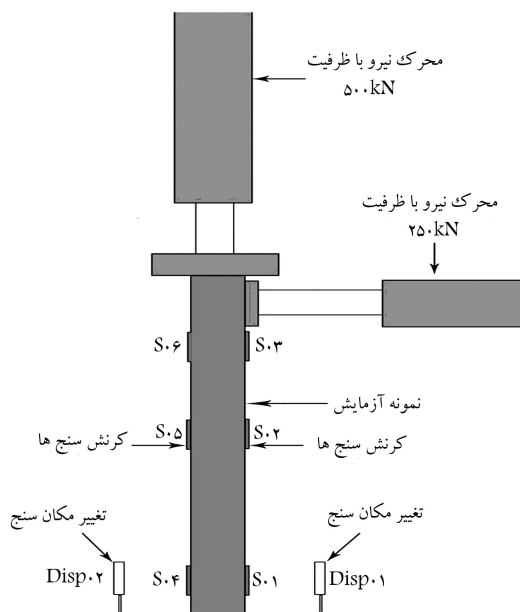
جدول ۳. مشخصات نمونه‌های CFST.

Pu (Kn)	f _c ' (Mpa)	F _y (Mpa)	A _c (mm ²)	A _s (mm ²)	b _s /t _s	L/D	B/t	D/t	t (mm)	D-B (mm)	نمونه‌ها
۸۲۵٫۲	۲۸	۳۳۰	۱۸۱۳۶٫۶	۱۹۵۹٫۳	-	۶٫۷۵	-	۴۰	۴	۱۶۰-۱۶۰	C۳
۸۳۵٫۶	۲۸	۴۰۰	۱۶۹۰۰	۲۰۸۰	-	۷٫۸۲	-	۳۴٫۵	۴	۱۳۸-۱۳۸	S۳
۱۰۴۷٫۷	۲۸	۳۰۰	۳۰۴۰۲	۱۴۲۰	-	۵٫۴۲	۲۶٫۷	۶۶٫۳	۳	۱۴۴-۸۰	O۲
۱۲۱۰٫۹	۲۸	۳۰۰	۳۰۴۰۲	۲۵۶۰	-	۵٫۳۲	۲۰	۵۰٫۵	۴	۲۰۱-۸۰	O۳
۹۴۰٫۹۴	۲۸	۳۳۰	۱۷۶۵۶٫۷	۲۴۳۹٫۳	۴۰٫۳	۵٫۳۷	۱۰	۴۰	۴	۱۶۰-۴۹	C۳S
۱۲۷۵٫۲	۲۸	۳۰۰	۲۹۹۴۲	۲۸۸۰	۴۰٫۳	۷٫۹	۲۶٫۶	۶۶٫۸	۳	۱۴۴-۸۰	O۲S
۸۴۸٫۷	۲۵	۳۳۰	۱۹۵۹۶٫۷	۱۴۴۰٫۲	۴۰٫۳	۶٫۵	۱۰٫۴	۴۱٫۵	۴	۱۶۶-۴۱٫۵	C۳SN
۱۱۷۰٫۲	۲۵	۳۰۰	۳۰۴۰۳	۲۴۰۰	۴۰٫۳	۵٫۵۴	۱۳٫۳	۶۴٫۴	۳	۱۹۹-۴۰	O۲SN
۱۲۱۰٫۹	۲۵	۳۰۰	۳۰۴۰۳	۲۵۶۰	۴۰٫۳	۵٫۰۷	۱۳٫۳	۵۳٫۲	۴	۲۱۳-۵۳٫۲	O۳SN
۸۳۵٫۶	۲۵	۴۰۰	۱۶۹۰۰	۲۰۸۰	۴۰٫۳	۸٫۳	۱۶٫۲	۳۲٫۵	۴	۱۳۰-۶۵	S۳SN

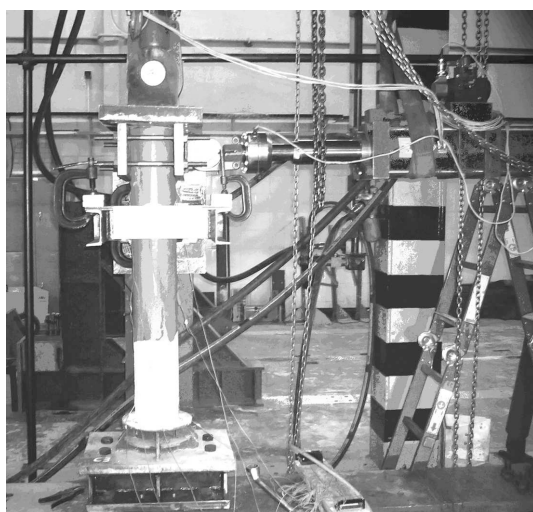
دستگاه آزمایش و نحوه اعمال بارها

نمونه‌ها به صورت یک سرگردار در قاب صلب آزمایشگاه مستقر و با دستگاه‌های محرک نیرو آزمایش شدند. شکل ۵ منحنی اعمال بار جانبی را به صورت ایجاد تغییر مکان جانبی در انتهای ستون نشان می‌دهد.^[۷] در این شکل δ_y بیشینه تغییر مکان جانبی ایجاد شده و δ_y^0 تغییر مکان جانبی نظیر نقطه‌ی شروع تسلیم هستند.

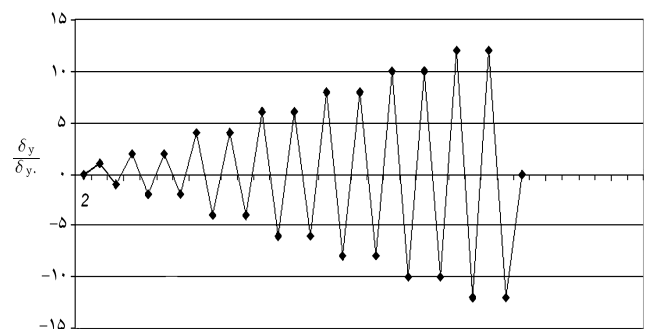
در شکل ۶، دستگاه آزمایش و نحوه اعمال بارها، محل ۶ عدد کرنش سنج استفاده شده ($S_{01} \sim S_{06}$)، محل دو عدد تغییر مکان سنج ($Disp_{01}$ و $Disp_{02}$) و دستگاه‌های محرک نیروی قائم و افقی به‌طور شماتیک نشان داده شده است. کرنش سنج‌ها از نوع YFLA-۶-۱۱ و تغییر مکان سنج‌ها از نوع CDP-۵۰ با ظرفیت ۵۰ میلی‌متر و دستگاه قرانت از نوع UPM۱۰۰ استاتیکی ۱۰۰ کاناله هستند. برای اعمال بار جانبی به انتهای ستون، ۲ ورق فولادی به ضخامت ۳ میلی‌متر در دو طرف ستون در نظر گرفته شده‌اند که با ۴ میل مهار به هم‌دیگر متصل می‌شوند. این ورق‌ها با بین به محرک نیروی افقی متصل شده‌اند و با اعمال تغییر مکان افقی به صورت متناوب و افزایش یابنده بار جانبی به انتهای نمونه وارد می‌شود. برای اعمال بار محوری از یک صفحه‌ی فولادی به ضخامت ۵۰ میلی‌متر در انتهای ستون استفاده شد که با بین به محرک نیروی قائم متصل می‌شود.^[۸] شکل ۷ یک نمونه ستون CFST را در حین آزمایش نشان می‌دهد.



شکل ۶. دستگاه آزمایش و نحوه اعمال بارها.



شکل ۷. یک نمونه ستون CFST در حین آزمایش.



سیکل‌های بارگذاری

شکل ۵. منحنی اعمال تغییر مکان در انتهای ستون.

آزمایش‌ها و منحنی چرخه‌ی نمونه‌ها

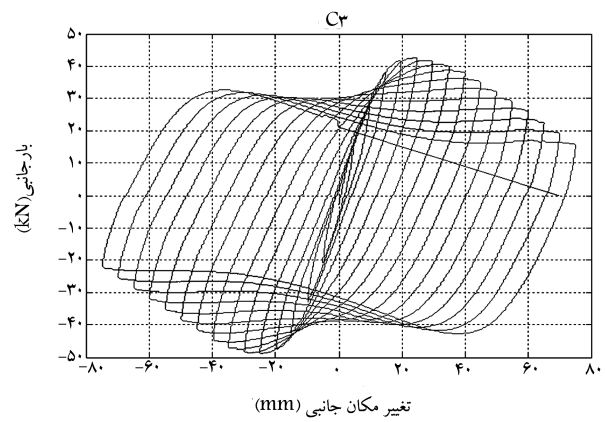
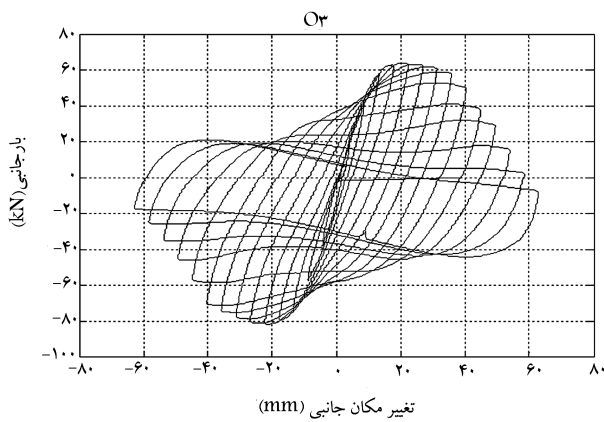
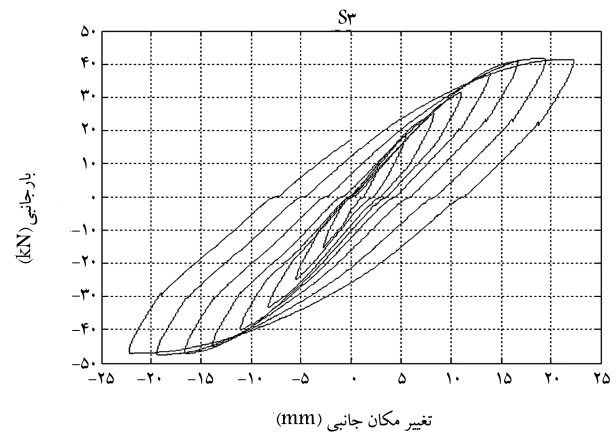
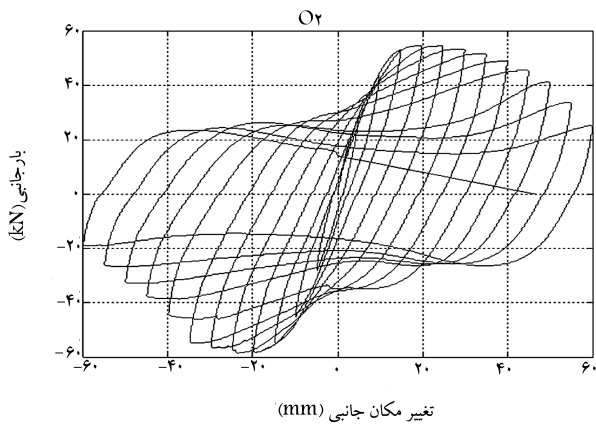
δY_{max} بیشینه‌ی تغییرمکان جانبی انتهای نمونه در شروع گسیختگی، μ ضریب شکل‌پذیری انتقالی، drift نسبت بیشینه‌ی تغییرمکان جانبی انتهای نمونه در شروع گسیختگی به طول نمونه، ε_{cu} بیشینه‌ی کرنش واردشده به بتن با فرض تغییرات خطی کرنش در مقطع و P_o ظرفیت فشاری نهایی ستون است که از رابطه‌ی $P_o = 0.85 f'_c A_c + A_s F_y$ محاسبه شده است. [۱۰]

در شکل ۸ منحنی‌های چرخه‌ی نمونه‌های بدون ورق‌های سخت‌کننده و در

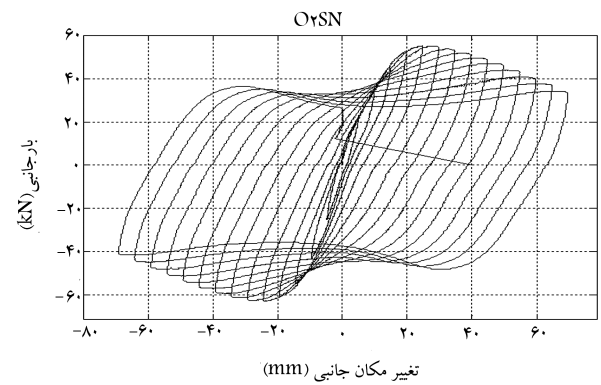
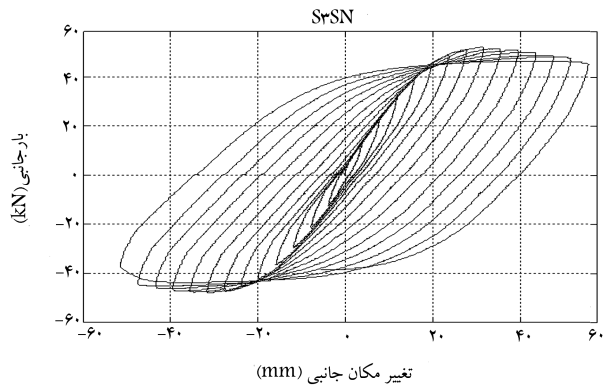
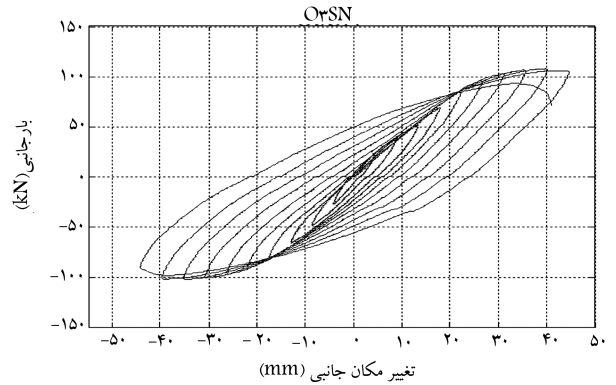
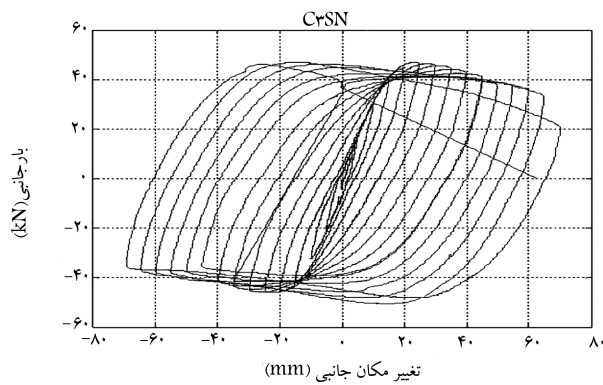
نمونه‌های ستون CFST تحت نیروی فشاری محوری و بار جانبی رفت و برگشتی در انتهای نمونه تا حد گسیختگی مورد آزمایش قرار گرفتند. در جدول ۴، نتایج آزمایش‌ها ارائه شده است. در جدول ۴، δY_o تغییرمکان انتهای نمونه در شروع تسلیم جدار فولادی، δY_1 تغییرمکان جانبی انتهای نمونه در شروع آفت مقاومت،

جدول ۴. نتایج آزمایشات نمونه‌های تحت فشار توام با بار جانبی چرخه‌ی.

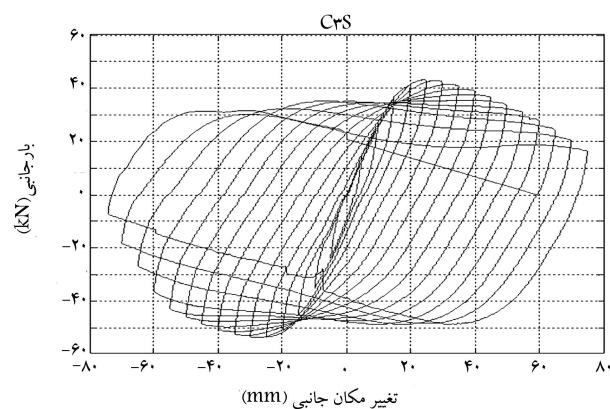
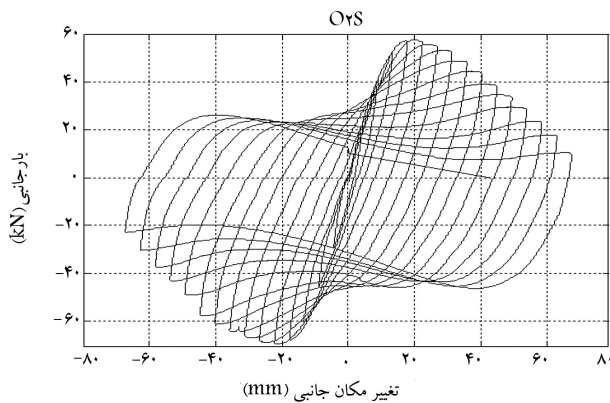
ε_{cu}	No. cycles	drift	$\mu = \delta Y_1 / \delta Y_o$	δY_{max} (mm)	δY_1 (mm)	δY_o (mm)	$0.2P_o$ (Kn)	نمونه‌ها
0.22	15	0.69	12	75	60	5	170	C3
0.21	14	0.59	11	64	44	4	160	S3
0.18	15	0.69	10	75	50	5	200	O2
0.19	15	0.62	9	67.5	40.5	4.5	240	O3
0.21	14	0.648	13	70	65	5	200	C3S
0.2	15	0.625	12	67.5	54	4.5	240	O2S
0.22	15	0.694	13	75	65	5	200	C3SN
0.19	13	0.602	11	65	55	5	200	O3SN
0.21	12	0.5	11	54	49.5	4.5	240	O3SN
0.2	15	0.555	13	60	52	4	160	S3SN



شکل ۸. منحنی‌های چرخه‌ی نمونه‌های بدون ورق‌های سخت‌کننده.



شکل ۹. منحنی‌های چرخه‌یی نمونه‌های با ورق‌های سخت‌کننده در ناحیه‌ی بحرانی.



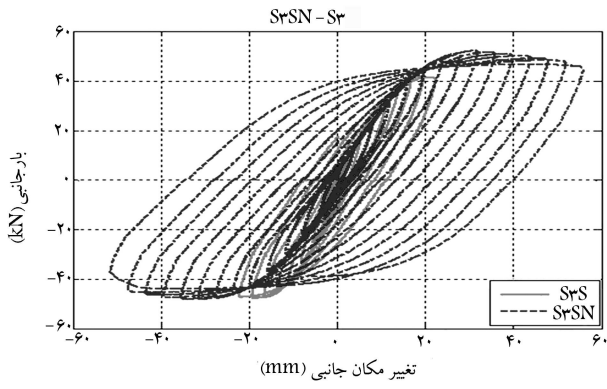
شکل ۱۰. منحنی‌های چرخه‌یی نمونه‌های با ورق‌های سخت‌کننده در سرتاسر طول ستون.

شکل ۹ منحنی‌های چرخه‌یی نمونه‌های با ورق‌های سخت‌کننده در ناحیه‌ی بحرانی ستون و در شکل ۱۰، منحنی‌های چرخه‌یی نمونه‌های با ورق‌های سخت‌کننده در سرتاسر طول ستون نشان داده شده است.

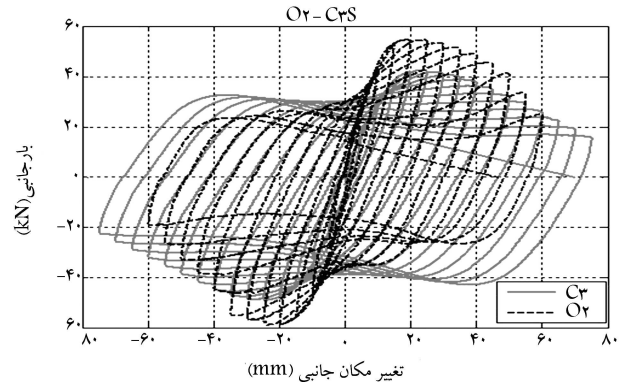
مقایسه‌ی منحنی‌های چرخه‌یی نمونه‌ها و بررسی نتایج

منحنی‌های چرخه‌یی نمونه‌های بدون ورق‌های سخت‌کننده و نمونه‌های با ورق‌های سخت‌کننده در سرتاسر طول ستون و نمونه‌های با ورق‌های سخت‌کننده در ناحیه‌ی بحرانی ستون در شکل‌های ۸ الی ۱۱ با یکدیگر مقایسه شده‌اند تا اثر ورق‌های سخت‌کننده و همچنین اثر شکل مقطع عرضی در رفتار ستون‌های CFST بررسی شود. با مقایسه‌ی منحنی‌های نمونه‌ها نتیجه می‌شود که شکل‌پذیری ستون‌های با مقطع دایره بیشتر از مقطع هشت ضلعی و ستون‌های با مقطع هشت ضلعی شکل‌پذیرتر از مقاطع مربعی است.

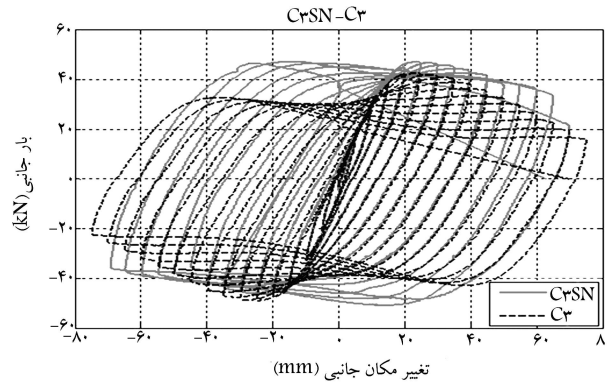
با مقایسه‌ی منحنی‌ها در شکل‌های ۱۲ تا ۱۶ مشخص می‌شود که وجود ورق‌های سخت‌کننده در داخل ستون‌های CFST باعث افزایش شکل‌پذیری و باعث به تعویق افتادن کماتش موضعی جدار فولادی می‌شود. اثر وجود ورق‌های سخت‌کننده در نواحی بحرانی ستون (نواحی تحت تنش‌های بیشینه) در افزایش شکل‌پذیری بیشتر از وجود ورق‌ها در سرتاسر طول ستون است (شکل‌های ۱۷ و ۱۸). جدار فولادی در ستون‌های CFST به‌طور کامل بتن داخل را دورگیر و محصور می‌کند و مقاومت بتن و کرنش نهایی بتن را به مقدار قابل‌توجهی افزایش می‌دهد. با مقایسه‌ی منحنی‌های چرخه‌یی نمونه‌ها (شکل‌های ۸ تا ۱۰) با منحنی‌های چرخه‌یی ستون‌های بتنی معمولی مشخص می‌شود که تعداد چرخه‌های بارگذاری



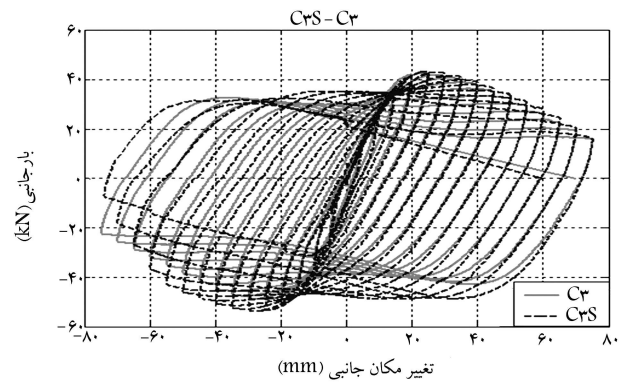
شکل ۱۵. منحنی‌های چرخه‌یی $SrS, SrSN$.



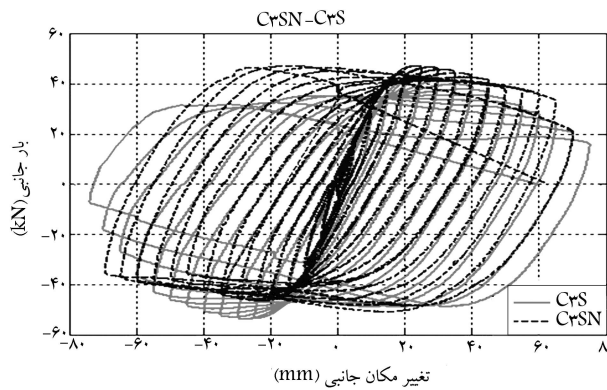
شکل ۱۱. منحنی‌های چرخه‌یی Cr, Or .



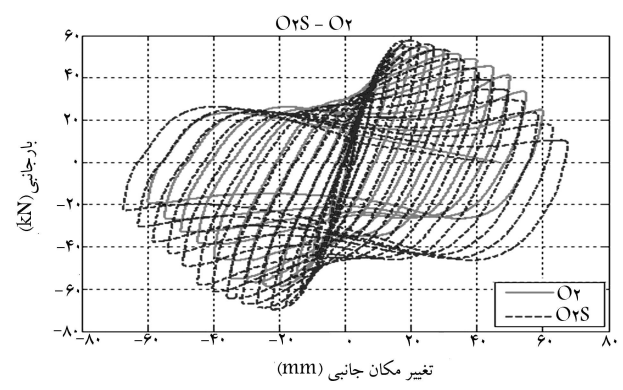
شکل ۱۶. منحنی‌های چرخه‌یی $CrSN, Cr$.



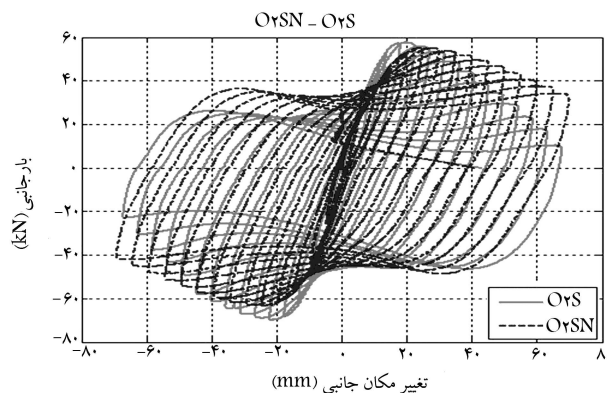
شکل ۱۲. منحنی‌های چرخه‌یی Cr, CrS .



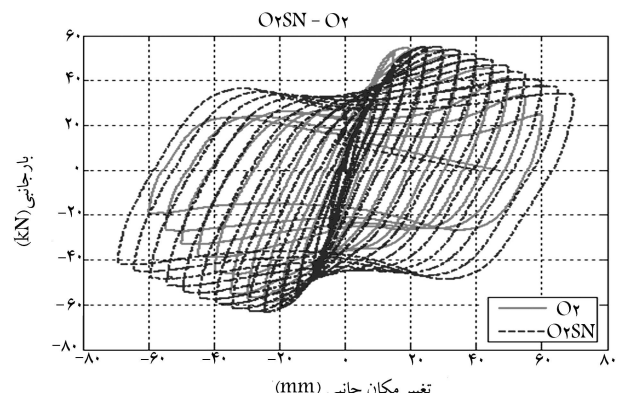
شکل ۱۷. منحنی‌های چرخه‌یی $CrS, CrSN$.



شکل ۱۳. منحنی‌های چرخه‌یی Or, OrS .



شکل ۱۸. منحنی‌های چرخه‌یی $OrS, OrSN$.



شکل ۱۴. منحنی‌های چرخه‌یی $Or, OrSN$.

سخت‌کننده نقش مهم و قابل توجهی در افزایش چرخه‌های بارگذاری قابل تحمل از طریق ستون و افزایش شکل‌پذیری ستون و افزایش جذب انرژی دارند.

۲. استفاده از ورق‌های سخت‌کننده در نواحی بحرانی ستون مقدار D/t یا B/t را کاهش داده‌اند و کماتش موضعی را به تعویق می‌اندازند، با توجه به B/t و D/t نمونه‌های مختلف (جدول ۴) و تعداد چرخه‌های قابل تحمل توسط نمونه‌ها در شروع کماتش موضعی (شکل‌های ۸ تا ۱۰) پیشنهاد می‌شود، بیشینه‌ی D/t برای مقاطع مدور بدون ورق‌های سخت‌کننده به ۳۲ و بیشینه‌ی B/t برای مقاطع هشت ضلعی و مربعی به ۲۵ محدود شود.

۳. با مقایسه‌ی نتایج آزمایش‌های نمونه‌ها (جدول ۴) و با توجه به منحنی‌های چرخه‌یی نمونه‌ها، رفتار ستون‌های CFST با مقطع دایره از لحاظ شکل‌پذیری و ظرفیت جذب انرژی و تعداد سیکل‌های قابل تحمل تا آفت قابل توجه مقاومت بهتر از رفتار با مقطع هشت ضلعی و رفتار ستون‌ها با مقطع هشت ضلعی بهتر از رفتار با مقطع مربعی است. در استفاده از مقاطع هشت ضلعی و مربعی، برای کاهش B/t توصیه می‌شود در محل اتصالات و نواحی بحرانی از ورق‌های سخت‌کننده استفاده شود.

۴. با مقایسه‌ی منحنی‌های چرخه‌یی نمونه‌ها (شکل‌های ۸ تا ۱۰) با منحنی‌های چرخه‌یی ستون‌های بتن مسلح معمولی مشاهده می‌شود، در ستون‌های CFST پدیده‌ی گلوبی شدن^۲ در منحنی‌های چرخه‌یی نسبت به ستون‌های بتن مسلح بسیار کمتر است.^[۱۳، ۱۴]

۵. استفاده از ورق‌های سخت‌کننده در نواحی بحرانی در ستون‌های CFST در کاهش پدیده‌ی گلوبی شدن یا مؤثر است (شکل ۹).

۶. در ستون‌های CFST در اثر محصوریت بتن با جدار فولادی، مقاومت فشاری بتن افزایش می‌یابد. این افزایش مقاومت با افزایش نسبت طول به قطر یا بعد مقطع (L/D) و نیز با افزایش ضریب فشردگی مقطع (B/t یا D/t)، کاهش می‌یابد.

جانبی متحمل‌شده‌ی نمونه‌ها به مراتب بیشتر از ستون‌های بتنی معمولی است.^[۱۱] این مورد در اثر محصوریت هسته‌ی بتن با جدار فولادی است و باعث افزایش قابل توجه در شکل‌پذیری و جذب انرژی می‌شود.

تمام نمونه‌های تحت فشار توأم با بارجانبی چرخه‌یی در اثر کماتش موضعی جدار فولادی و پکیده‌شدن بتن در محل کماتش موضعی به شکست رسیده‌اند، با افزایش B/t یا D/t کماتش در چرخه‌های کمتری رخ می‌دهد (جدول ۳ و ۴)، که نشان‌دهنده‌ی اثر قابل توجه ضریب فشردگی مقطع (B/t یا D/t) در رفتار این ستون‌هاست.

بیشینه‌ی کرنش واردشده به بتن در شروع شکست حدود 0.027 و بیشینه‌ی کرنش بتن در شروع کماتش موضعی جدار فولادی 0.092 و کرنش نهایی بتن در شروع گسیختگی 0.02 است (متوسط نمونه‌ها طبق جدول ۴) که نشان‌دهنده‌ی اثر محصوریت بتن با جدار فولادی است که باعث افزایش قابل توجه شکل‌پذیری بتن می‌شود. همچنین بر اساس نتایج آزمایش‌ها، نمونه‌ها در اثر محصوریت بتن با جدار فولادی، مقاومت بتن برای مقاطع دایره‌یی حدود 25% و برای مقاطع هشت ضلعی حدود 22% و برای مقاطع مربعی حدود 16% (متوسط نمونه‌ها) افزایش می‌یابد. با توجه به شکل‌های ۱۲ تا ۱۴، در نمونه‌های با ورق‌های سخت‌کننده در سرتاسر طول ستون و تحت فشار توأم با بار جانبی، وجود ورق‌ها در افزایش مقاومت مقطع بی‌تأثیر نیست، ولی در افزایش شکل‌پذیری نسبت به مقدار مصالح مصرفی فولاد تأثیر قابل توجهی ندارند. اما در به‌تعویق‌انداختن کماتش موضعی جدار فولادی نقش مهمی دارند.

نتیجه‌گیری

۱. در ستون‌های CFST با ورق‌های سخت‌کننده در ناحیه‌ی بحرانی ستون (جایی که مصالح ستون تحت تنش‌های ناشی از فشار و خمش بیشینه قرار دارند)، ورق‌های

پانویس

1. Actuator
2. pinching

منابع

1. Compione, G.; Scibilia, N. and Zingone, G. "Strength and ductility of hcircular steel columns filled with fiber reinforced concrete", *Dipartimento di Ing. Struct. Università di palermo*, I-90128, ITALY (1998).
2. Susantha, K.A.S.; Hanbin, Ge. and Tsutomu, U. "Uni-axial stress – strain relationship of concrete confined by various shaped steel tubes", *Enginer Struct.*, **23**, pp. 1331-1347 (2001).
3. Wang, Y.C. "Tests on slender composite columns", *J. Conollow Str. Steel Revs.*, **49**, pp. 25-41 (1999).
4. O'shea, M.D. and Bridge, R.Q. "Circular thin walled tubes with high strength concrete infill", *Proceeding Engineering Foundation Conference, Composite Construction III*, Irsee, Germany (1996).
5. Harry, G., Harris and Gajanan, M. "Structural modeling & experimental techniques", 2nd Edition., Boca Rotan, *CRC Press* (1999).
6. Cai, S. and Jiao, Z. "Behaviour and ultimate strength of concrete filled steel tubular columns under eccentric loading", *Jian Zhu Jie Gou xue Bao*, **6**(4), pp. 32-42 (1985).
7. Shakir khalil, H. and Zeghiche, Z. "Experimental behaviour of concrete filled rolled rectangular hollow section columns", *The Structural Engineer*, **67**(19), pp. 345-353 (1989).

8. Fujinaga, T.; Tsuda, K. and Matsui, C. "Hysteresis model for concrete filled steel square tubular beam-columns", *Journal of 12 WCEE*, (2000).
9. Mino, E.; Matsui, C.; Tsuda, K. and Udo, F. "Design method of slender concrete filled steel tubular columns under constant vertical and alternating horizontal load", *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan*, pp. 965-966, (in Japanese) (1996).
10. Chen, W.F. "Behaviour of concrete filled steel tubular columns", *proceedings of the ASCE - IABSE International Conference on Tall Buildings*, **3**, pp. 608-612 (1972).
11. *Composite Construction in Steel and Concrete*, ASCE, New York, **8**, pp. 702-727 (1997).
12. Grauers, M. "Composite columns of hollow steel section filled with high strength concrete", *Division of Concrete Structures, Chalmers University of Technology*, Gutenberg, Sweden, pp. 140 (1993).
13. Ichinohe, Y.; Matsutani, T.; Nakajima, M.; Ueda, H. and Takada, K. "Elasto - plastic behavior of concrete filled steel circular columns", *Proceedings of the third International conference on steel concrete composite structures*, Fukuoka, Japan, pp. 13-136 (September 26-29, 1991).