

## Effect of Rebar Splice on Rebar Strain Profile and Out of Plane Buckling of Boundary Elements of Lightly Reinforced Shear Walls

Mohammad. Hoseini<sup>1</sup>, Saeed. Tariverdilo<sup>2</sup>, Saeed. Gholizadeh<sup>3</sup>

1- PhD student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

2 -Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

3 -Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

### ABSTRACT

*Due to adverse effect of lap splice on the ductility of shear walls, ACI 318-19 does not allow use of lap splice in stories with probable nonlinear excursions. However, due to lack of capacity design in ACI design approach for shear walls, in fact there are high probability of nonlinear deformation in all stories. This means possible nonlinear demand in stories with lap spliced bars, which necessitates an assessment on the effect of lap splice on the seismic response of shear walls. This paper investigates performance of lap spliced boundary elements of lightly reinforced shear walls, where boundary elements subjected to mainly tensile loadings. Two specimens with continuous rebars and three specimens with lap splice of different lengths are included in the experimental program. The specimens are subjected to asymmetric cyclic axial loading. Test results reveals that lap splice increases deformation demand on the portions of the specimen out side of lap splice length, leading to rebar fracture at lateral drifts much smaller than that expected for specimens with continuous rebars. Presence of lap splice could substantially decrease lateral drift capacity from 0.04 to about 0.013. Also out of plane buckling for specimens with lap splice occurs at smaller tensile strains.*

### ARTICLE INFO

**Receive Date:** 30 April 2020

**Revise Date:** 11 July 2020

**Accept Date:** 15 July 2020

### Keywords:

*Boundary element*

*Shear walls*

*Rebar fracture*

*out of plane buckling*

*Lap splice*

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.229302.2131>

\*Corresponding author: Saeed. Tariverdilo

Email address: s.tariverdilo@urmia.ac.ir

## تأثیر وصله آرماتور بر روی توزیع کرنش آرماتور و کمانش برون صفحه‌ای المان‌های

### مرزی دیوارهای برشی

محمد حسینی<sup>۱</sup>، سعید تاروردیلو\*<sup>۲</sup>، سعید قلیزاده<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری سازه، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- استاد، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳- دانشیار، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

#### چکیده

با توجه به تأثیر نامطلوب وصله‌های پوششی بر روی شکل‌پذیری دیوارهای برشی، اخیراً آئین نامه‌های طراحی اجازه استفاده از وصله پوششی در نواحی محتمل تشکیل مفصل پلاستیک را نمی‌دهند. با این وجود به دلیل فقدان ضوابط طراحی بر اساس ظرفیت در اغلب روش‌های طراحی دیوارهای برشی، در واقع احتمال وقوع تغییرشکل غیرخطی در همه نواحی دیوار وجود دارد و این به معنی احتمال وقوع تغییرشکل غیرخطی در نواحی از دیوار دارای وصله پوششی است. این تحقیق به بررسی عملکرد المان‌های مرزی دارای وصله پوششی در دیوارهای برشی مسلح می‌پردازد که در آن المان‌های مرزی در معرض بارگذاری کششی قرار دارند. آزمایش‌ها بر روی پنج نمونه که دو نمونه از آنها با آرماتورهای بدون وصله و سه نمونه دارای وصله پوششی با طول‌های مختلف انجام گرفته است. نمونه‌ها در معرض بارگذاری محوری رفت و برگشتی نامتقارن قرار داده شده‌اند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که وصله پوششی باعث تمرکز تغییرشکل در نواحی انتهایی وصله پوششی می‌شود که این منجر به گسیختگی آرماتور در دررفت‌های جانبی بسیار کمتر از نمونه‌های دارای آرماتورهای پیوسته می‌شود. وجود وصله پوششی می‌تواند ظرفیت دررفت جانبی را از ۰/۰۴ به حدود ۰/۰۱۳ کاهش دهد. همچنین کمانش خارج از صفحه‌ای برای نمونه‌های دارای وصله پوششی در کرنش‌های کوچکتری اتفاق می‌افتد.

کلمات کلیدی: المان‌های مرزی، دیوارهای برشی، گسیختگی آرماتور، کمانش برون صفحه‌ای، وصله پوششی.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	<a href="https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.229302.2131">https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.229302.2131</a>	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2020.229302.2131	۱۴۰۰/۱۰/۳۰	۱۳۹۹/۰۴/۲۵	۱۳۹۹/۰۴/۲۵	۱۳۹۹/۰۴/۲۱	۱۳۹۹/۰۲/۱۱
			سعید تاروردیلو*		نویسنده مسئول:	
			s.tariverdilo@urmia.ac.ir		پست الکترونیکی:	

## ۱- مقدمه

برخلاف ویرایش‌های قبلی که در آن محل وصله آرماتورهای طولی در دیوار دارای محدودیتی نبود، آئین‌نامه ACI318-19 [۱] در ویرایش اخیر خود اجازه استفاده از وصله پوششی در پای دیوار را نمی‌دهد. آزمایشات محدودی در خصوص تاثیر وصله پوششی بر روی عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی وجود دارد. Layssi و Mitchell [۲] طرح‌های مقاوم‌سازی ممکن برای دیوارهای برشی با استفاده از جزئیات طراحی غیرلرزه‌ای را بررسی کردند. آنها نشان دادند که علاوه بر فاکتورهایی نظیر تامین محبوس‌شدگی کافی، وصله پوششی نیز می‌تواند بطور قابل توجهی شکل‌پذیری دیوارهای برشی را کاهش دهد. Lowes و همکاران [۳] بررسی نمودند که چگونه وصله‌های پوششی و چیدمان آرماتورها می‌تواند بر روی عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی تاثیرگذار باشد. آنها ۴ نمونه دارای وصله پوششی و بدون وصله پوششی را با چیدمان‌های متفاوت آرماتور آزمایش نموده و اینگونه نتیجه‌گیری نمودند که در صورت وجود وصله محل تغییرشکل غیرخطی را به بالای وصله انتقال می‌یابد. همچنین آنها دریافتند که افزایش تقاضای برش، حداکثر دررفت جانبی ممکن را به کمتر از ۱ درصد کاهش می‌دهد. با این حال وصله پوششی تاثیر محسوسی بر روی شکل‌پذیری دیوارهای برشی ندارد. لازم به ذکر است که آنها در آزمایش‌هایشان، ضوابط و الزامات تفصیلی ACI برای آرماتورهای طولی در طول وصله دیوارهای برشی را رعایت کرده بودند. بر خلاف این یافته‌ها در خصوص تاثیر لرزه‌ای وصله‌های پوششی Aaleti و همکاران [۴] نتیجه‌گیری نمودند که وصله‌های پوششی به طور قابل توجهی شکل‌پذیری دیوارهای برشی را کاهش می‌دهد. آنها با آزمایش بر روی ۳ نوع دیوار دارای وصله پوششی و فاقد وصله، مشخص کردند که دررفت جانبی حداکثر ۲ درصد برای دیوار فاقد وصله به مقدار حدود ۱ درصد برای دیوار دارای وصله پوششی کاهش می‌یابد. همچنین حالت خرابی ناشی از کمانش کلی در دیوار بدون وصله به کمانش و گسیختگی آرماتور در دیوار با وصله پوششی تغییر می‌کند. Villalobos و همکاران [۵] در مورد تاثیر محصور کردن المان‌های مرزی و وصله پوششی بر روی عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی مطالعاتی انجام دادند. طول وصله‌ها ۴۰ و ۶۰ برابر قطر آرماتور بود. آنها هیچ نوع خرابی وصله را گزارش نکردند ولی کاهش قابل توجهی در شکل‌پذیری به علت وجود وصله‌ها را گزارش کردند. آنها همچنین افزایش قابل توجه کرنش موضعی آرماتورهای طولی را در ابتدا و انتهای وصله گزارش کردند. Almeida و همکاران [۶] پاسخ دیوارهای برشی نامتقارن با جزئیات ناقص با و بدون وصله پوششی را تحت بارگذاری رفت و برگشتی بررسی کردند. طول وصله در دیوار برشی ۳۵ برابر قطر آرماتور در نظر گرفته شده بود. آنها دریافتند که محصورسازی و طول وصله پوششی نقش مهمی در پاسخ چرخه‌ای دیوارهای برشی ایفا می‌کند.

موضعی شدن کرنش آرماتور در دیوارهای با وصله آرماتورهای طولی در دیوارهای برشی با نسبت آرماتور طولی کم تشدید می‌شود. wood [۷] با بررسی آزمایش‌های انجام شده بر روی دیوارهای برشی، اینگونه نتیجه‌گیری نمود که در دیوارهای برشی با نسبت آرماتور طولی کم، طلب کرنشی بالایی روی آرماتورها وجود دارد که می‌تواند منجر به گسیختگی زود هنگام آرماتور طولی شود. Lu و همکاران [۸] آزمایشی را در مورد دیوارهای برشی با نسبت کم آرماتور ترتیب دادند. آنها نتیجه گرفتند که در دیوارهای با آرماتورهای طولی کم، تعداد ترک‌ها حین تغییرشکل غیرخطی کاهش می‌یابد که منجر به گسیختگی زود هنگام آرماتور طولی می‌شود. Lu و همکاران [۹] با استفاده از مدل‌های المان محدود تاثیر مقدار آرماتورهای طولی تحت بارگذاری چرخه‌ای را بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که انتظار پاسخ مطلوب نیازمند افزایش نسبت آرماتور طولی هم در المان مرزی و هم در داخل دیوار است. Rosso و همکاران [۱۰] پاسخ المان‌های مرزی نازک مسلح تحت بارگذاری رفت و برگشتی با توجه ویژه به کمانش خارج از صفحه‌ای آن بجای مشخصات کرنش آرماتورهای طولی را بررسی کردند. آنها اینگونه نتیجه‌گیری کردند که نسبت آرماتور و ضخامت دیوار از پارامترهای اصلی کنترل کننده کمانش برون صفحه‌ای المان‌های مرزی با آرماتور کم می‌باشند.

آزمایش‌های انجام شده روی وصله آرماتورهای طولی در دیوارها عمدتاً روی دیوارهای با درصد آرماتور طولی بالا، با فاصله کم آرماتورهای عرضی و همچنین با بارگذاری عمده فشاری انجام شده است. در دیوارهای با طلب کم، دیوار دارای درصد آرماتور طولی پائینی بوده، فاصله آرماتورهای عرضی زیاد است و در ضمن بارگذاری المان مرزی عمدتاً کششی خواهد بود. روند موجود در آئین‌نامه‌های طراحی نظیر ACI 318-19 در مواجهه با وصله آرماتورهای طولی، با تاکید بر کنترل رفتار در محل دوران پلاستیک زیاد یعنی پای دیوار تدوین شده، ولی با توجه به احتمال وقوع دوران پلاستیک در سایر طبقات به خصوص در طبقات با طلب خمشی پائین (یعنی آرماتور طولی کم)

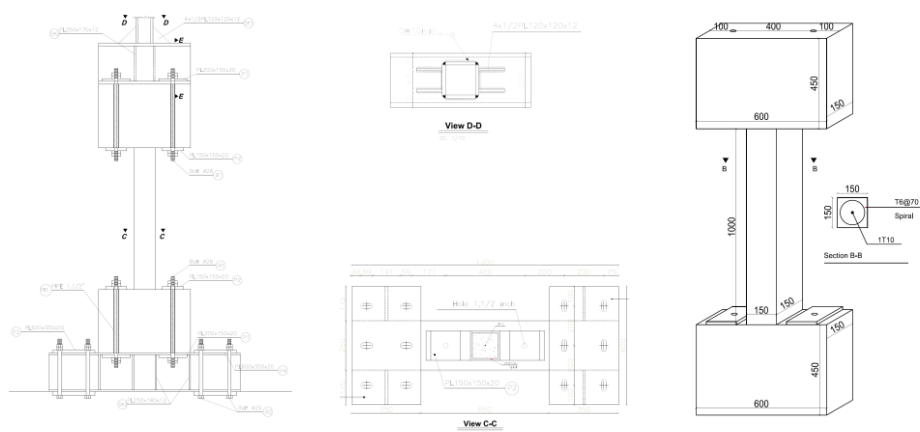
اتخاذ تدابیری خاص توصیه نشده است. این مطالعه به بررسی پاسخ المان‌های مرزی دیوارهای برشی با آرماتور طولی کم و با وصله پوششی می‌پردازد. برای این منظور نمونه‌های بدون وصله و با وصله (با طول‌های وصله متفاوت) در نظر گرفته شده است. از آنجا که نمونه‌ها نمایانگر دیوار برشی مسلح با تقاضای لرزه‌ای کم هستند، نمونه‌ها دارای درصد آرماتور اندکی هستند. در ادامه برنامه آزمایش‌ها شامل ابعاد نمونه‌ها، مشخصات آرماتورگذاری و پروتکل بارگذاری ارائه شده و سپس نتایج آزمایش‌ها بررسی و نتیجه‌گیری می‌شود.

## ۲- برنامه آزمایش‌ها

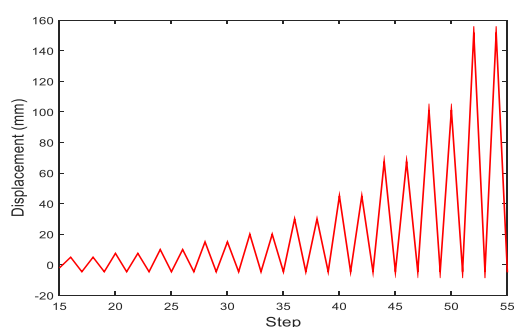
به دلیل گرادیان کم لنگر خمشی در پای دیوار به طور تقریبی یک بارگذاری محوری ثابت روی المان‌های مرزی وجود دارد. به همین دلیل، تنظیمات آزمایش (شکل ۱) طوری طراحی شد تا در آزمایش‌ها از بارگذاری محوری چرخه‌ای بر روی نمونه‌ها استفاده شود. برنامه آزمایشی شامل بارگذاری رفت و برگشتی بر روی نمونه‌ها با وجود وصله پوششی و بدون آن می‌باشد که در جدول شماره ۱ آورده شده است. آزمایش‌ها با استفاده از جک با ظرفیت ۱۰۰۰ کیلونیوتن در مرکز تحقیقات زیرساختی دانشگاه ارومیه انجام شده است. شکل ۲ ابعاد نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱. شرح نمونه‌ها، ابعاد و آرماتورها

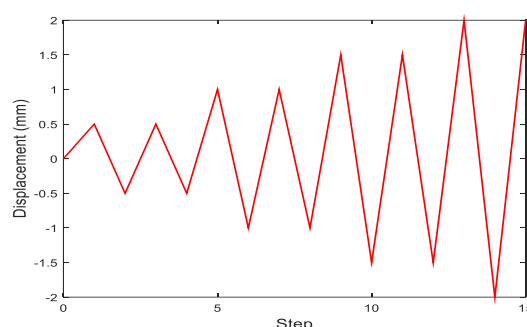
نمونه	شرح نمونه	$f_c$ (MPa)	ابعاد نمونه (mm)	طول وصله (mm)	سایز آرماتور	نسبت آرماتور	آرماتور عرضی
BC1	نمونه بدون وصله پوششی	۳۰	۱۰۰۰×۱۵۰×۱۵۰	-	T10	۰/۰۰۳۴۷	T6@150
BC2	نمونه بدون وصله پوششی	۳۰	۱۰۰۰×۱۵۰×۱۵۰	-	T10	۰/۰۰۳۴۷	T6@150
SC1	نمونه با وصله پوششی	۳۹	۱۰۰۰×۱۵۰×۱۵۰	۲۰۰	T10	۰/۰۰۳۴۷	T6@150
SC2	نمونه با وصله پوششی	۳۴	۱۰۰۰×۱۵۰×۱۵۰	۳۰۰	T10	۰/۰۰۳۴۷	T6@150
SC3	نمونه با وصله پوششی	۳۹	۱۰۰۰×۱۵۰×۱۵۰	۴۰۰	T10	۰/۰۰۳۴۷	T6@150



شکل ۱. طریقه نصب و بارگذاری نمونه‌ها



(ب) بارگذاری نامتقارن در جابجایی های بزرگ



(الف) بارگذاری متقارن در جابجایی های کوچک

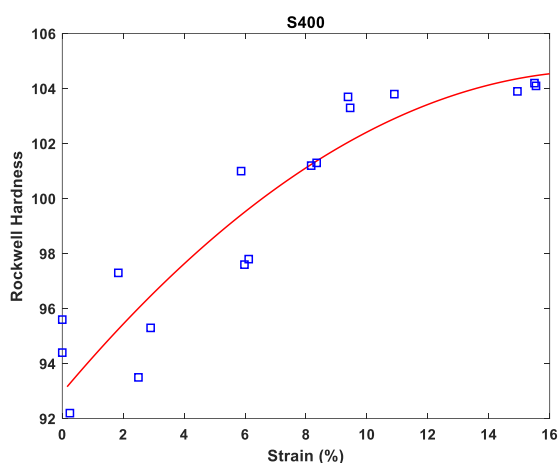
شکل ۲. پروتکل بارگذاری مورد استفاده در آزمایشات (مشابه ACI 355.2-19 [۱۰])

در دیوارهای برشی با آرماتور طولی کم، شکست دیوار عمدتاً توسط بارگذاری کششی روی المان‌های مرزی کنترل می‌شود و انتظار نمی‌رود المان‌های مرزی وارد بارگذاری فشاری عمده‌ای شوند. با توجه به این مساله و مشابه پروتکل ACI 355.2 [۱۰] و Rosso و همکاران [۱۱] و یک پروتکل بارگذاری نامتقارن برای بارگذاری چرخه‌ای در نظر گرفته شده است. این پروتکل تا کرنش محوری حدود  $0.003$  (شکل ۲) متقارن بوده و بعد از آن افزایش پایدار در دامنه‌ی بارگذاری کششی وجود دارد؛ در حالی که کرنش فشاری در  $0.003$  بسته می‌شود.

جدول ۲ مشخصات آرماتورها را ارائه می‌کند. آرماتورها ضوابط ISIRI 3132 مربوط به مقاومت کششی و افزایش طول برای آرماتور S400 را برآورده می‌کنند. علاوه بر آزمایش کششی روی آرماتورها، ارتباط بین کرنش آرماتور و سختی نیز مشخص شده است. اینکار با استفاده از آزمایش‌های کشش منقطع روی آرماتور در طلب کرنشی مورد نظر انجام و سپس سختی آن تعیین می‌شود. با به دست آوردن ارتباط بین کرنش آرماتور و سختی، می‌توان کرنش بدست آمده در آرماتور طولی در پایان آزمایش را ارزیابی کرده و تخمین بهتری از کرنش موضعی و کرنش یکنواخت آرماتور در انتهای آزمون بدست آورد. آزمایش سختی با استفاده از دستگاه سختی‌سنج انجام می‌شود. شکل ۳ ارتباط بین سختی راکول B و کرنش آرماتور را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مشخصات جنس آرماتورها

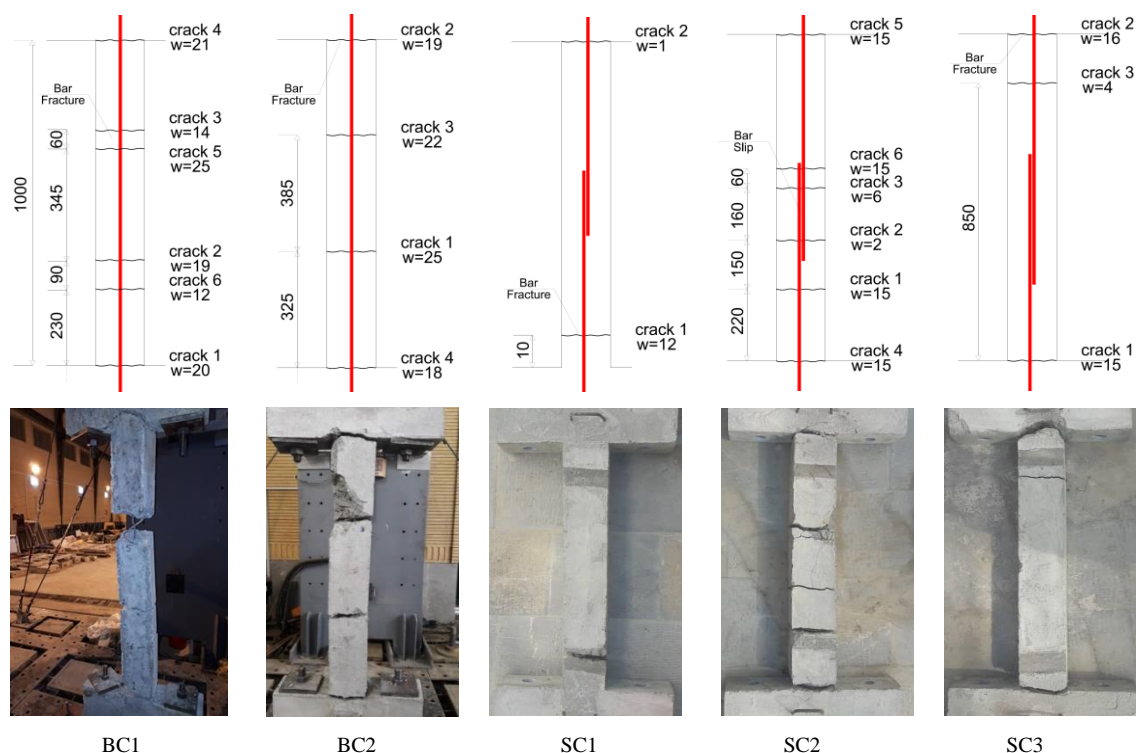
علامت اختصاری	مشخصات ماده	نتیجه آزمایش	ضوابط ISIRI 3132
			برای S400
$f_y$	تنش تسلیم (MPa)	433	$\geq 400$
$f_{su}$	مقاومت نهایی (MPa)	622	$\geq 600$
$f_{su}/f_y$	نسبت تنش تسلیم به نهایی	1.44	$\geq 1.25$
$\epsilon_{fc\_test}$	کرنش طولی شکست در $5d_b$	0.30	$\geq 0.16$
	کرنش طولی شکست در $10d_b$	0.27	$\geq 0.12$
	کرنش طولی شکست در 200 mm	0.21	-



شکل ۳. نمودار ارتباط بین سختی راکول و کرنش

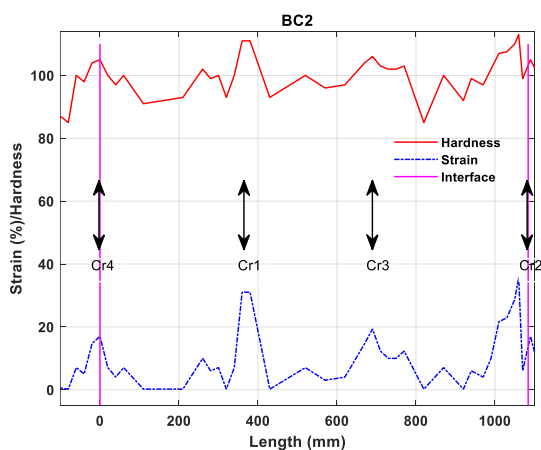
### ۳- نتایج آزمایشات

شکل ۴ نحوه ترک خوردگی نمونه‌ها در انتهای آزمایش را نشان می‌دهد. به جز نمونه SC2، در سایر نمونه‌ها ترک خوردگی طولی و صله مشاهده رخ نداد. در نمونه SC2 لغزش قابل توجه آرماتور رخ داده است که احتمالاً به دلیل مقاومت پایین بتن این نمونه در مقایسه با SC1 و SC3 باشد. کاهش تعداد ترک برای SC1 و SC3 در مقایسه با BC1 و BC2، دلیل اصلی کاهش قابل توجه در ظرفیت تغییرشکل محوری این نمونه‌ها است. به جز نمونه SC2، که در آن آزمایش بدلیل لغزش آرماتور در محل وصله متوقف شده است، بقیه آزمایش‌ها با گسیختگی آرماتور خاتمه یافته‌اند. در بیشتر نمونه‌ها، گسیختگی آرماتور در محل اتصال نمونه به پایه رخ داده است.

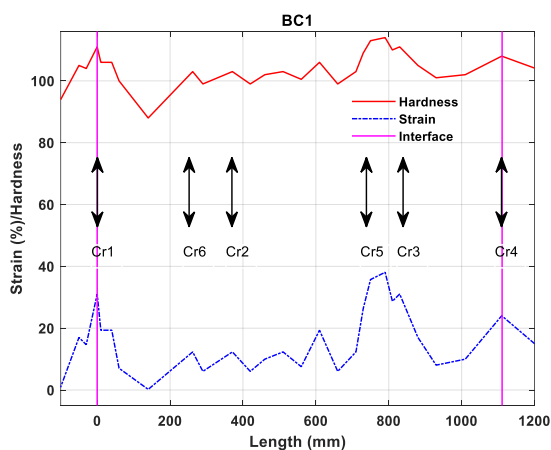


شکل ۴. نحوه ترک خوردگی نمونه‌ها

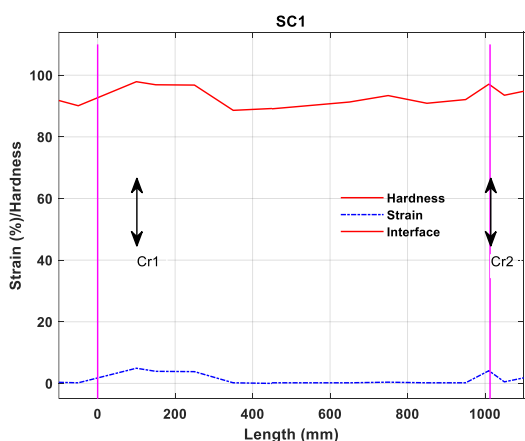
شکل ۵ نمودار کرنش آرماتور اصلی نمونه‌ها که به کمک همبستگی بین سختی و کرنش (شکل ۳) رسم شده است را نشان می‌دهد. با اینکه کرنش پس ماند قابل توجهی (نشانه تغییر شکل غیرخطی) در طول آرماتور برای نمونه‌های BC1 و BC2 وجود دارد، هیچگونه کرنش پس ماند در طول بخش قابل توجهی از آرماتور برای نمونه‌های SC1 و SC3 وجود ندارد. در حقیقت برای نمونه‌های SC1 و SC3، تغییر شکل غیرخطی جز در مجاورت ترک وجود ندارد. افزایش سختی و مقاومت در طول وصله، مکان‌های ترک را به نواحی خارج از وصله انتقال می‌دهد. کرنش کم در طول وصله، باعث افزایش طلب کرنشی در نواحی خارج از وصله شده و منجر به گسیختگی آرماتور در تغییر شکل‌های بسیار کوچکتر در مقایسه با نمونه‌های بدون وصله می‌شود. حتی برای نمونه SC2، که در امتداد طول وصله لغزش قابل توجهی وجود دارد، کرنش پس ماند نسبت به نمونه‌های BC1 و BC2 بسیار کوچکتر است. از نمودار کرنش می‌توان برای یافتن حداکثر کرنش موضعی در طول آرماتور و همچنین کرنش یکنواخت استفاده کرد. کرنش یکنواخت از تقسیم افزایش طول کل که با جمع همه کرنش‌های موضعی در طول آرماتور بدست می‌آید؛ به طول اولیه محاسبه می‌شود. کرنش‌های یکنواخت و حداکثر برای نمونه‌های مختلف در جدول ۴ محاسبه و آورده شده است. باید توجه داشت که حداکثر مقادیر کرنش بدست آمده با این روش فقط به دلیل تغییر شکل محوری نبوده و اثرات ناشی از تغییر شکل خمشی نیز در آن دخیل می‌باشد.



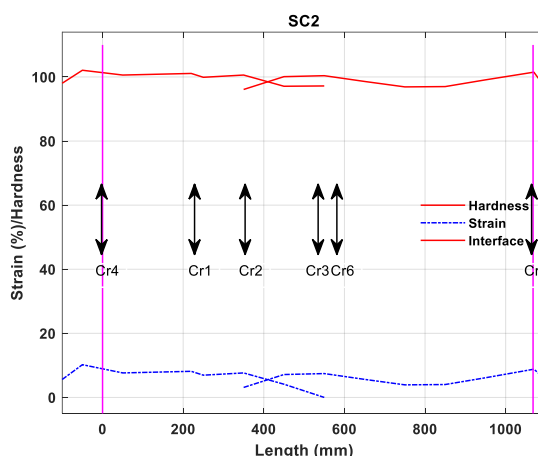
(a) BC1



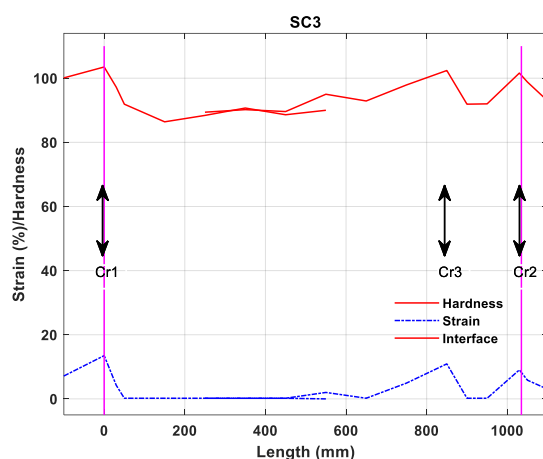
(b) BC2



(c) SC1



(d) SC2



(e) SC3

شکل ۵. توزیع سختی و کرنش در طول آرماتورها

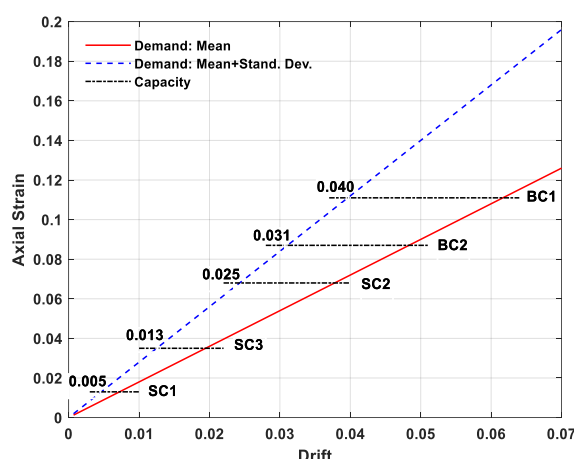
در این مطالعه برای مقایسه ظرفیت تغییرشکل محوری نمونه‌ها با طلب تغییرشکل محوری مورد انتظار، از رابطه ارائه شده توسط Adebar و Dezhdar [۱۲] استفاده شده است. رابطه پیشنهادی آنها از میانگین  $(\mu_\phi)$  و میانگین به علاوه انحراف معیار  $(\mu_\phi + \sigma_\phi)$  تقاضای انحنای زیر می‌باشد

$$(\mu)_{\phi, \text{demand}} l_w = \left( 1.8 - 0.017 \frac{h_w}{R_d} \right) \frac{\Delta_{\text{roof}}}{h_w} \quad (1)$$

$$(\mu + \sigma)_{\phi, \text{demand}} l_w = \left( 2.8 - 0.022 \frac{h_w}{R_d} \right) \frac{\Delta_{\text{roof}}}{h_w} \quad (2)$$

که در آن  $l_w$  و  $h_w$  به ترتیب ارتفاع و طول دیوار،  $\Delta_{\text{roof}}$  جابجایی سقف و  $R_d$  ضریب اصلاح نیروی مربوط به شکل‌پذیری است (که معمولاً مقادیری بین ۲ تا ۴/۵ دارد). در دیوارهای مسلح با آرماتور طولی کم، عمق محور خنثی در مقایسه با طول دیوار اندک است، در نتیجه کرنش کششی در المان مرزی را می‌توان با  $\phi l_w$  تقریب زد. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده در نظر نگرفتن ترم دوم در پرانتز، یک تخمین محافظه‌کارانه از تقاضای تغییرشکل محوری را ارائه می‌کند. همچنین در این شکل ظرفیت تغییرشکل محوری نمونه‌ها نشان داده شده است. با توجه به رابطه تغییرشکل ارائه شده توسط میانگین به علاوه انحراف معیار، حداکثر دررفت قابل قبول برای نمونه‌های مختلف نیز در این شکل نشان داده شده و در جدول ۴ آورده شده است. جدول ۴ همچنین تغییرشکل محوری نمونه‌های ارزیابی شده با کرنش‌های متوسط و یکنواخت و حداکثر محاسبه شده با استفاده از رابطه بین سختی و کرنش را مقایسه می‌کند. کاهش قابل توجه ظرفیت تغییرشکل محوری برای نمونه‌های دارای وصله در شکل ۶ و جدول ۴ مشهود است. در حالیکه نمونه‌های بدون وصله می‌توانستند دررفت بزرگتر از ۰/۰۴۰ داشته باشند، نمونه با طول وصله ۴۰db فقط می‌توانند دررفتی حدود ۰/۰۱۳ را تحمل نمایند.





شکل ۶. مقایسه تقاضای پیش بینی شده و ظرفیت مشاهده شده تغییر شکل محوری برای نمونه‌های مختلف

جدول ۴. تغییر طول و اطلاعات تغییر شکل نمونه‌ها

نمونه	متوسط افزایش طول (mm)	کرنش متوسط *	کرنش یکنواخت **	کرنش ماکزیمم **	دریفت مجاز †	$\varepsilon_{cr}^\ddagger$	$\varepsilon_{cr}$ رابطه ۳
BC1	۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۴۴	۰/۳۸۱	۰/۰۴	۰/۰۳۲	۰/۰۱۷۶
BC۲	۸۴	۰/۰۸۴	۰/۰۸۷	۰/۳۵۷	۰/۰۳۱	۰/۰۳۲	۰/۰۱۷۶
SC1	۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۴۷	۰/۰۰۵	۰/۰۱۱	۰/۰۱۷۶
SC۲	۶۸	۰/۰۶۸	۰/۰۴۶ ††	۰/۱۰۲	۰/۰۲۵	۰/۰۱۸	۰/۰۱۷۶
SC۳	۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۲۵	۰/۱۳۵	۰/۰۱۳	۰/۰۲۳	۰/۰۱۷۶

\* با تقسیم تغییر طول نمونه به طول آن بدست می‌آید.

\*\* با استفاده از رابطه بین سختی و کرنش بدست می‌آید.

† با استفاده از روش پیشنهادی Adebar و Dezhdar (معادله ۲) بدست می‌آید.

†† مقدار زیاد آن بدلیل لغزش آرماتور می‌باشد.

‡ کرنش کششی مشاهده شده از کمانش خارج از صفحه.

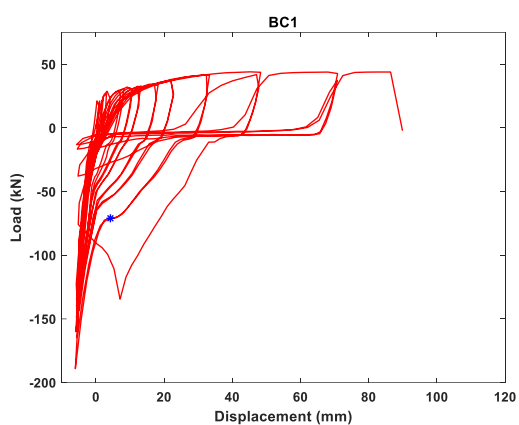
با ارتباط دادن انحنا در وسط دهانه به کرنش در آرماتور طولی و با استفاده از تئوری لنگر محلی [۱۳] نتیجه‌گیری می‌شود که میانگین کرنش بحرانی ناشی از کمانش صفحه‌ای برای نمونه با یک لایه آرماتور می‌تواند مطابق رابطه زیر تخمین زده شود

$$\varepsilon_{cr} = 1.6 \left( \frac{b}{l_o} \right)^2 \quad (3)$$

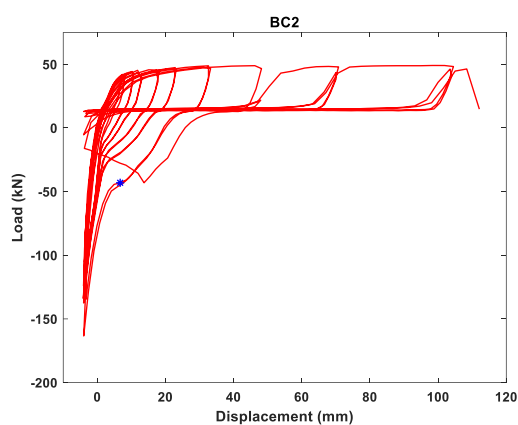
جدول ۴ کرنش کششی مشاهده شده حاصل از کمانش خارج از صفحه‌ای را با مقدار حاصل از معادله ۳ مقایسه می‌کند. با اینکه مقادیر بدست آمده از این معادله برای نمونه‌های دارای وصله از دقت خوبی برخوردار است، اما این مقادیر برای نمونه‌های بدون وصله کمتر از مقدار حاصل از آزمایش است.

شکل ۷ نمودار بار-جابجایی را برای نمونه‌ها نشان می‌دهد. کاهش قابل توجهی در شکل‌پذیری برای همه نمونه‌های دارای وصله پوششی مشاهده می‌شود. طول کم وصله برای نمونه SC1 منجر به کاهش شدید مقاومت و گسیختگی آرماتور در تغییرشکل‌های محوری کوچک شده است. شروع کمانش خارج از صفحه توسط علامت ستاره در نمودار بار-جابجایی مشخص شده است. قبل و بعد از کمانش، تغییرات اساسی در شکل نمودار بار-تغییر شکل مشاهده می‌شود. پس از شروع کمانش، لهیدگی شدید در منحنی هیستریزیس قابل مشاهده

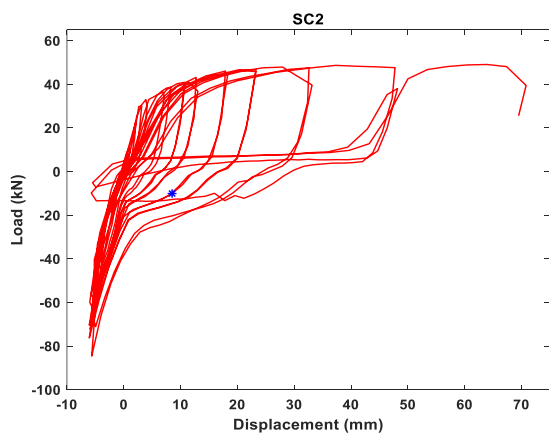
است که این امر به دلیل سختی تقریباً صفر نمونه کمانش شده در شروع بارگذاری مجدد کششی و لغزش آرماتورها در شروع بارگذاری مجدد فشاری است. با توجه به کمانش ناشی از فشار، اتلاف انرژی نمونه‌ها پس از کمانش به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد (شکل ۷ج).



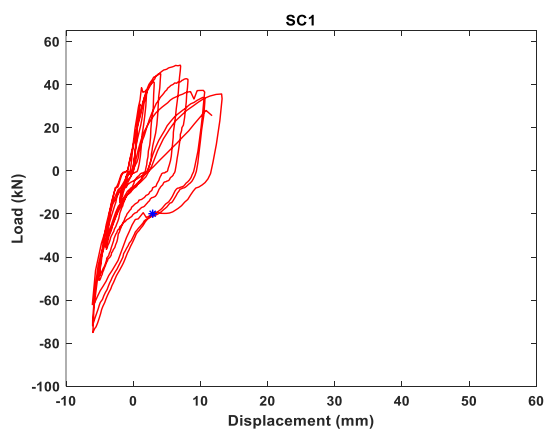
BC1 (الف)



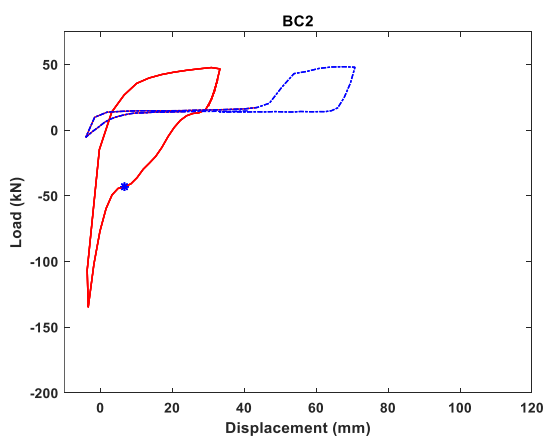
BC2 (ب)



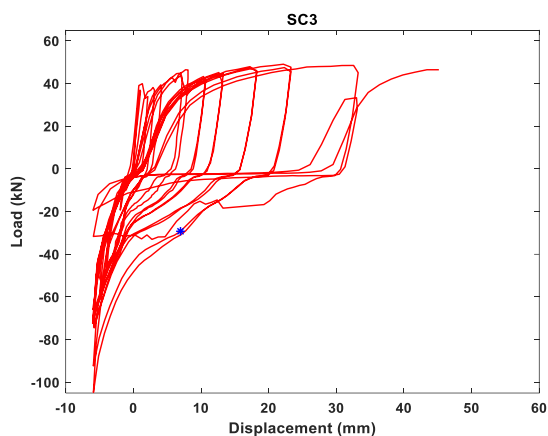
SC1 (پ)



SC2 (ت)



SC3 (ث)



BC2 قبل و بعد از کمانش

شکل ۷. نمودار بار- تغییر شکل نمونه‌ها

## ۴- نتیجه‌گیری

اثر وصله پوششی بر پاسخ لرزه‌ای المان‌های مرزی دیوارهای برشی مسلح به روش تجربی بررسی شده است. برنامه آزمایشی شامل دو نمونه با میلگردهای پیوسته و سه نمونه با طول‌های وصله متفاوت است. پروتکل بارگذاری رفت و برگشتی نامتقارن با کرنش‌های فشاری محدود شده است. نتایج این تحقیق را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود

- کاهش تعداد ترک در نمونه‌های دارای وصله پوششی باعث کرنش زیاد موضعی و گسیختگی آرماتور در دررفت‌های جانبی بسیار کمتر از نمونه‌های دارای آرماتورهای پیوسته می‌شود.
- بدست آوردن مشخصات کرنش آرماتورها، با استفاده از ارتباط بین سختی و کرنش، نشان می‌دهد که کرنش‌های غیرخطی عمدتاً محدود به محل‌های ترک‌خوردگی در نمونه‌های وصله‌دار هستند، در حالیکه برای نمونه‌های دارای آرماتورهای پیوسته کرنش‌های غیرخطی قابل توجهی در طول آرماتور خارج از محل ترک‌ها رخ می‌دهد. این عمل باعث افزایش کرنش موضعی در محل ترک‌ها برای نمونه‌های وصله‌دار می‌شود.
- کم‌مانش خارج از صفحه برای نمونه‌های دارای وصله پوششی در کرنش‌های محوری بسیار کوچکتر اتفاق می‌افتد و پس از کم‌مانش، ظرفیت جذب انرژی المان کاهش قابل توجهی پیدا می‌کند.
- دررفت حداکثر قابل حصول در نمونه‌های با وصله بسیار کمتر از مقادیر متناظر در نمونه‌های بدون وصله است. این امر با توجه به روش طراحی دیوار برشی در آئین‌نامه ACI 318-19، در دیوارهای برشی می‌تواند منجر به شکست موضعی دیوار گردد. برای جلوگیری از این امر توصیه می‌شود مشابه تیر و ستون، در طراحی دیوار هم از روش طراحی مبتنی بر ظرفیت استفاده شود (مشابه NZS 4101 [۱۴]). بدین شکل می‌توان محل تغییرشکل غیرخطی محتمل در دیوار را به پای ستون محدود و با اجتناب از قرارگیری وصله در این محل از کاهش ظرفیت شکل‌پذیری دیوار در اثر وجود وصله جلوگیری نمود.

## مراجع

- [1] ACI318-19, ACI (American Concrete Institute) Building code requirements for structural concrete and commentary, Farmington Hills, MI, 2019.
- [2] Layssi H, Mitchell, D Experiments on seismic retrofit and repair of reinforced concrete shear walls, *Proceeding of 6th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering*, Rome, (2012).
- [3] Lowes LN, Lehman DE, Birely AC, Kuchma, DA, Marley, KP, Hart, CR Earthquake response of slender planar concrete walls with modern detailing, *Engineering Structures*, **43**(2012) 31-47.
- [4] Aaleti S, Brueggen BL, Johnson B, French CE, Sriharan S Cyclic response of reinforced concrete walls with Different anchorage details: Experimental investigation, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 139(2013), 1181-1191.
- [5] Villalobos E, Escolano-Margarit D, Ramirez-Márquez AL, Pujol S Seismic response of reinforced concrete walls with lap splices, *Bulletin of Earthquake Engineering*, **15**(2017), 2079-2100.
- [6] Almeida P., Prodan O, Tarquini D, Beyer K Influence of lap splices on the deformation capacity of RC walls. I: Database assembly, recent experimental data, and findings for model development, *ASCE Journal of Structural Engineering*, **143**(2017).
- [7] Wood SL Minimum tensile reinforcement requirements in walls, *ACI Structural Journal*, **86**(1989), 582-591.
- [8] Lu Y, Henri RS, Ma QT Numerical modelling and testing of concrete walls with minimum vertical reinforcement, *NZSEE conference*, (2014).
- [9] Lu Y, Henry RS, Gultom R, Ma QT, 2017, Cyclic testing of reinforced concrete walls with distributed minimum vertical reinforcement, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 143(2017).
- [10] ACI 355.2-19, Qualification of post-installed mechanical anchors in concrete and commentary, Farmington Hills, MI, 2019.

- [11] Rosso A, Jimenez-Roa LA, Almeida JP, Blando CA, Bonett RL, Beyer K Cyclic tensile-compressive tests on thin concrete boundary elements with a single layer of reinforcement prone to out-of-plane instability, *Bulletin of Earthquake Engineering*, **16**(2018), 859-887.
- [12] Dezhdar E, Adebar P Estimating seismic demand on concrete shear wall buildings, *11th Canadian Conference on Earthquake Engineering*, (2012).
- [13] Mohle, J, Seismic design of reinforced concrete buildings, Mc Graw Hill, (2015).
- [14] NZS 3101, "Concrete Structures Standard (Amendment 3)," Standards New Zealand, Wellington, New Zealand, (2017).