

بررسی تأثیر وصله های مکانیکی آرماتورها بر رفتار غیر خطی تیرهای بتن آرمه به کمک روش المان محدود

علی خیرالدین *

استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه سمنان

حامد دیانتي

دانشجوی کارشناسی ارشد عمران - سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان

چکیده

ساختمان های بتن آرمه، بخش عمده بناهای در حال ساخت را در کشور ایران به خود اختصاص می دهند. در ساختمان های بتن آرمه وصله آرماتور ها، یک امر اجتناب ناپذیر است. وصله پوششی رایج ترین نوع وصله میلگردها است که از مهم ترین معایب آن اتلاف در مصرف میلگرد می باشد. فولاد ساختمانی محصول گران بهایی است که مصرف بهینه آن موجب حفظ ذخایر با ارزش آهن برای نسل های آینده و همچنین کاهش آلودگی های حاصل از تولید، می شود. یکی از راهکارهای مصرف بهینه آرماتور در ساختمان های بتن آرمه، استفاده از وصله مکانیکی به جای وصله پوششی است. استفاده از وصله های مکانیکی در آیین نامه ها و استانداردهای بین المللی مانند ACI-434-312-07 و همچنین در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تحت شرایط خاص توصیه گردیده است. با توجه به وجود مشکلات عدیده اجرایی در سازه های بلند بتن آرمه و پروژه های مهم بتنی به دلیل استفاده از میلگردهای قطور، به کار گرفتن وصله های مکانیکی راه گشا بوده و علاوه بر ایجاد اتصال مطمئن، سایر مشکلات جانبی مرتبط با تراکم آرماتور در سازه های بتنی را نیز برطرف می نماید. با استفاده از اتصالات مکانیکی نه تنها از باقی ماندن آرماتور به صورت مهار پوششی جلوگیری می گردد، بلکه ضایعات آرماتور نیز به حداقل کاهش می یابد. در این مقاله با استفاده از نرم افزار ABAQUS به روش المان محدود، مطالعاتی بر روی رفتار تیرهای بتن آرمه که اتصال آرماتور آنها توسط وصله مکانیکی صورت گرفته شده، انجام شد. پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق استفاده از میلگردهای مستقیم و بدون اتصال، اتصال پوششی و اتصال با استفاده از وصله های مکانیکی در تیرهای بتن آرمه می باشد. مطابق با این تحقیقات ملاحظه گردید که استفاده از وصله های مکانیکی به جای وصله های پوششی رفتاری بسیار نزدیک به حالت آرماتور مستقیم دارد و باعث افزایش ظرفیت باربری تیر به اندازه ۱۵٪ نسبت به اتصال پوششی می شود.

واژه های کلیدی: ساختمان بتن آرمه، وصله مکانیکی، وصله پوششی، آنالیز المان محدود، نرم افزار ABAQUS.

۱- مقدمه

تأثیر وصله‌های مکانیکی بر نوع شکست اعضا بتن آرمه (ترد، محدوده الاستیک و پلاستیک) (الاستیک و پلاستیک)

پیشنهاد روش‌های اجرایی برای رفع نواقص موجود

۱-۱- تاریخچه تحقیقات

هدف از این مقاله شناخت و بررسی رفتار تیرهای بتن آرمه با وصله مکانیکی به کمک آنالیز غیر خطی المان محدود می‌باشد.

وصله‌های آرماتور می‌تواند به صورت پوششی (اورلپ^۱) یا جوشی و یا مکانیکی باشد. در حالت مکانیکی بین میلگردهای وصله شده از یک اتصال یا وصله مکانیکی، استفاده می‌شود. وصله‌های مکانیکی میلگرد امکان وصله‌هایی بر روی طول‌هایی بسیار کوتاه (لب‌به‌لب) را می‌دهند و برای ایجاد پیوستگی در میلگردهای حلقوی یا مارپیچی بسیار مناسب هستند. وصله‌های میلگرد همچنین در تعمیر و مقاوم‌سازی و کاربردهای اتصال میلگرد تقویتی جدید به میلگردهای موجود در طول نسبتاً کوچک می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. دو سیستم وصله مکانیکی میلگرد یعنی وصله مکانیکی پیچ میانی^۲ و وصله مکانیکی مزدوج^۳، در شکل ۱ نشان داده شده‌اند که این آزمایشات توسط آقای کیت لین کوگلر^۴ در شاخه مهندسی عمران و محیط زیست در سال ۲۰۰۵ و در آزمایشگاه دانشگاه کارولینای جنوبی انجام شد.

همچنین در مدل‌سازی نرم افزاری علاوه بر مدل‌سازی وصله‌های بالا از وصله مکانیکی پیچی^۵ اصلاح شده استفاده شده است که با توجه به قرارگیری میلگرد در یک راستا راندمان بالایی نسبت به وصله‌های دیگر دارد.



وصله مکانیکی پیچ میانی
Lenton QuickWedge
وصله مکانیکی مزدوج
BarSplice Double Barrel Zap Screwlok
وصله مکانیکی پیچی
Mechanical Splice Screw

شکل ۱- سیستم‌های وصله میلگرد تقویت کننده مکانیکی

امروزه استفاده از سازه‌های بتن آرمه در ساختمان‌ها و دیگر پروژه‌های عمرانی در کشور ایران به شدت رو به افزایش می‌باشد و از آنجایی که آرماتورها در سازه‌های بتن آرمه نقش مقاومتی بسیار مهمی دارند، در اجرای این سازه‌ها عوامل متعددی محل و مشخصات وصله‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این عوامل شامل اندازه میلگرد، مقاومت تسلیم آرماتور، مقاومت فشاری بتن، فاصله جانبی بین میلگردها، خاموت‌ها و ... می‌باشد و باتوجه به آن که، تیرهای بتن آرمه به صورت پیوسته اجرا می‌شوند و از طرفی طول آرماتورها ۱۲ متر می‌باشد نیاز به وصله آرماتورها می‌باشد و گاهی آرماتورهای باقی مانده از شاخه ۱۲ متری نیز برای استفاده بعدی باید باهم وصله شوند.

از جمله موضوعات مهمی که در تهیه نقشه‌های سازه‌های بتن آرمه مورد توجه قرار می‌گیرد محل و مشخصات وصله آرماتورها است. این مهم در نقشه‌های سازه‌ای با ذکر جمله‌ای نظیر «وصله آرماتورها مطابق آیین‌نامه انجام گیرد» بیان می‌گردد که عموماً مشکل اتصال آرماتورها را در کارگاه حل نمی‌کند.

از طرفی یک مشکل رایج در اجرا این است که به دلیل اشتباهات اجرایی طول مهاری برای وصله پوششی رعایت نمی‌شود و به دلیل شرایط دیکته شده در کارگاه باید در نواحی بحرانی تیر و ستون (نواحی تشکیل مفصل پلاستیک) وصله آرماتور انجام شود، لذا در این موارد عملکرد وصله مستقیم با عملکرد لرزه‌ای سازه در ارتباط می‌باشد و رفتار نامناسب وصله، منتهی به انهدام سازه می‌گردد. بنابراین تصمیم‌گیری برای انتخاب روش وصله آرماتور، محل وصله در طول اعضا و یا روش اجرای آن مستلزم داشتن اطلاعات کامل و معتبر از عملکرد لرزه‌ای انواع روش‌های وصله آرماتورها است.

باتوجه به مطالعات انجام شده مشاهده می‌شود که در موضوع وصله آرماتورها و روش‌های اجرایی آن یک سری ابهاماتی وجود دارد لذا هدف از انجام این مقاله باتوجه به اهمیت بسیار زیاد آن رفع این ابهامات می‌باشد بنابراین به موارد زیر به عنوان مهم‌ترین اهداف این مقاله اشاره کرد:

تأثیر وصله‌های مکانیکی بر رفتار غیر خطی تیرهای بتن آرمه
تأثیر وصله مکانیکی در قسمت بحرانی تیرهای بتن آرمه

⁴ Keith Lynn Coogler

⁵ Mechanical Splice Screw

¹ lap splices

² BarSplice Double Barrel Zap Screwlok©

³ Lenton Quick Wedge©

۱-۲- وصله های مکانیکی تقویت کننده میلگرد

پوششی معمول غیرعملی بود. با توجه به این که تمامی بیش از 3800 وصله ها طبق استاندارد انجام شد. لغزش قابل توجهی در نواحی وصله وجود نداشت.

میلگردهای تقویتی با استفاده از وصله های اورلپ یا پوششی به هم متصل می شوند. برای وصله پوششی یک طول مناسب از دو میلگرد را در مجاور هم قرار می دهند. طول مورد نیاز برای کشش وصله اورلپ ۵۰ تا ۷۰ برابر قطر میلگردهای وصله شده است (ACI 318) و طول وصله نیز باید در نظر گرفته شود. دیگر وصله های اورلپ شامل اتصالات جوشی یا اتصالات مکانیکی می باشد.

۲- برنامه آزمایش خمش تیر

این فصل برپایی آزمایش خمش تیر و خلاصه ای از نتایج به- دست آمده از دو روش الف) آزمایشگاهی و ب) مدل سازی به وسیله نرم افزار ABAQUS را ارائه می دهد.

۱-۳- استفاده از وصله های مکانیکی

• شرح آزمایش

برای ارزیابی کارایی وصله های مکانیکی میلگرد، وصله ها در تیرهای بتن آرمه جای گذاری شدند و به روش زیر تحت- آزمایش قرار گرفتند:

حالت های بسیاری وجود دارد که استفاده از وصله های مکانیکی به جای استفاده از وصله های پوششی معمول مورد استفاده قرار گیرد. وصله های مکانیکی یک پیشنهاد جذاب برای فراهم آوردن پیوستگی و تشکیل «حلقه» یا پیوستگی تقویتی مورد استفاده در ستون ها هستند. دیگر کاربردها شامل آزاد شدن فضا و کاهش نسبت ازدحام آرماتور در نواحی وصله و در اتصال آرماتوری جدید به آرماتور دیگر برای وصله و سازه های اضافی است. دیگر استفاده های وصله های مکانیکی در بخش هایی از سازه که تأثیر بارهای ارتعاشی هستند می باشد. در نهایت وصله های مکانیکی می- توانند به جای وصله های اورلپ طولی مورد استفاده قرار بگیرند.

تیرها در معرض شرایط خستگی به دنبال افزایش و کاهش یکنواخت بار قرار گرفتند. در نتیجه، رفتار وصله در محل مورد نظر می تواند ارزیابی و با رفتار میلگرد مستقیم بدون وصله مقایسه شود. به علاوه، تأثیر بارهای خستگی بر وصله می تواند مورد ارزیابی قرار گیرد، در نهایت نتایج توانایی این نوع از وصله در تیر بتن آرمه برای تأیید را نشان می دهند. در انجام این آزمایش تیر بتنی بر روی دو تکیه گاه قرار داده شده و وصله مکانیکی در مرکز تیر قرار دارد. نیروی وارد شده با استفاده از دستگاه محرک نیرو را به یک تیر پخش کننده اعمال می شود. تیر پخش کننده بر روی دو غلطک فولادی با قطر ۳٫۸ سانتی متر و به فاصله ۹۱ سانتی متر از یکدیگر قرار گرفته و به صفحات فولادی جوش داده شدند که از طریق این صفحات نیرو به تیر وارد می شود. هر تیر به سنسورهای کرنش مقاومت الکتریکی بر میلگرد تقویت خمشی $\emptyset 10$ وصل شد. سنسورها با فاصله ۳۰٫۵ سانتی متر از هر سمت وسط دهانه واقع شد و سپس در ناحیه گشتاور ثابت فرستاده شد. جابجایی های عمودی با استفاده از مبدل های کشش سیم واقع شده زیر هر نقطه بار ثبت شدند. نیروی وارد شده به تیر تا زمانی که خمش تیر در مرکز به ۵ اینچ برسد ادامه می یابد و سپس در همین حالت به وسیله گیره هایی ثابت می ماند.

Cagley و Apple (۱۹۹۸) دو سازه را مورد مقایسه قرار دادند: PNI Garage، در هاریسبورگ، و آزمایشگاه شیمی PA و NIST، در واشنگتن، D.C. برای هر ساختمان، یک برآورد هزینه انجام شد و وصله های مکانیکی مستقیم مخصوص با وصله های پوششی معمول مورد مقایسه قرار گرفت. مشخص شد که وقتی از وصله های پوششی استفاده شود کاهش هزینه کمتر از 0.2% خواهد بود. تحقیق منحصرأ بر وصله های ستونی متمرکز بود، اما نشان داده شده که تفاوت هزینه کمی در روش های وصله گذاری وجود دارد. در نتیجه، می توان استدلال کرد که اگر تأثیر استفاده از وصله های مکانیکی در کنترل کیفیت بهبود مؤثر یابد، مزیت های زیادی در این کار خواهیم داشت.

Hulshizer و همکارانش (1994) استفاده از وصله های مکانیکی قالبی^۱ در یک رآکتور بتنی را مورد بررسی قرار داد. در این نوع سازه به دلیل طراحی پیچیده آرماتورها استفاده از وصله های

¹ swaged

(BF, LF, CF). پیرو شرایط خستگی، نمونه‌های به‌طور یکنواخت تا شکست تحت بار قرار گرفتند. خواص ماده برای هر تیر در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- خواص فولاد تقویتی و بتن استفاده شده در مدل آزمایشگاهی

نمونه	مقاومت فشاری بتن ۲۸ روزه	میلگرد تقویتی Ø10
C	$f'_c = 6,030 \text{ psi (41.6 MPa)}$	$f_y = 65 \text{ ksi (448 MPa)}$
L		
B		
Q		
CF		
LF		
BF		
QF		$f_u = 104 \text{ ksi (717 MPa)}$

ب) برنامه خمش تیر به‌وسیله مدل‌سازی با نرم‌افزار ABAQUS

هشت تیر بتنی تقویت‌شده مانند نمونه آزمایشگاهی به‌وسیله نرم افزار ABAQUS مدل‌سازی شد. هر نمونه ۲۵٫۴ سانتی‌متر ارتفاع، ۳۰٫۵ سانتی‌متر عرض و ۴۷۵ سانتی‌متر طول داشت. هر تیر یک میلگرد تقویتی نمره Ø10 منفرد به‌عنوان تقویتی خمشی و دو میلگرد نمره Ø8 در ناحیه فشاری برای اطمینان از این‌که تیر بتنی درحین کارکردن خسارت نبیند تعبیه شد. مقاطع تیر در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. هر نمونه ویژگی‌های زیر را داشتند:

- (a) مستقیم، بدون وصله مکانیکی (K)
- (b) وصله اورلپ با طول استاندارد ۳۰٫۵ سانتی‌متر (M)
- (c) وصله مکانیکی پیچی BoltSplice (N)
- (d) وصله مکانیکی QuickWedge (O)

جدول ۲- خواص فولاد تقویتی و بتن استفاده شده در مدل‌سازی

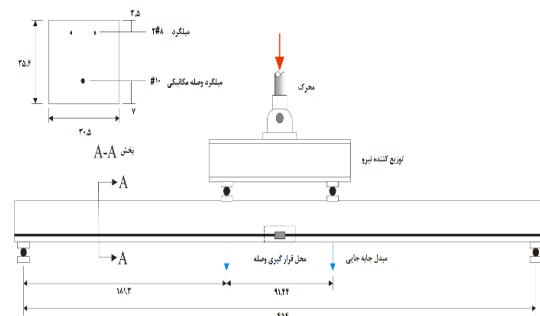
نمونه	مقاومت فشاری بتن ۲۸ روزه	میلگرد تقویتی Ø10
K	$f'_c = 6,030 \text{ psi (41.6 MPa)}$	$f_y = 65 \text{ ksi (448 MPa)}$
M		
N		
O		
		$f_u = 104 \text{ ksi (717 MPa)}$

در تعریف اندرکنش بتن و فولاد در قسمت Interaction نوع تماس بین قطعات را از نوع Contact و رفتار بین قطعات را از نوع

الف) برنامه آزمون خمش تیر در مدل آزمایشگاهی

هشت تیر بتنی تقویت شده برای این آزمایش قالب‌گیری شد. هر نمونه ۲۵٫۴ سانتی‌متر ارتفاع، ۳۰٫۵ سانتی‌متر عرض و ۴۷۵ سانتی‌متر طول داشت. هر تیر یک میلگرد تقویت کننده نمره Ø10 منفرد به‌عنوان تقویت کننده خمشی اولیه و دو میلگرد نمره Ø8 در ناحیه فشاری برای اطمینان از این‌که تیر درحین کارکردن خسارت نبیند تعبیه شد. مقاطع تیر در شکل ۲ (الف) نشان داده شده‌اند. تیرها به صورت جفت قالب‌گیری شده بودند، هر جفت نمونه ویژگی‌های زیر را داشتند:

- (a) مستقیم، بدون وصله (C)
- (b) وصله اورلپ با طول استاندارد ۳۰٫۵ سانتی‌متر (L)
- (c) وصله مکانیکی پیچی BarSplice (B)
- (d) وصله مکانیکی QuickWedge (Q)



(الف) تصویر طرح کلی برای آزمون خمش تیر



(ب) تصویر برای آزمون خمش تیر

شکل ۲- برپایی آزمون خمش تیر

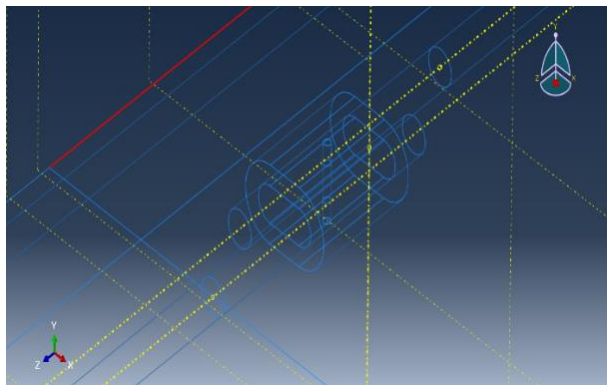
اولین تیر از هر جفت به‌طور یکنواخت برای شکست انتخاب شد (یعنی: C, L, B). دومین تیر از هر جفت در معرض 10,000 چرخه بارگذاری تکرارشونده قرار گرفت (نتیجه اندازه‌گیری در اولین چرخه بارگذاری، N=1). نمونه‌های بعدی تحت عنوان «خستگی» مورد آزمایش قرار گرفت و با F شناخته می‌شود (یعنی:

بررسی تأثیر وصله های مکانیکی آرماتورها...

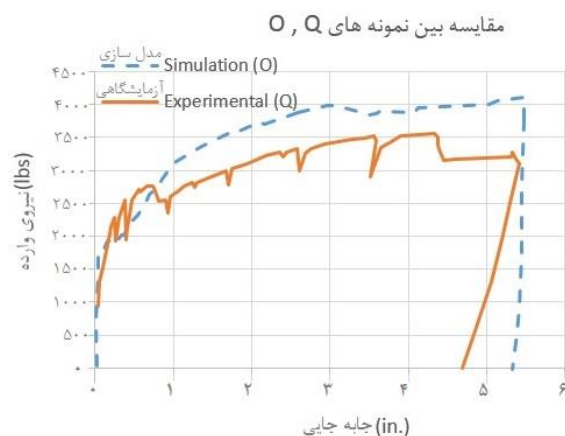
بدون وصله همانطور که از شکل مشاهده می شود منحنی مربوط به مدل سازی عددی قدری سخت تر و مقاومت بالاتری را نسبت به مدل آزمایشگاهی نشان می دهد که باتوجه به خروجی اطلاعات به دست آمده حداکثر اختلاف به دست آمده بسیار نزدیک به مقدار واقعی است.



شکل ۴- اتصال Quick Wedge



شکل ۵- مدل سازی اتصال Quick Wedge

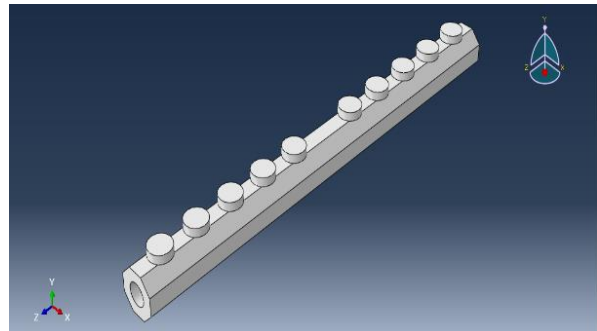


شکل ۶- نمودار نیرو - جابه جایی در وصله های مکانیکی

QuickWedge

باتوجه به نمودار بالا می توان حداکثر اختلاف نیرو در نمودار نیرو - جابه جایی را ۱۴٪ در نظر گرفت.

لغزشی انتخاب نموده و در قسمت Penalty اصطکاک بین قطعات را مقدار ۵۰ قرار دادیم. در قسمت Shear Stress برای نزدیک شدن مدل سازی به مقدار واقعی همین مقدار را وارد نمودیم.



شکل ۳- مدل سازی با نرم افزار ABAQUS

۱-۲- کالیبره کردن نتایج مدل سازی اجزای محدود با نتایج اتصال آزمایشگاهی

برای کالیبره کردن نتایج تحلیل اجزای محدود با نتایج نمونه اتصال آزمایشگاهی، ۲ اتصال آزمایشگاهی (اتصال مستقیم و اتصال Quick Wedge)، یکسری تحلیل های حساسیت بر روی پارامترهای موجود در نرم افزار آباکوس بر روی وصله انجام شده است.

الف) تحلیل حساسیت نیرو - جابه جایی بر روی اتصال Quick Wedge

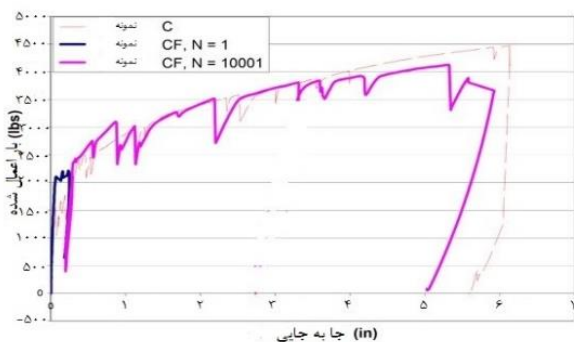
در نمونه آزمایشگاهی وصله مکانیکی QuickWedge شکل (۴) برای کالیبره نمودن، وصله آزمایشگاهی (Q) شکل (۴) و وصله مدل سازی شده توسط نرم افزار (O) در شکل (۵) مورد مقایسه قرار گرفتند و خروجی اطلاعات آنها در شکل (۶) نمایش داده شده است. در شکل (۶) در آرماتورهای بدون وصله همانطور که از شکل مشاهده می شود منحنی مربوط به مدل سازی عددی قدری سخت تر و مقاومت بالاتری را نسبت به مدل آزمایشگاهی نشان می دهد که باتوجه به خروجی اطلاعات به دست آمده حداکثر اختلاف به دست آمده بسیار نزدیک به مقدار واقعی است.

ب) تحلیل حساسیت نیرو - جابه جایی بر روی اتصال مستقیم

در نمونه های مستقیم و بدون وصله، وصله آزمایشگاهی (C) و وصله مدل سازی شده توسط نرم افزار (K) شکل (7) در نمودار شکل (8) مورد مقایسه قرار گرفتند. در شکل (8) در آرماتورهای

۲-۲-۱- نمونه‌های C و CF

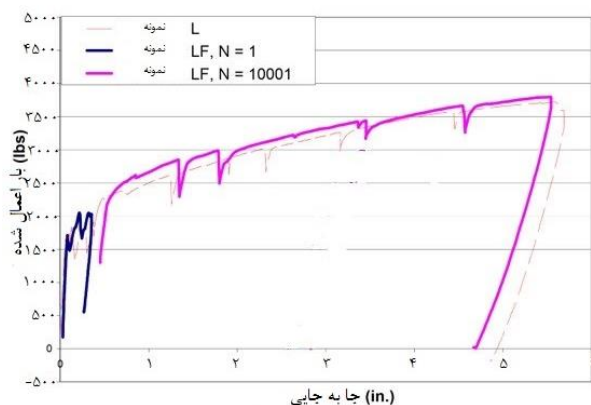
نمونه C بالاترین بار اعمالی از آزمون‌های تیر را ثبت کرد، که در نتیجه آن تیر سختی بالاتری پس از نقطه تسلیم^۱ نسبت به بقیه نمونه‌ها داشت. اوج بار نزدیک 4.5 kips بود اگرچه این نمونه برای خمشی نزدیک به ۱۶ اینچ تحت بار قرار گرفت. در حین آزمون دیگر نمونه‌ها آزمون در خمشی نزدیک ۵.۵ اینچ متوقف شد بار در این خمش 4.3 Kips بود. نمونه CF تنزل کمی از شرایط خستگی نشان داد و مشابه نمونه C بود و اکثر تاریخچه آزمون در شکل (۹) آمده است. مقدار تنزل در رفتار نمونه CF در انتهای آزمون در جابجایی‌های ۵ اینچ مشاهده می‌شود، اگرچه این رفتار نمی‌تواند لزوماً ویژگی تأثیرات نامطلوب شرایط خستگی باشد.



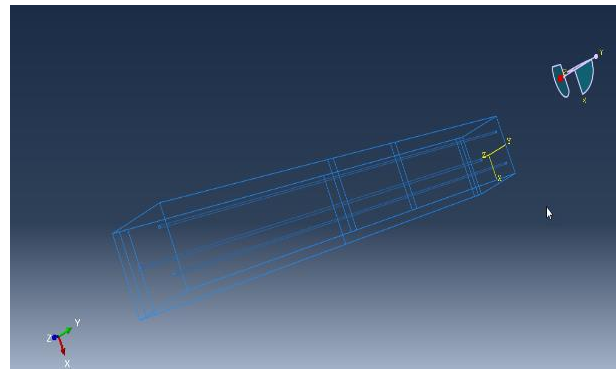
شکل ۹- نمودار بار - جابه‌جایی برای نمونه‌های وصله نشده

۲-۲-۲- نمونه‌های L و LF

نمونه L و LF به‌طور مشابه و با تفاوت کم در سختی‌ها به دلیل شرایط خستگی رفتار کردند. این سری سختی کمتری به نسبت دیگر نمونه‌ها داشتند و اوج بار تنها 3.75 Kips بود و در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

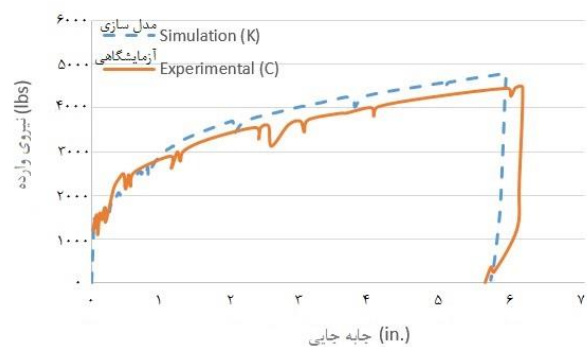


شکل ۱۰- نمودار بار اعمالی در مقابل جابه‌جایی برای نمونه‌های وصله هم‌پوشان



شکل ۷- مدل سازی میلگرد مستقیم و بدون وصله

مقایسه بین نمونه‌های C, K



شکل ۸- نمودار نیرو جابه‌جایی در نمونه‌های میلگرد مستقیم و بدون وصله

باتوجه به نمودار بالا می‌توان حداکثر اختلاف نیرو در نمودار نیرو - جابه‌جایی را ۷٪ در نظر گرفت.

جدول ۳- نتایج کالیبره نمودن نمونه آزمایشگاهی و نمونه مدل سازی با نرم افزار

مدل	حداکثر اختلاف نیرو در نمودار آزمایشگاهی	حداکثر اختلاف نیرو در نمودار مدل سازی شده	درصد اختلاف
Quick Wedge (lbs)	۳۵۰۰	۴۰۰۰	۱۴٪
مستقیم (lbs)	۴۳۰۰	۴۸۰۰	۷٪

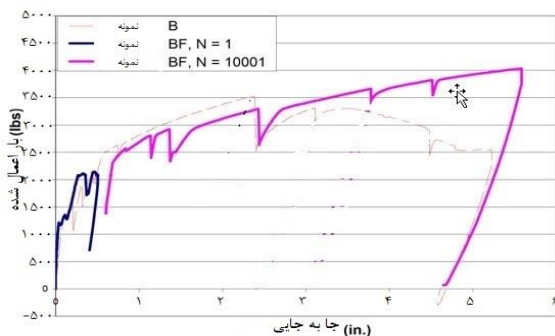
۲-۲-۲- بحث و رفتار نمونه تیر در مدل آزمایشگاهی

این بخش رفتار هر نمونه آزمون را مورد بحث قرار می‌دهد.

¹ post-yield

و مورد بازرسی قرار گرفت. وصله به وضوح اثرات لغزش را نشان داد: میلگرد اولی لغزشی در حدود ۰٫۵ اینچ را در سرتاسر وصله تجربه کرد. اثرات وصله در شکل (۱۲) نشان داده شده است؛ لغزش در شکل به وضوح مشخص نیست، اما از نبود تراکم بر یک سمت وصله مشخص است که لغزش قابل توجهی در وصله وجود دارد. نمونه BF اثرات کمی از تنزل را در نتیجه شرایط خستگی نشان داد و بار بیشتری به نسبت آزمون یکنواخت نشان داد، و بار نهایی 4 Kips را در خمش ۵٫۲۵ اینچ به دست آورد.

در هر تیر، بتن برای محدود کردن مناسب وصله BarSplice، ناتوان و ترک خوردگی در زیر تیر نمونه نمایان و از چرخش وصله یا لغزش میلگردها در وصله ناشی شده بود. این ترک خوردگی مشکل خاصی را با وصله های میلگرد نشان می دهد: ترک خوردگی پوشش بتن سبب مشکلات خاص در عناصر سازه ای و در معرض محیط قرار گرفتن به ویژه نمک های ضد یخ^۳ می شود. این ترک خوردگی روی نمونه B در شکل (۱۳) که در بار 17.8 KN است نشان داده شده است.



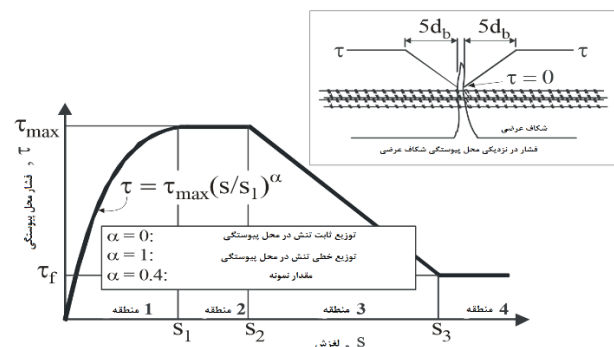
شکل ۱۲- نمودار بار اعمال شده - جابه جایی برای نمونه های BarSplice



شکل ۱۳- ترک خوردگی طولی زیر تیر در اثر چرخش وصله BarSplice بر روی نمونه B

تنزل ظاهری رفتار نمونه های L در مقایسه با نمونه های C می تواند به واکنش انتظار داشته، نرمش^۱ وصله پوششی در مقایسه با بار پیوسته نسبت داده شود. در وصله پوششی، لغزش میلگردها، به علاوه کرنش فولاد، در اندازه طول زیاد در وصله تأثیر دارند. لغزش فوراً نشان داده شد و تا تنش خمشی افزایش یافت. این رفتار به طور شماتیک در شکل (۱۱) نشان داده شده است ارتباط تنش - لغزش به وسیله (CEB^۲ 1990) تعیین شده است.

پاسخ بارگذاری چرخه ای در شرایط خستگی وصله های پوششی به طور قابل توجهی کمتر از پاسخ بارگذاری یکنواخت است. افزایش حالت بحرانی تنش خمشی در وصله های پوششی در بارگذاری خستگی به نسبت تنش های خمشی تحت بارگذاری یکنواخت مشاهده می شود. به علاوه، برای شرایط بارگذاری چرخه ای، تأثیرات محصورشدگی در میلگرد تقویتی مهم و قابل توجه هستند. برای انجام آزمون ها در این بررسی، محصورشدگی عرضی فراهم نشد و در نتیجه کاهش چرخش وصله (یا تأثیرات سودمند محصورشدگی تحت شرایط یکنواخت) مشهود نبود.



شکل ۱۱- ارتباط وصله هم پوشان خمشی تنش - لغزش تعیین شده بوسیله GEB 1990 (شکل از Harries و همکارانش)

۲-۲-۳- نمونه های B و BF

نمونه B شکل (۱۲) در ابتدا پیک بار 3.57Kips به دست آمد. هرچند، بر روی دوباره بارگذاری در اثر نگه داشتن در این پیک (برای ثبت ترک) نمونه هرگز ظرفیت قبلیش را بازیافت، تنها ظرفیت 3.2kips را قبل از شروع بار به کاهش به دست آورد. نتیجه خمش تا افزایش تعیین کننده شکست نمونه ادامه پیدا کرد. آزمون در خمش ۵ اینچ متوقف شد. بعد از آزمون، وصله بازیابی

³ deicing salts

¹ Softer

² Comité European du Béton

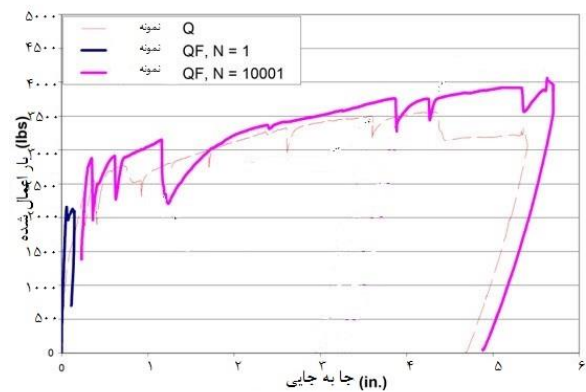
۴-۲-۲- نمونه‌های Q و QF

خسارت سبب شده به وسیله چرخش باعث ترک در نزدیک ناحیه وصله بر یک سمت تیر می‌شود و چرخش باعث شده پوشش بتن را به طور کامل خرد می‌کند.

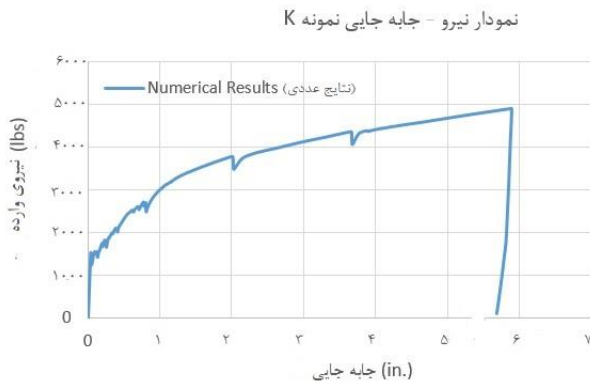
نمونه Q با روشی مشابه نمونه B انجام شد. در حین بارگذاری اولیه، نمونه سختی منطقی داشت. در اوج بار مرحله بارگذاری اولیه، وصله شروع به چرخش و پوشش بتن شروع به خرد شدن کرد. شکل (۱۵) تأثیر چرخش وصله بر روی پوشش بتن را نشان می‌دهد. ترک خوردگی ابتدا در 3.1 Kips نمایان شد و ترک خوردگی در شکل (۱۴) در بار 3.4 Kips در پیک بارگذاری اولیه نشان داده شد.

۵-۲-۲- نمونه‌های K

نمونه K بالاترین بار اعمالی از خروجی برنامه را ثبت کرد، که نتیجه این بود که تیر سختی پس از نقطه تسلیم^۲ بالاتری به نسبت بقیه نمونه‌ها داشت. پیک بار نزدیک 4.9 Kips بود اگرچه این نمونه برای خمشی نزدیک به ۵٫۵ اینچ تحت بار قرار گرفت. در حین مدل سازی دیگر نمونه‌های آزمون در خمشی نزدیک ۵ اینچ متوقف شد بار در این خمش 5 Kips بود.



شکل ۱۴- نمودار بار اعمالی - جابه جایی برای نمونه‌های QuickWedge



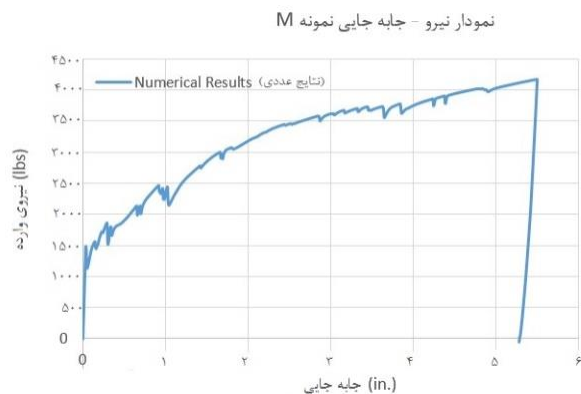
شکل ۱۶- نمودار بار اعمالی - جابه جایی برای نمونه‌های مستقیم

۶-۲-۲- نمونه‌های M

نمونه M به طور مشابه با تفاوت کمی مشابه نمونه L رفتار کرد. این نمونه سختی کمتری به نسبت دیگر نمونه‌ها داشت و پیک بار تنها 4.2 Kips بوده و در شکل (۱۷) نشان داده شده است.



شکل ۱۵- ترک خوردگی طولی زیر تیر در اثر چرخش وصله QuickWedge بر روی نمونه B (جهت امتداد طول تیر)



شکل ۱۷- نمودار بار اعمالی - جابه جایی برای نمونه‌های اورلپ

در حین بارگذاری مجدد، کارایی نمونه تنزل یافت و برای دستیابی به بارهای بالاتر ضعیف عمل نمود در نتیجه خمش‌ها پیوسته افزایش یافت. شکست لغزشی مشابه آنچه در نمونه B مشاهده شده بود نیز برای این مورد احساس می‌شد. به محض بازرسی پیش آزمون، لغزش قابل توجهی وجود نداشت اگرچه چرخش قابل توجهی انجام شد، که این باعث افزایش خمش بدون افزایش بار می‌شود. مشابه با نمونه‌های Barsplice، پوشش بتن برای مقید کردن وصله از چرخش ناتوان بود.

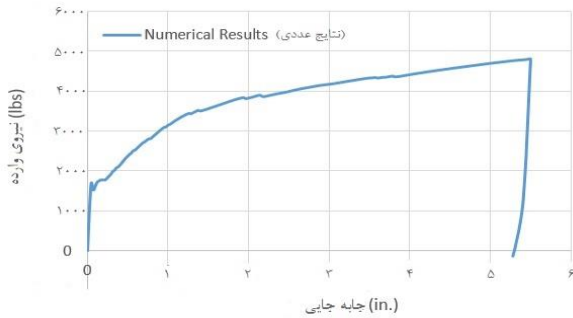
² post-yield

¹ spall

۲-۲-۸- نمونه های O

نمونه O با روشی مشابه نمونه Q انجام شد؛ در حین بارگذاری اولیه نمونه سختی منطقی داشت. این نمونه وصله مدل شده وصله Q برای کالیبره نمودن مدل نرم افزاری می باشد.

نمودار نیرو - جابه جایی نمونه O



شکل ۲۲- نمودار بار اعمالی - جابه جایی برای نمونه های QuickWedge

۲-۳-۳- مقایسه بین مدل های آزمایشگاهی و نرم افزاری
در این مقاله برای کالیبره نمودن مدل آزمایشگاهی از وصله Q استفاده شده است و نمودارهای پایین مقایسه بین مدل آزمایشگاهی و مدل نرم افزاری میباشد.

۲-۳-۱- نمونه های مستقیم و بدون وصله (C, K)
در نمونه های مستقیم و بدون وصله، وصله آزمایشگاهی (C) و وصله مدل سازی شده توسط نرم افزار (K) در شکل (۲۳) مورد مقایسه قرار گرفتند. این نمونه بالاترین بار اعمالی از آزمون های تیر را ثبت کرد که در نتیجه سختی تیر با نقطه تسلیم بالاتری نسبت به بقیه نمونه ها داشت. با توجه به شکل (۲۳) نمونه مدل سازی شده با نمونه آزمایشگاهی با درصد کمی اختلاف مطابقت دارد.

۲-۳-۲- نمونه های همپوشانی یا اورلپ (M, L)
در نمونه های همپوشانی یا اورلپ، وصله آزمایشگاهی (L) و وصله مدل سازی شده توسط نرم افزار (M) در شکل (۲۴) مورد مقایسه قرار گرفتند. با توجه به شکل (۲۴) نمونه مدل سازی شده پیوستگی و یکنواختی بیشتری نسبت به مدل آزمایشگاهی دارد که می توان دلیل آن را در مدل آزمایشگاهی عدم استحکام کامل بین میلگردها دانست. با توجه به نمودار نمونه مدل سازی شده سختی بیشتری را نسبت به نمونه آزمایشگاهی نشان می دهد.

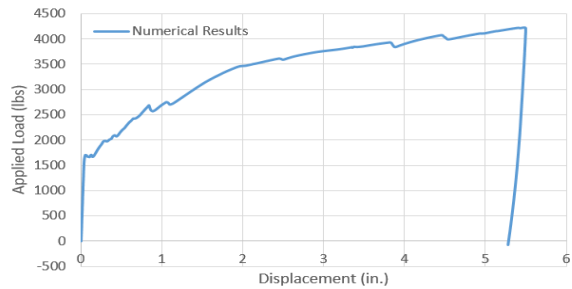
۲-۲-۷- نمونه های N

نمونه N به مانند شکل (۱۸) پیک بار 4.3 Kips به دست آمد. از نتایج به دست آمده در شکل (۱۹) نشان داده می شود وصله مکانیکی پیچی به علت نداشتن گشتاور در خود وصله به دلیل هم راستا بودن میلگردها نیروی بیشتری را نسبت به سایر وصله ها داشته است.

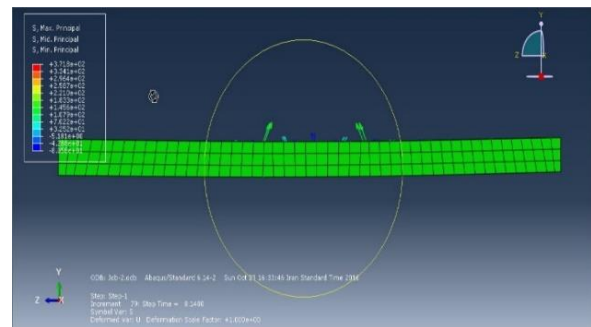


شکل ۱۸- وصله مکانیکی پیچی

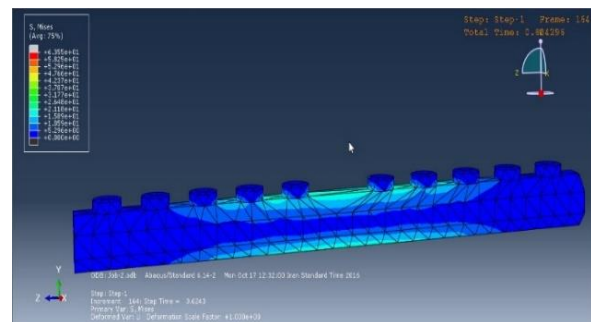
نمودار نیرو - جابه جایی نمونه N



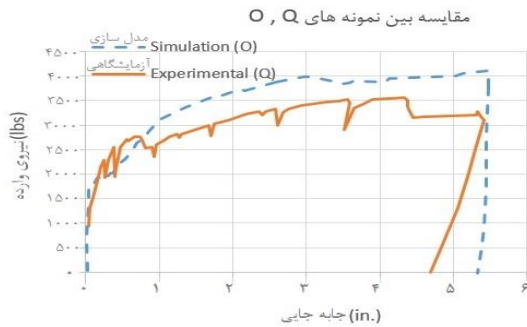
شکل ۱۹- نمودار بار اعمالی - جابه جایی برای نمونه های با وصله مکانیکی



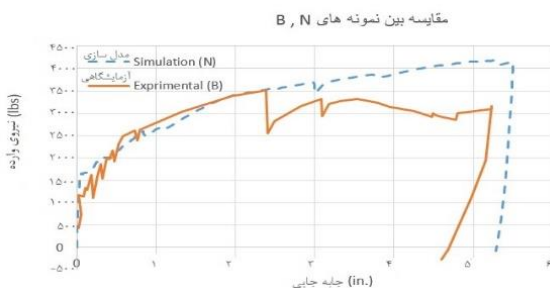
شکل ۲۰- نحوه وارد شدن نیرو به تیر



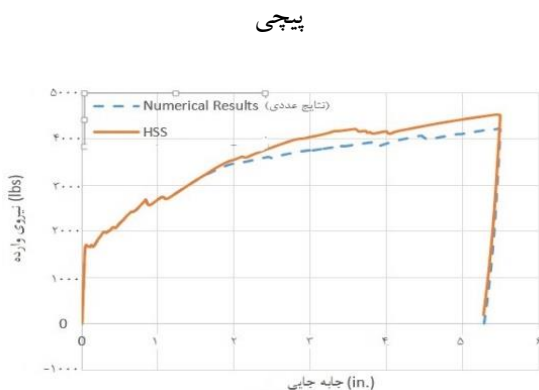
شکل ۲۱- اثر گذاری نیرو بر روی وصله



شکل ۲۵- نمودار نیرو - جابه جایی در وصله های مکانیکی QuickWedge



شکل ۲۶- نمودار نیرو - جابه جایی در وصله های مکانیکی پیچی



شکل ۲۷- نمودار نیرو - جابه جایی در وصله مکانیکی پیچی از نظر نوع مقاومت

۲-۳-۶- نمونه های مدل آزمایشگاهی و شبیه سازی نرم افزار

- (a) مستقیم، بدون وصله (Series C)
- (b) وصله اورلپ با طول استاندارد ۳۰٫۵ سانتی متر (Series L)
- (c) وصله مکانیکی پیچی BarSplice (Series B)
- (d) وصله مکانیکی QuickWedge (Series Q)
- (e) مستقیم، بدون وصله مکانیکی (Series K)
- (f) وصله اورلپ با طول استاندارد ۳۰٫۵ سانتی متر (Series M)
- (g) وصله مکانیکی پیچی BoltSplice (Series N)
- (h) مدل شبیه سازی وصله مکانیکی QuickWedge (Series O)

۲-۳-۳- نمونه های وصله مکانیکی QuickWedge (O, Q)

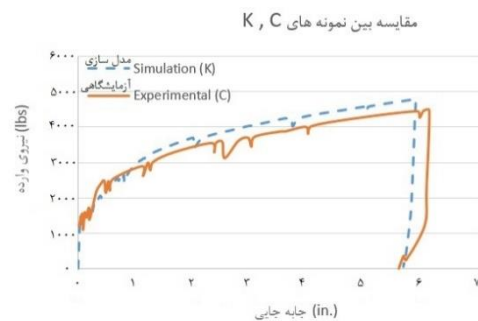
در نمونه های وصله مکانیکی QuickWedge، وصله آزمایشگاهی (Q) و وصله مدل سازی شده توسط نرم افزار (O) در شکل (۲۵) مورد مقایسه قرار گرفتند. باتوجه به شکل (۲۵) نمونه مدل سازی شده پیوستگی بیشتری نسبت به نمونه آزمایشگاهی دارد که می توان علت آنرا در واقعیت ترک های به وجود آمده در بتن دانست که سبب افتادگی در نمودار شده است.

۲-۳-۴- نمونه های وصله مکانیکی پیچی (B, N)

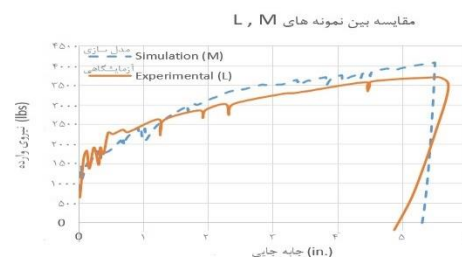
در نمونه های وصله مکانیکی پیچی، وصله آزمایشگاهی (B) و وصله مدل سازی شده توسط نرم افزار (N) در شکل (۲۶) مورد مقایسه قرار گرفتند. باتوجه به این که در نمونه مدل سازی از وصله پیچی اصلاح شده استفاده شده، افتادگی نمونه آزمایشگاهی در قسمت انتهای نمودار مشاهده نمی شود و نمودار روند طبیعی را طی می کند.

۲-۳-۵- نمونه های وصله مکانیکی پیچی از نظر مقاومت

در نمونه های وصله شبیه سازی مکانیکی پیچی از نظر نوع مقاومت از فولاد پر مقاومت استفاده شده که بهبود رفتار تحمل بار را در حدود ۱۱٪ در شکل (۲۷) نشان می دهد. در نمونه مدل سازی شده از فولاد ST37 و ST52 استفاده شده است.



شکل ۲۳- نمودار نیرو - جابه جایی در نمونه های میلگرد مستقیم و بدون وصله



شکل ۲۴- نمودار نیرو - جابه جایی در اتصال میلگردهای همپوشانی یا اورلپ

۲) بعد از میلگرد مستقیم و بدون وصله اتصال مکانیکی پیچی به علت در یک راستا بودن میلگردها و نداشتن ممان دارای بیشترین تحمل بار می باشد.

۳) وصله های مکانیکی Quick Wedge , BarSplice در ابتدا بصورت یکپارچه عمل کرده و با زیاد شدن نیرو به دلیل در راستا نبودن میلگردها از تحمل نیرو کاسته و نیروی گشتاور به آن وارد میشود و همین امر باعث افت نمودار در قسمت انتهایی آن می شود. ۴) وصله اورلپ به دلیل نداشتن یکپارچگی و استحکام دو میلگرد دارای تحمل ضعیف تری نسبت به وصله مکانیکی پیچی و اتصال مستقیم می باشد.

۳- نتیجه گیری

سه سیستم وصله مکانیکی میلگرد، یعنی وصله مکانیکی پیچ میانی و وصله مکانیکی مزدوج و وصله مکانیکی پیچی در شش سری آزمون مورد بررسی قرار گرفت. کارایی هر نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت و در جدول (۶) نشان داده شده است. کارایی هر نمونه بر اساس نتایج در جدول (۴) و شکل (۲۸) نشان داده شده است ارزیابی شد. از کارایی در این معیارها نتایجی که در ادامه آمده است را می توان ترسیم کرد:

۱- نوسان زیادی در داده های لغزش برای هر سری از آزمونها وجود داشت.

۲- نتیجه نمونه آزمایشگاهی مستقیم، بدون وصله (C) بسیار نزدیک به نمونه مدل سازی شده با نرم افزار Abaqus مستقیم، بدون وصله مکانیکی (K) می باشد و دارای بیشترین تحمل نیرو است.

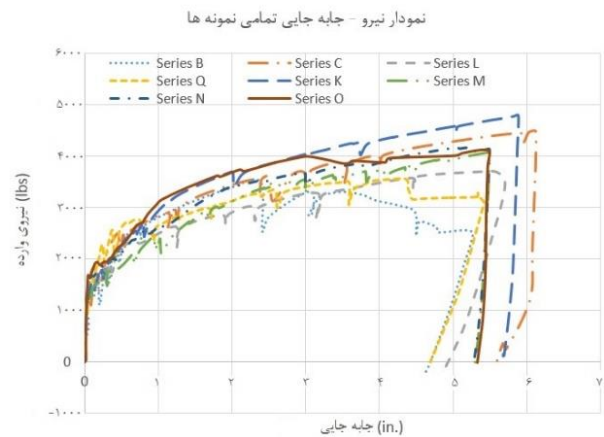
۳- نمونه های با بار یکنواخت نیروی بیشتری نسبت به نمونه های خستگی تحمل می کنند.

۴- نتایج نمونه مدل سازی شده بسیار نزدیک به نمونه آزمایشگاهی آن می باشد.

۵- در نمونه های بارگذاری شده نمونه مستقیم به دلیل یکپارچه بودن میلگرد نیروی بیشتری تحمل می نماید.

۶- وصله اورلپ به دلیل لغزش میلگردها روی یکدیگر و یکپارچه نبودن کمترین نیرو را تحمل می نماید.

۷- وصله مکانیکی پیچی به دلیل در یک امتداد بودن میلگردها نیروی بیشتری را نسبت به ۲ وصله دیگر پذیرا می باشد.



شکل ۲۸- نمودار نیرو - جابه جایی تیرهای بتن آرمه تحت آزمایش در مدل های آزمایشگاهی و نرم افزار

جدول مقایسه حاصل از نمودار

جدول (۴) تعدادی از نمونه ها که معیارهای لیست شده را نشان می دهد.

جدول ۴- نمونه ها در جابه جایی های معین

	۱	۲
نمونه	load at 2 in. (50.8 mm) displacement, kips (kN)	load at 5in. (۱۲۷ mm) displacement, kips (kN)
C	۳,۴۰	۴,۲۸
CF	۳,۴۱	۴,۰۷
L	۲,۸۸	۳,۶۷
LF	۲,۹۸	۳,۷۲
B	۳,۳۸	۲,۵۴
BF	۳,۱۲	۳,۹۳
K	۳,۷	۴,۷
KF	۳,۵	۴,۵
M	۳,۲	۴,۱
MF	۲,۹	۳,۷
N	۳,۴	۴,۲
O	۳,۶	۴,۵

۱) با توجه به نمودار شکل (۲۸) ملاحظه می شود میلگرد مستقیم و بدون وصله دارای بالاترین قدرت تحمل بار را می باشند.

۸. برش میلگرد در اثر افزایش تنش مربوط به تماس با پیچ میلگرد معمول‌ترین حالت شکست مشاهده شده در آزمون‌ها بود.

۴- مراجع

[۱]. وزارت راه و شهرسازی معاونت مسکن و ساختمان، مقررات ملی ساختمان ایران مبحث نهم طرح و اجرای سازه های بتن آرمه، دفتر مقررات ملی ساختمان، ویرایش چهارم، تهران، نشر توسعه ایران، سال ۱۳۹۲.

[۲]. شاپور طاحونی، طراحی ساختمان های بتن مسلح (بر مبنای آیین نامه بتن ایران)، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، سال ۱۳۷۵.

[۳]. براتعلی محمدزاده محمدرضا اصفهانی احمد شوشتری، "بررسی شکل پذیری تیرهای بتن آرمه ی وصله دار"، نشریه مهندسی عمران، سال بیست و دوم، شماره یک، ۱۳۸۹.

[۴]. طالب مرادی شقاقی، وحید فرامرزاده، حمید جعفرنژاد، "مطالعه و ارزیابی عملکرد وصله های مکانیکی میلگردهای کششی از نوع لوله های فولادی پر شده با گروت در قطعات بتن مسلح"، کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، چهارمین دوره، تهران، مهر ۱۳۹۱.

[۵]. هادی شیرین سخن، "بررسی عملکرد لرزه ای وصله مکانیکی آرماتورها در سازه های بتن آرمه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، سمنان، شهریور ۱۳۹۵.

[۶]. مهراله رخشانی مهر، محمد رضا اصفهانی، سید روح ا... موسوی، "مقاومت پیوستگی بین آرماتورهای پلیمری مسلح الیافی و بتن در تیرهای وصله دار"، مجله علمی پژوهشی عمران مدرس، دوازدهم دوره، پاییز ۱۳۹۱.

[۷]. علی خیرالدین، هرمز فامیلی، هادی شیرین سخن، محمد دلنواز "معرفی روش های نوین وصله آرماتورها در سازه های بتن آرمه" نشریه انجمن بتن ایران، سال هفدهم، شماره ۶۱، صفحه ۵۲ تا ۶۷، بهار ۹۵.

[۸]. شرکت دانش بنیان بهین اتصالات، "مقایسه اقتصادی وصله مکانیکی و پوششی"، ۱۳۹۱.

[۹]. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، آیین نامه بتن ایران (آبا)، دفتر امور فنی کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، نشر سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، سال ۱۳۸۳.

[10] Anchorages And Lap Splices In The FIB Model Code (a Comparison wWth ACI 318) 2010

[11] Japanese Industrial Standards Committee، Japanese Industrial Standards(JIS)، 2008

[12] Harry B. Lancelot "Mechanical Splices of Reinforcing Bars" The Aberdeen Group, 1985

۳-۱- پیشنهادات

اطلاعات محدودی در مورد آزمون و استفاده از وصله های مکانیکی میلگرد وجود دارد. این بررسی تنها اطلاعاتی درباره استفاده از وصله های مکانیکی میلگرد ارائه می دهد. نیاز به کار بیشتر در این حوزه وجود دارد تا قبل از استفاده از این وصله ها بتوان کاملاً آن ها را قابل قبول دانست. برخی پیشنهادات که در این بررسی مورد توجه است به قرار زیر است:

۱- اصلاحاتی برای ساخت آزمون های استاندارد و معیار کارایی به ویژه ص برای وصله های میلگرد مورد نیاز است.

۲- حضور محصورشدگی برای بهبود رفتار وصله های آزمایشگاهی به دلیل در امتداد نبودن میلگردها و ایجاد چرخش وصله پیش بینی بشود؛ تحقیق درباره این اثر مورد نیاز است.

۳- استفاده از وصله های میلگرد در کاربردهای غیرلرزه ای باید مورد بررسی قرار گیرد.

۴- برای تمام وصله ها، وصله میلگرد نباید در منطقه تنشی بالا یا موقعیت های بحرانی خستگی قرار گیرند مگر بررسی وصله در محدوده تنشی انجام شده باشد. استفاده از وصله های مکانیکی میلگرد به نسبت وصله اورلپ برای بتن بادوام تر هستند و گزینه خوبی برای جایگزینی آن می باشد.

۵- تحقیق بر روی مواد و قطعات ایجاد اتصال یکپارچه بتن آرماتورها و در نتیجه یکپارچه عمل نمودن آرماتور در محل اتصال به هنگام اعمال نیرو های ناشی از زمین لرزه.

۶- در اتصال اورلپ عامل ایجاد پایداری اتصال، وجود بتن است و در صورت صدمه دیدن بتن اتصال اورلپ از هم خواهد پاشید ولی در اتصال مکانیکی پایداری اتصال وابستگی به بتن ندارد که این ویژگی باعث پایداری بیشتر سازه به هنگام صدمه بتن در سوانح طبیعی خواهد شد ولی باید تنش های بتن اطراف وصله را مورد بررسی قرار داد.

تحقیق بیشتر برای شناسایی معیارهای خاص تر برای استفاده از این نوع وصله ها مورد نیاز است. با تحقیق و طراحی مقررات بیشتر، وصله های مکانیکی میلگرد برای کاربردهای خاص یک انتخاب جذاب خواهند بود.

- [13] Cagley And Associates, Mechanical Butt Splices Vs. Lap Splicing: 1998
- [14] Erico International Corporation "Mechanical Rebar Splicing Systems" 2013
- [15] International Conference Of Building Official, Uniform Building Code(UBC) ,April 1997
- [16] Building Code Requirements For Structural Concrete (ACI 318M-14) ,2014
- [17] Steven L Mccabe. " The Performance Of Mechanical Splices ", 2000
- [18] Keith Lynn Coogler, "Investigation Of The Behavior Of Offset Mechanical Splices", Civil And Environmental Engineering, University Of South Carolina, 2006
- [19] Eliya Henin, George Morcouc," Non-Proprietary Bar Splice Sleeve For Precast Concrete Construction", Engineering Structures, 2014
- [20] Jen Hua Ling, Ahmad Baharuddin Abd. Rahman, Izni Syahrizal Ibrahim, Zuhairi Abdul Hamid, "Tensile Capacity Of Grouted Splice Sleeves", Engineering Structures 111, 2016.

The influence of mechanical splices on the nonlinear behavior of reinforced concrete beams with finite element method

Ali kheyroddin *

Professor, Civil Engineering Faculty, Semnan University, Semnan, Iran

Hamed Dianati

M.Sc Student of structural-Civil Engineering, Islamic Azad University, Semnan Branch

Abstract

In Iran reinforced concrete are extensively used in construction. using rebar joint in this buildings is an unavoidable issue. mechanical splices is the common joint which used in constructions an the most important disadvantages of this joint is using big amount of rebar. Steel is a valuable material hence the optimum usage of it could be profitable for the next man kind generation an environment. One of the best approaches to use the optimum amount of rebar is to use mechanical splice in spite of overlap method. It has been recommended that to use mechanical splice in ACI-318 and the ninth issue of national building regulations. According to the problems of the operation issue in heavy concrete buildings due to thick rebar. Mechanical splices are the safe joints which could compensate other problems regarding to rebar density. In every concrete building 15% of used rebar will remains as overlap joint in concrete, therefore using mechanical splice could reduce the amount of rebar and it wastes. In this thesis ABAQUS software had been employed to analyze the reinforced concrete bar. The non-overlapped bars, mechanical splice equipped bars, and overlapped bars had been investigated in this study. To validate this research the problem had been analyzed experimentally by quick wedge method and straight sample .

In conclusion mechanical splice operation under stress is in good agreement with non-overlapped bars and will increase the load endurance as much as 15% in comparison with overlapped rebars.

Keywords: Reinforced concrete buildings, Mechanical splices, Overlap, Finite Element Analysis, Software Abaqus.

* Corresponding Author: Kheyroddin@semnan.ac.ir