

The effect of incorporating high-strength rebars and debonding on the performance of reinforced concrete shear walls

Erfan Abbasvand Jahedi¹, Erfan Shafei^{2*}, Hadi Azizian³, Seyed Jamil Ghaderi³

1- PhD Candidate, Department of Civil Engineering, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran

2- Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Mahabad Branch Islamic Azad University Mahabad, Iran

ABSTRACT

Nowadays, the use of high-strength rebars has gained wide application in concrete shear walls due to their ability to withstand high stresses at low strains and reduce construction costs. Despite their excellent performance in resisting lateral loads and earthquakes, concrete shear walls may experience premature failure at the longitudinal rebar connection due to rebar slippage. Rebar slippage can significantly reduce the seismic performance of the concrete shear wall. One solution to enhance the seismic performance is the use of debonding technique for longitudinal rebars in the wall. debonding, by delaying rebar slippage, it can increase energy absorption and improve the ductility of the structure. In this study, to investigate the effectiveness of the debonding technique on high-strength rebars, eight groups were selected, each consisting of three models of concrete shear walls with an aspect ratio of 3.1, varying in terms of rebar diameter, percentage of shear reinforcement, and steel bar debonding. The models were analyzed using the finite element method with VecTor2 software under cyclic loading. Overall, the incorporation of the debonding technique for longitudinal rebars in concrete shear walls provides a promising approach to enhance their seismic performance. By improving energy absorption and ductility, this technique contributes to the overall structural integrity and safety of the concrete shear wall system.

ARTICLE INFO

Receive Date: 26 February 2024

Revise Date: 14 August 2024

Accept Date: 05 September 2024

Keywords:

High Strength Steel
Concrete Shear Wall
Rebar Strain
Debonding
Confinement of Concrete

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: [10.22065/jsce.2024.445224.3364](https://doi.org/10.22065/jsce.2024.445224.3364)

*Corresponding author: Erfan Shafei.

Email address: e.shafei@aut.ac.ir

اثر تعبیه میلگردهای پرمقاومت غلاف گذاری شده در عملکرد دیواربرشی بتن آرمه

عرفان عباسوند جاهدی^۱، عرفان شافعی^{۲*}، هادی عزیزبان^۳، سید جمیل قادری^۴

۱- دانشجوی دکتری عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد مهاباد، مهاباد، ایران

۲- دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

۳- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد مهاباد، مهاباد، ایران

۴- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد مهاباد، مهاباد، ایران

چکیده

امروزه استفاده از میلگردهای پرمقاومت بدلیل تحمل تنش‌های بالا در کرنش‌های پایین و کاهش هزینه‌های اجرایی در دیوارهای برشی بتنی کاربرد وسیعی پیدا کرده اند. دیوارهای برشی بتنی علیرغم عملکرد بسیار مطلوب در تحمل بارهای جانبی و زلزله، ممکن است در محل وصله میلگرد طولی بدلیل لغزش میلگرد دچار خرابی زودرس گردند. در صورت لغزش میلگرد طولی عملکرد لرزه ای دیوار برشی بتنی کاهش چشمگیری خواهد داشت. یکی از راهکارهای افزایش عملکرد لرزه‌ای استفاده از روش غلاف گذاری در میلگردهای طولی دیوار می‌باشد. غلاف گذاری با به تاخیر انداختن لغزش میلگرد می‌تواند باعث افزایش جذب انرژی گردیده و شکل پذیری سازه را افزایش دهد. در این تحقیق جهت بررسی کارایی روش غلاف گذاری در میلگردهای پرمقاومت تعداد ۸ گروه که هر گروه دارای سه مدل دیوار برشی بتنی با نسبت ابعادی ۳/۱، که به لحاظ قطر میلگرد، درصد میلگرد برشی و غلاف گذاری بایکدیگر متفاوت می‌باشند، انتخاب گردید و تحت بار چرخه ای معکوس به روش اجزا محدود با نرم افزار *VecTor2* تحلیل شد. نتایج نشان داد در مدل‌هایی که محصورشدگی بتن کفایت لازم را داشت، روش غلاف گذاری با به تاخیر انداختن لغزش میلگرد باعث افزایش جابجایی نسبی و شکل پذیری دیوار برشی به ترتیب به مقدار ۷۵٪ و ۸۰٪ شد.

کلمات کلیدی: میلگرد پرمقاومت، دیوار برشی بتنی، کرنش میلگرد، غلاف گذاری، محصورشدگی بتن

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
doi:	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
10.22065/jsce.2024.445224.3364	۱۴۰۴/۰۱/۳۱	۱۴۰۳/۰۶/۱۵	۱۴۰۳/۰۶/۱۵	۱۴۰۳/۰۵/۲۴	۱۴۰۲/۱۲/۰۷
عرفان شافعی			*نویسنده مسئول:		
e.shafei@uut.ac.ir			پست الکترونیکی:		

۱- مقدمه

دیوارهای برشی بتنی از عناصر مقاوم در برابر بارهای جانبی و زلزله بوده که امروزه کاربرد وسیعی در صنعت ساختمان دارند. مطالعات بسیاری جهت افزایش شکل پذیری و بهبود عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی بتنی صورت گرفته است. امروزه استفاده از میلگردهای فولادی پرمقاومت نیز در صنعت ساختمان کاربرد گسترده‌ای دارند. این میلگرد ها قادر به تحمل تنش‌های زیاد در کرنش‌های کم هستند. یکی از روش‌های بهبود عملکرد لرزه‌ای در دیوارهای برشی بتنی استفاده از میلگردهای پرمقاومت می‌باشد. تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از میلگردهای فولادی پرمقاومت در دیوارهای برشی بتنی می‌تواند عملکرد لرزه‌ای آن‌ها را بهبود بخشد [1-3].

تحقیقات آزمایشگاهی در مورد یک دیوار برشی بتنی دوطبقه تحت بارگذاری چرخه‌ای با استفاده از میلگردهای فولادی پرمقاومت نشان داد که این دیوارها عملکرد لرزه‌ای خود را بدون آسیب قابل توجهی در تغییرمکان نسبی‌های بین ۱/۵٪ تا ۲/۰٪ حفظ می‌کنند [4]. مطالعات اخیر نشان داده است که علیرغم اینکه استفاده از میلگرد های فولادی پرمقاومت کارایی سازه را در برابر زلزله افزایش میدهد، می‌تواند آسیب جدی به بتن سازه وارد نماید [5]. نتایج تحقیقات آزمایشگاهی درباره عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی با بتن بازیافتی با استفاده از میلگردهای فولادی پرمقاومت نشان داد که افزایش نسبت جایگزینی مصالح با مصالح بازیافتی تأثیر قابل توجهی بر عملکرد لرزه‌ای دیوارها نداشته، ولی در مقابل استفاده از میلگردهای فولادی با مقاومت بسیار بالا به طور قابل توجهی باعث افزایش انعطاف پذیری، مقاومت و سختی ثانویه دیوار شده و در عین حال آسیب به بتن را کاهش می‌دهد [6]. بک^۱ و همکاران عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی بتنی مسلح با میلگردهای پرمقاومت (۵۰۰ مگاپاسکال) با نسبت‌های ابعادی مختلف ۱/۰، ۰/۵ و ۲/۰ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد این دیوارها علیرغم عدم تسلیم برشی و خمشی شکل خرابی یکسانی نسبت به دیوارهای برشی بتنی با میلگرد معمولی (۴۲۰ مگاپاسکال) داشتند [7-9]. اگرچه استفاده از میلگردهای فولادی پرمقاومت تأثیر مثبتی بر عملکرد لرزه‌ای دیوارها دارد، اما می‌تواند آسیب جدی به بتن وارد کند. بنابراین، برای مطالعه بیشتر درباره انعطاف‌پذیری آن‌ها نیاز به انجام تحقیقات بیشتر است [10].

وصله پوششی تقریباً بخشی از هر سازه ای است که از بتن مسلح ساخته شده است. وصله پوششی به عنوان یک عضو کششی تقویت شده دوگانه در طول قابل توجهی عمل می‌کند، لذا استفاده از روش غلاف گذاری در وصله پوششی میتواند باعث افزایش عملکرد لرزه‌ای سازه بگردد [11]. مطالعات بسیاری در خصوص استفاده از روش غلاف گذاری جهت بهبود عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی بتنی صورت گرفته است. استفاده از غلاف گذاری در میلگرد طولی رفتار تنش-لغزش بین میلگرد و بتن را تغییر می‌دهد. رفتار تنش-لغزش بین میلگرد پرمقاومت و بتن تأثیر بسزایی در رفتار سازه دارد. نتایج تحقیقات آزمایشگاهی به عمل آمده در سال ۲۰۱۹ نشان داد عمدتاً اکثر خرابی‌ها از محل پیوند میلگرد و بتن شروع شده و سپس از داخل به خارج نمونه‌ها به سمت جهات مختلف گسترش می‌یابند [12]. با استفاده از غلاف گذاری در پیرامون میلگرد می‌توان پیوند بین میلگرد با بتن را حذف کرد. تحقیقات پارامتری نشان می‌دهد که افزایش قطر میلگرد و طول غلاف گذاری، هردو راهکار موثری برای کاهش و تأخیر شکست میلگردها هستند. تکنیک غلاف گذاری یکی از روش‌هایی است که به طور گسترده در سازه‌های بتن مسلح استفاده می‌شود. این روش با ایجاد ترک‌های ثانویه در بتن، انعطاف‌پذیری سازه را افزایش می‌دهد و امکان جذب انرژی بیشتری را فراهم می‌کند [13-15]. نتایج یک مطالعه آزمایشگاهی بر روی ستون‌های بتنی با میلگردهای غلاف گذاری شده و بدون غلاف نشان داد که ستون با میلگردهای غلاف گذاری شده کمترین آسیب لرزه‌ای، تغییر شکل بزرگتر، تغییر شکل باقی مانده کوچکتر و همچنین کاهش انرژی تلف شده در مرحله تغییر شکل بزرگتر را نسبت به ستون با میلگردهای بدون غلاف دارد. با این حال، ظرفیت نیروی جانبی ستون با میلگردهای غلاف گذاری شده کمی کمتر از ستون با میلگردهای بدون غلاف است [16]. ویژگی‌های مواد (میلگرد و بتن) می‌تواند نقش مهمی در رفتار تنش-لغزش اتصال بین میلگرد پرمقاومت و بتن ایفا کند. نتایج تجربی مربوط به عملکرد لرزه‌ای ستون‌های دایره‌ای ساخته شده از بتن مسلح شده با میلگردهای فولادی پرمقاومت با مقاومت پیوند ضعیف، نشان داد که این ستون‌ها در مقابل بارهای جانبی مقاومت بسیار مناسبی را تا رسیدن به سطح شکست ارائه می‌دهند. علاوه بر این، نتایج نشان داد که مقاومت پیوند ضعیف منجر به تأخیر در پذیرش تنش میلگردهای فولادی می‌شود که منجر به انعطاف‌پذیری و ظرفیت جذب انرژی بهتری

¹ Baek

نسبت به یک ستون با میلگردهای با پیوند کامل می‌شود [17]. در سال ۲۰۲۱ وانگ^۲ و همکاران مطالعاتی را در خصوص رفتار لغزشی میلگرد و مقاومت پیوند میلگرد و بتن انجام دادند. آنها یک میلگرد غلاف‌گذاری شده را جهت بیرون کشیدن از داخل بتن مورد مطالعه قرار دادند. آنها دریافتند زمانی که طول غلاف‌گذاری ۸ برابر قطر میلگرد است تنش‌های پیوند در انتهای آزاد میلگرد به صورت قابل ملاحظه‌ای، نسبت به طول غلاف‌گذاری حالت‌های مختلف کمتر از این مقدار، کاهش می‌یابد [18]. موسی^۳ و همکاران در سال ۲۰۱۵ میلادی تحقیقات آزمایشگاهی را در مورد تیرهای بتن آرمه با غلاف‌گذاری میلگردهای کششی انجام دادند. به طور کلی، افزایش طول غلاف‌گذاری در امتداد آرماتورهای فولادی کششی تعداد ترک‌ها را کاهش می‌دهد و در عین حال باعث افزایش عرض ترک‌ها می‌شود [19]. در سال ۲۰۰۴ کاواشیمای^۴ و همکاران با بررسی علل خرابی گسترده اکثر پل‌ها تحت زلزله‌های بزرگ مانند زلزله سال ۱۹۹۴ نورث‌ریج^۵ و سال ۱۹۹۵ زلزله کوبه^۶ به این نتیجه رسیدند که ضعف شکل‌پذیری پایه پل‌ها علت خرابی می‌باشد. لذا در این راستا استفاده از روش عدم پیوستگی میلگرد با بتن را (unbonding) در محدوده مفصل پلاستیک پیشنهاد دادند [20]. نتایج تحقیقات نشان داده است که استفاده از روش جداسازی باعث توزیع کرنش در طول وسیع‌تری از میلگرد شده و باعث بوجود آمدن ترک‌های ثانویه گشته که افزایش شکل‌پذیری و جذب انرژی را به دنبال خواهد داشت [21].

محصورشدگی بتن از پارامترهایی است که رفتار تنش-لغزش میلگرد و بتن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در سال ۲۰۲۱، تأثیر محصورشدگی بتن بر رفتار تنش-لغزش اتصالات میلگردهای فولادی در شرایط کششی مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش، ۳۲ نمونه مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهای شامل نوع و سطح محصورشدگی بتن و نسبت پوشش بتن به قطر میلگرد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش محصورشدگی بتن منجر به افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقاومت پیوند، تغییر در حالت شکست از ترک خوردگی به خروج میلگرد یا ترک خوردگی و خروج ترکیبی، و بهبود انعطاف‌پذیری نسبت به بتن با محصورشدگی کم می‌شود. این بهبودها بسیار وابسته به نوع و سطح محصورشدگی استفاده شده، و همچنین نسبت پوشش بتن به قطر میلگرد هستند [22,23]. از دیگر پارامترهای تاثیرگذار در رفتار لغزشی یا تنش پیوستگی قطر میلگرد می‌باشد [24]. مورای^۷ و همکاران، مدل رفتاری لغزش میلگرد در ستون‌های بتن آرمه غیرشکل‌پذیر را مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی به این نتیجه رسیدند که با افزایش قطر میلگرد عمق نفوذ کرنش نیز افزایش می‌یابد. همچنین حداکثر تنش پیوستگی بین میلگرد و بتن با افزایش قطر میلگرد کم می‌شود و با افزایش قطر میلگرد میزان لغزش نیز افزایش می‌یابد [25].

در این تحقیق سعی می‌شود تا پتانسیل استفاده از سیستم غلاف‌گذاری جهت اصلاح اثرات همزمان افزایش مقاومت میلگرد و وصله بررسی شده و پیشنهاد اجرایی در این زمینه ارائه شود. متغیرهای اصلی تحقیق قطر میلگرد، پر مقاومت طولی، درصد میلگرد عرضی، طول وصله و جداسازی میلگرد از بتن می‌باشند. برای ارزیابی عملکرد دیوارها منحنی‌های هیستریزس، ظرفیت باربری، استهلاک انرژی، مدهای شکست، لغزش میلگرد و شکل‌پذیری مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت.

۲- صحت سنجی

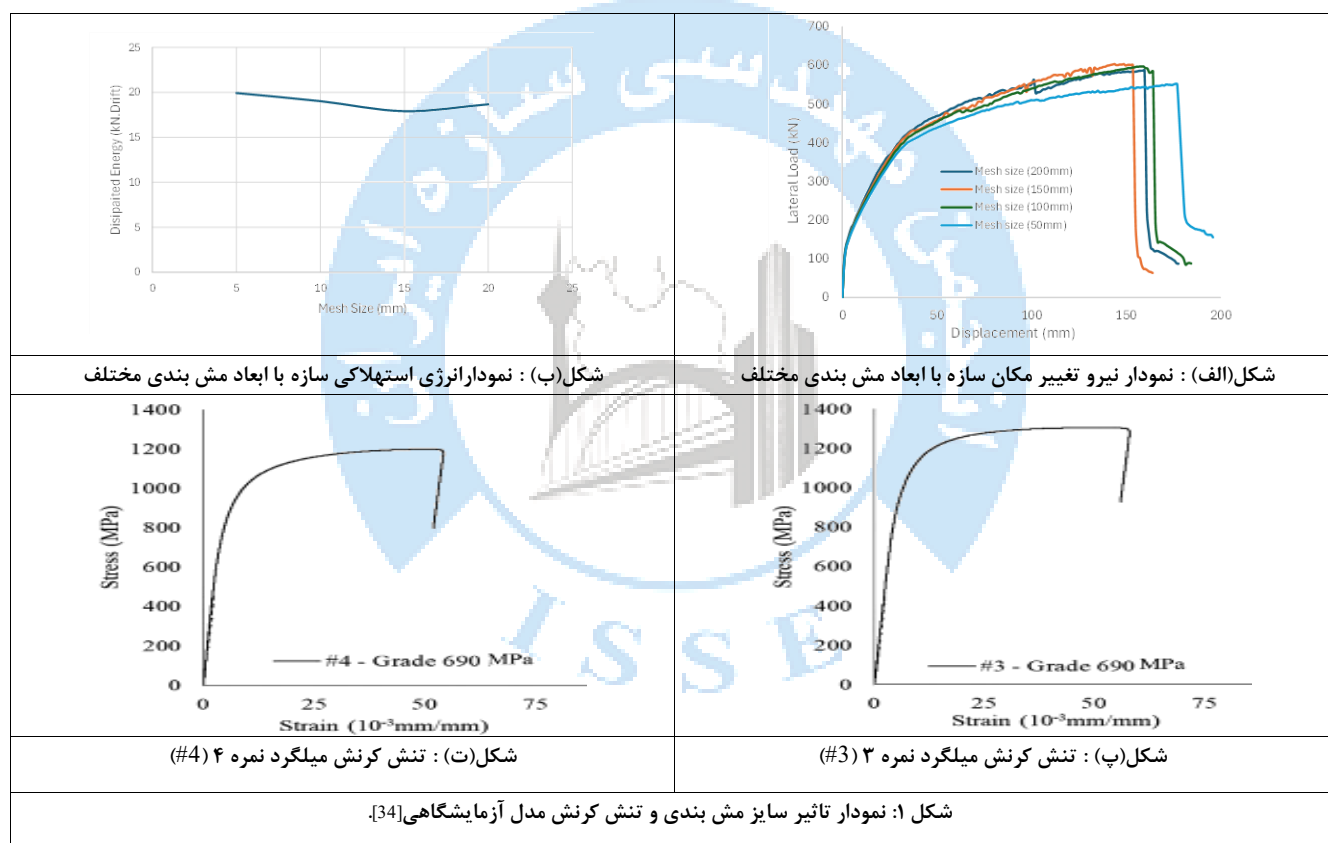
VecTor2 یک برنامه مدل‌سازی پیشرفته اجزا محدود غیرخطی برای مقاطع بتنی صفحه‌ای می‌باشد که بر اساس مدل تنش مسطح استوار است [26,27]. این نرم افزار در مجموعه‌ای از تحقیقات گذشته برای مدل‌سازی دیوارهای بتنی مسلح استفاده شده است [28-33].

جهت انتخاب ابعاد مش بندی ابتدا تحلیل حساسیت انجام گرفته است. در این تحلیل یک سازه با ابعاد مش بندی متفاوت 200mm, 150mm, 100mm, 50mm انتخاب و تحلیل گردید. معیار انتخاب سایز مش منوط به رسیدن خطای انرژی استهلاکی به زیر ۵٪

2 Wang
3 Mousa
4 Kawashima
5 Northridge
6 Kobe
7 Murray

می باشد. نتایج تحلیل حساسیت در شکل (۱) نشان داده شده است. انرژی استهلاکی سازه با مش ۱۰۰ میلی متر 19.03 kN.drift می باشد که نسبت به سازه با مش ۵۰ میلی متر با انرژی استهلاکی 19.93 kN.drift دارای خطای ۴.۵٪ می باشد. لذا ابعاد مش بندی در این تحقیق ۱۰۰ میلی متر انتخاب گردیده است.

برای اعتبار سنجی نرم افزار مورد استفاده در این تحقیق یک نمونه دیوار که به صورت آزمایشگاهی در سال ۲۰۲۱ در اتاوا^۱-کانادا^۲ [34] تحت بار چرخه ای مورد مطالعه قرار گرفته بود به صورت عددی در نرم افزار VecTor2 مدل سازی گردیده و نتایج با یکدیگر مقایسه شدند. دیوار مذکور به عنوان یک دیوار آزمایشگاهی جهت صحت سنجی نتایج نرم افزار VecTor2 بوده و با دیوارهای مورد مطالعه این تحقیق مقایسه نخواهد شد. نتایج نشان داد VecTor2 قادر است با دقت بالا، پاسخ نیرو-جابجایی دیوار را پیش بینی کند و همچنین توزیع ترک و کرنش در ارتفاع دیوار را نشان دهد. منحنی تنش-کرنش میلگرد در شکل (۱) نشان داد شده و رده بتن مورد استفاده در تحقیق آزمایشگاهی C84 بوده و نسبت ارتفاع به عرض دیوار ۳/۱ می باشد. سایر مشخصات دیوار در شکل شماره (۲) نشان داده شده که عینا در مدل سازی عددی لحاظ گردیده است. پروتکل بارگذاری مطابق با آیین نامه ACI اعمال گردید [35]. طبق جدول شماره (۱) نتایج مقایسه نشان داد مدلسازی عددی مطابقت قابل قبولی با مدل آزمایشگاهی دارد.



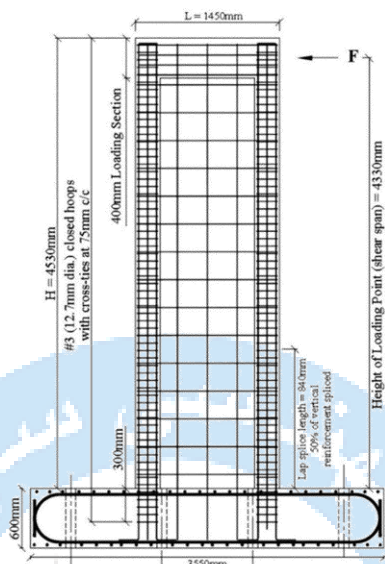
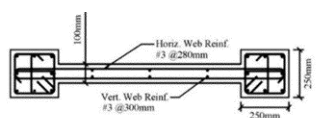
شکل ۱: نمودار تاثیر سبزی مش بندی و تنش کرنش مدل آزمایشگاهی [34].

جدول ۱: مقایسه نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی [34].

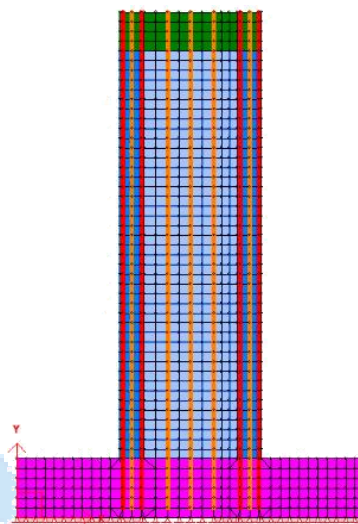
نام مدل	حداکثر نیرو (kN)	نیروی تسلیم (kN)	تغییر مکان نهایی (mm)	تغییر مکان تسلیم (mm)	شروع ترک خوردگی (kN)	نیروی خرابی (kN)	تغییر مکان نسبی
مدل آزمایشگاهی	۵۹۹	۵۰۹	۸۴/۶	۳۵	۱۸۹	۵۸۷	۱/۹۵
مدل عددی	۶۰۷	۵۱۵	۸۸/۴	۳۳	۱۹۴	۵۹۳	۲/۱۵
درصد خطا	٪۲	٪۱	٪۱	٪۱	٪۳	٪۱	٪۹



شکل (ج): دیوار مدل آزمایشگاهی [34]

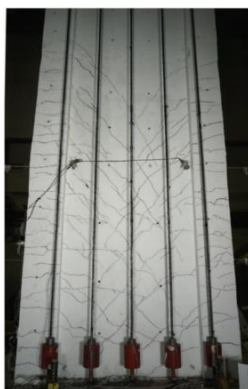


شکل (ب): مشخصات هندسی مدل آزمایشگاهی [34]

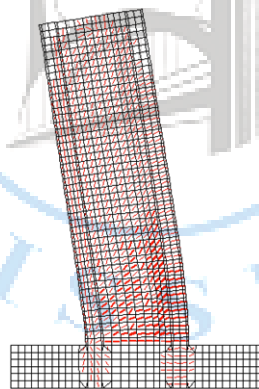


شکل (الف): مدل شبیه سازی شده

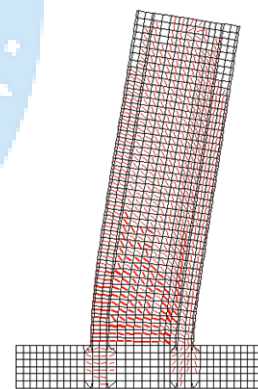
شکل ۲: شماتیک دیوار مدل آزمایشگاهی و عددی



شکل (ج): دیوار مدل آزمایشگاهی [34]



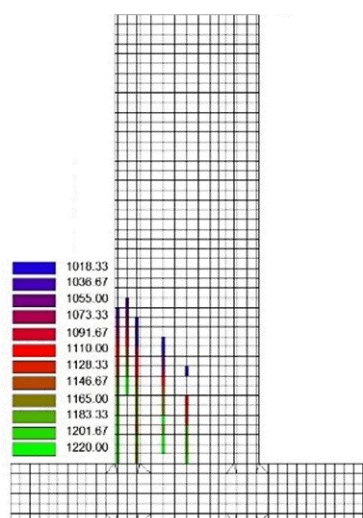
شکل (ب): دیوار مدل عددی در چرخه برگشت



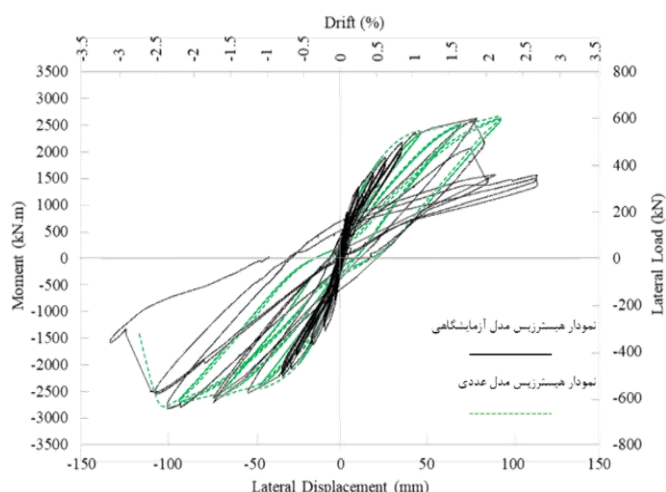
شکل (الف): دیوار مدل عددی در چرخه رفت

شکل ۳: توزیع ترک در مدل آزمایشگاهی و عددی

توزیع ترک مدل آزمایشگاهی و مدل عددی در شکل (۳) نشان داده شده است. معیار خرابی دیوار آزمایشگاهی گسیختگی میلگرد المان مرزی در وجه کششی دیوار می باشد. در مقایسه معیار خرابی مدل آزمایشگاهی با مدل عددی، شکل (۴ب) نشان می دهد که در تغییر مکان نسبی مشابه با مدل آزمایشگاهی ($Drift=2\%$) میلگردهای مدل عددی به حد جاری شدن رسیدند. با مقایسه توزیع ترک شکل (۳) و منحنی های هیستریزس شکل (۴الف)، ملاحظه می گردد که توزیع ترک، سختی، ظرفیت باربری، شکل پذیری و استهلاک انرژی مدل عددی با نمونه آزمایشگاهی مطابقت داشته و شبیه سازی عددی به درستی انجام پذیرفته و نتایج حاصله از صحت قابل قبولی برخوردار می باشند.



شکل(ب): تنش کششی میلگردهای المان مرزی



شکل(الف): نمودار هیستریزس عددی و آزمایشگاهی

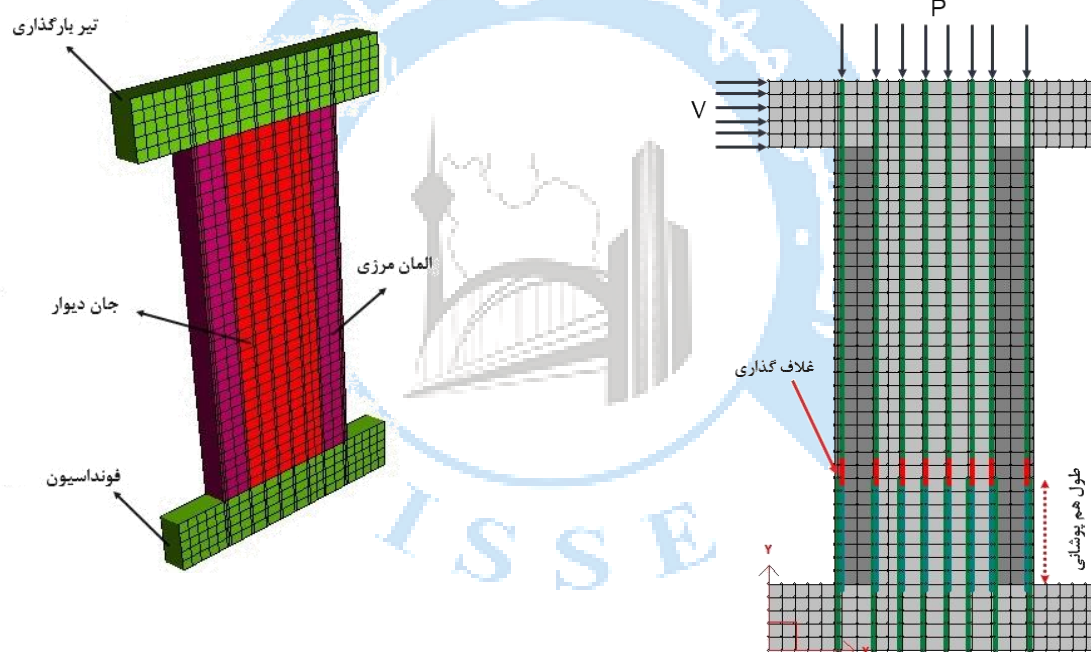
شکل ۴: نتایج مدل آزمایشگاهی و عددی [34]

۳- مدل های انتخابی

مدل های مورد مطالعه تحقیق حاضر برای بار فشاری ۲۵۰ کیلونیوتن و بار جانبی ۶۵۰ کیلونیوتن مطابق با آیین نامه ACI318-19 طراحی گردیده اند [36]. معیار انتخاب میلگرد برشی شبیه سازی عملکرد غلاف در بتن با شرایط محصورشدگی کافی و ناکافی می باشد. برای این منظور ($\rho_v=0/4\%$) که نزدیک به مقادیر آیین نامه ای می باشد. برای بررسی عملکرد غلاف در شرایط محصورشدگی ناکافی و زیاد ($\rho_v=0/8\%$) با نام گذاری W1 و میلگرد برشی کم ($\rho_v=0/4\%$) با نام گذاری W2 دسته بندی شده اند. هر دو دیوار W1 و W2 در سه حالت مورد مطالعه قرار گرفتند که در حالت با نام گذاری حرف C آرماتور طولی به صورت سراسری و در حالت L به صورت وصله پوششی و در حالت D وصله پوششی و غلاف استفاده شده است. از آنجایی که تمرکز اصلی این تحقیق لغزش وصله میلگرد طولی می باشد، لذا نسبت ابعادی دیوار که نسبت ارتفاع به عرض دیوار می باشد بزرگتر از ۲ انتخاب گردیده تا دیوار رفتار خمش داشته باشد. نسبت ابعادی ۲/۲ و با ارتفاع و عرض به ترتیب ۳۳۰۰ و ۱۵۰۰ میلیمتر با ضخامت ۲۰۰ میلیمتر می باشد. ابعاد المان مرزی در تمامی مدل ها ۳۲۰×۲۰۰ میلیمتر و در تمامی مدل ها از میلگرد قطر ۱۰ در فواصل ۱۰۰ میلیمتری در دو وجه دیوار با درصد میلگرد برشی ($\rho_v=0/8\%$) و در فواصل ۲۰۰ میلیمتری در دو وجه دیوار با درصد میلگرد برشی ($\rho_v=0/4\%$) به عنوان میلگرد عرضی استفاده شده است. میلگرد عرضی در المان مرزی دیوار خاموت قطر ۱۰ میلیمتر در فواصل ۱۰۰ و ۲۰۰ میلیمتری با درصد میلگرد عرضی به ترتیب ($\rho_v=0/8\%$) و ($\rho_v=0/4\%$) می باشد. در جدول (۲) و شکل (۵-۶) سایر مشخصات دیوارها نشان داده شده است. پوشش بتن ۲۵ میلیمتر، رده بتن مورد استفاده C25 و غلاف گذاری به طول ۸ برابر قطر میلگرد در محل انتهای وصله پوششی در نظر گرفته شد.

جدول ۲: مشخصات دیوارها

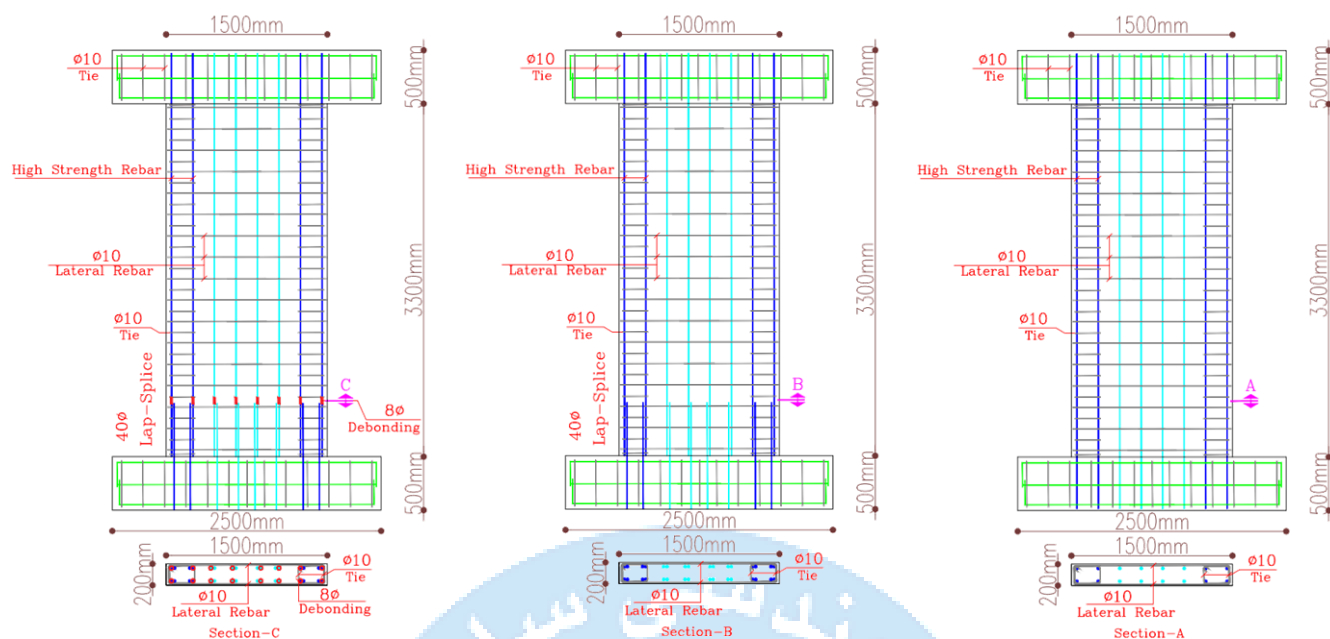
نام مدل	قطر میلگرد طولی (mm)	درصد آرماتور برشی (%)	طول وصله (mm)	طول جداسازی (mm)	نام مدل	قطر میلگرد طولی (mm)	درصد آرماتور برشی (%)	طول وصله (mm)	طول جداسازی (mm)
W1-C14	۱۴	٪۰/۴	-	-	W2-C14	۱۴	٪۰/۸	-	-
W1-L14	۱۴	٪۰/۴	۵۶۰	-	W2-L14	۱۴	٪۰/۸	۵۶۰	-
W1-D14	۱۴	٪۰/۴	۵۶۰	۱۱۲	W2-D14	۱۴	٪۰/۸	۵۶۰	۱۱۲
W1-C16	۱۶	٪۰/۴	-	-	W2-C16	۱۶	٪۰/۸	-	-
W1-L16	۱۶	٪۰/۴	۶۴۰	-	W2-L16	۱۶	٪۰/۸	۶۴۰	-
W1-D16	۱۶	٪۰/۴	۶۴۰	۱۲۸	W2-D16	۱۶	٪۰/۸	۶۴۰	۱۲۸
W1-C18	۱۸	٪۰/۴	-	-	W2-C18	۱۸	٪۰/۸	-	-
W1-L18	۱۸	٪۰/۴	۷۲۰	-	W2-L18	۱۸	٪۰/۸	۷۲۰	-
W1-D18	۱۸	٪۰/۴	۷۲۰	۱۴۴	W2-D18	۱۸	٪۰/۸	۷۲۰	۱۴۴
W1-C20	۲۰	٪۰/۴	-	-	W2-C20	۲۰	٪۰/۸	-	-
W1-L20	۲۰	٪۰/۴	۸۰۰	-	W2-L20	۲۰	٪۰/۸	۸۰۰	-
W1-D20	۲۰	٪۰/۴	۸۰۰	۱۶۰	W2-D20	۲۰	٪۰/۸	۸۰۰	۱۶۰



شکل (الف): بارگذاری و محل قرارگیری گلایف

شکل (ب): شماتیک دیوار مدل سازی شده در نرم افزار VecTor2

شکل ۵: شماتیک دیوارهای شبیه سازی شده



شکل (الف): دیوار برشی با میگرد سراسری

شکل (ب): دیوار با میگرد دارای وصله پوشش

شکل (ج): دیوار با میگرد دارای وصله و غلاف

شکل ۶: مشخصات هندسی دیوارهای شبیه سازی شده

۴- مواد و روش ها

۴-۱- میلگردهای پرمقاومت

امروزه میلگردهای پرمقاومت به دلیل مزایای بسیار آنها در صنعت ساختمان کاربرد فراوانی دارند. این میلگردها بدلیل مقاومت بالا، کاهش مصرف میلگرد، مقاومت در برابر خوردگی، افزایش سرعت آرماتوربندی و صرفه جویی در هزینه ساخت توانسته‌اند خود را به شکل وسیعی در صنعت ساختمان جای دهند. میلگردهای پرمقاومت به علت سختی زیادی که دارند می‌توانند تنش‌های بالاتر را در کرنش‌های پایین‌تر تحمل کرده و سبب رفتار لرزه‌ای مطلوب‌تری گردند. اگرچه میلگردهای پرمقاومت شکل پذیری کمتری نسبت به میلگردهای معمولی دارند، ولی با تامین شرایط محصورشدگی کافی می‌توان رفتار لرزه‌ای مطلوبی داشته باشند. در ویرایش پنجم مبحث نهم مقررات ملی ساختمان این میلگردها با نام اختصاری S500 نامگذاری گردیده است. مشخصات میلگرد پرمقاومت مورد استفاده در این تحقیق با تنش تسلیم 500 MPa و تنش نهایی 675MPa در جدول (۳) نشان داده شده است [36].

جدول ۳: مشخصات مکانیکی میلگرد ها [31]

قطر میلگرد (mm)	تنش تسلیم (MPa)	مقاومت نهایی (MPa)	مدول الاستیسیته (MPa)	کرنش سخت شوندگی (%)	کرنش نهایی (%)
۱۴-۱۶-۱۸-۲۰	۵۰۰	۶۷۵	۲۰۰۰۰	۰/۲۵۱	۹/۰
۱۰	۴۰۰	۶۰۰	۲۰۰۰۰	۱/۰	۱۵/۰

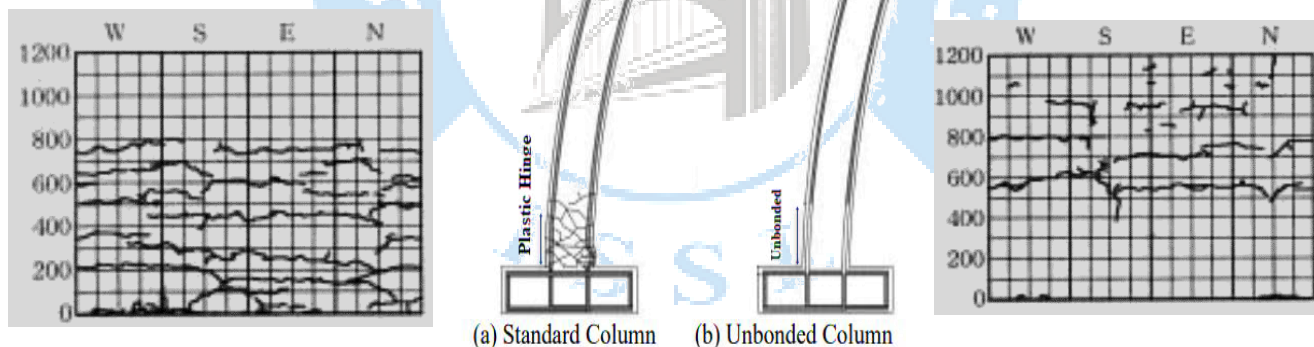
۲-۴- تنش پیوستگی میلگرد و بتن

المان پیوند عضوی است که به وسیله آن تنش بین میلگرد و بتن منتقل شده و به دو ماده اجازه می‌دهد تا به صورت ترکیبی رفتار کنند. با تغییر شکل بتن اطراف میلگرد، میلگرد در برابر تنش‌های برشی پیوند مقاومت می‌کند. مقاومت پیوند از چسبندگی شیمیایی، اصطکاک و قفل مکانیکی با بتن ناشی می‌شود [37]. با افزایش قطر میگرد تنش پیوستگی حداکثر کاهش می‌یابد [38]. زمانی تنش پیوستگی میلگرد و بتن بحرانی می‌شود که به علت تنش زیاد در اطراف ترک‌ها میلگرد تمایل به بیرون کشیده شدن از بتن را دارد. زمانی که تغییر در کرنش میلگرد برابر با تغییر در کرنش کل بتن است پیوند کامل وجود دارد. برای وجود پیوند کامل تنش‌های وارده به پیوند باید به میزان کافی کم باشند. در تنش‌های بالاتر، آسیب به پیوند منجر به عملکرد ناقص پیوند شده و در نتیجه تغییرات کرنش در بتن و میلگرد متفاوت گردیده که باعث جابجایی‌های نسبی یا لغزش اتصال بین میلگرد و بتن می‌شود. در نواحی همپوشانی میلگرد ها اگر مقاومت پیوند تامین نگردد، پیوندی که می‌تواند به طور قابل توجهی بر پاسخ هیستریزس تأثیر بگذارد، ممکن است توزیع داخلی تنش تغییر کرده و سازه در بارگذاری‌های چرخه‌ای تدریجی و زوال مقاومت را تجربه کند [39].

۳-۴- تأثیر جداسازی میلگرد از بتن (debonding) در رفتار اعضا سازه‌ای

در سال ۲۰۰۴ کاواشیما^{۱۰} و همکاران با بررسی علل خرابی گسترده اکثر پل‌ها تحت زلزله‌های بزرگ مانند زلزله سال ۱۹۹۴ نورتریج^{۱۱} و سال ۱۹۹۵ زلزله کوبه^{۱۲} به این نتیجه رسیدند که ضعف شکل‌پذیری پایه پل‌ها علت خرابی می‌باشد. لذا در این راستا استفاده از روش عدم پیوستگی میلگرد با بتن را (unbonding) در محدوده مفصل پلاستیک مطابق شکل شماره (۷) پیشنهاد دادند [20].

نتایج تحقیقات نشان داده است که استفاده از روش جداسازی باعث توزیع کرنش در طول وسیع‌تری از میلگرد شده و باعث بوجود آمدن ترک‌های ثانویه گشته که افزایش شکل‌پذیری و جذب انرژی را به دنبال خواهد داشت [21].



شکل (ب): محل غلاف گذاری و طول مفصل پلاستیک

شکل (الف): توزیع ترک در ستون غلاف گذاری شده

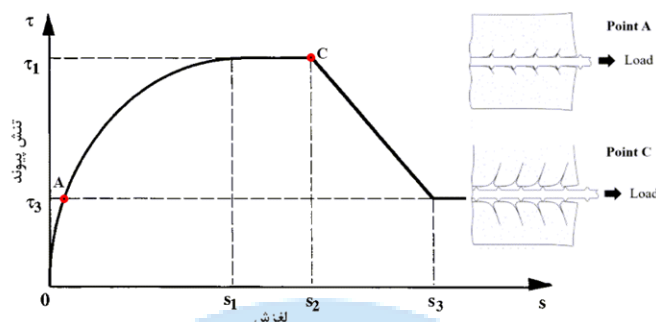
شکل (ج): توزیع ترک در ستون استاندارد

شکل ۷: تأثیر جداسازی در گسترش ترک ستون [20].

10 Kawashima
11 Northridge
12 Kobe

۴-۴- رابطه تنش-لغزش

شکل (۸) نمودار تنش-لغزش پیوند میلگرد و بتن را نشان می‌دهد. مقادیر مربوط برای مدل سازی لغزش در پیوند با استفاده از روابط تنش-لغزش الیگوسن^{۱۳} [40] محاسبه و در مدل سازی استفاده شد، جدول (۴). پوشش میلگرد ۲۵ میلیمتر و مقاومت فشاری بتن 25MPa در نظر گرفته شد.



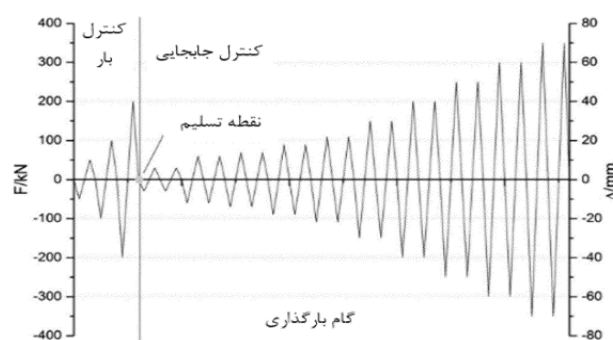
شکل ۸: تنش پیوند و لغزش برای میلگرد درون بتن [40].

جدول ۴: پارامترهای نمودار تنش پیوند و لغزش [40].

τ_3 (MPa)	τ_1 (MPa)	S_3 (mm)	S_2 (mm)	S_1 (mm)	قطر میلگرد (mm)
۱/۵۶	۴/۹۹	۷/۹	۳	۰/۰۵۷	۱۴
۱/۴۶	۴/۶۷	۱۱/۲	۳	۰/۰۵۳	۱۶
۱/۳۷	۴/۴	۱۱/۲	۳	۰/۰۵	۱۸
۱/۳	۴/۱۸	۱۳/۶	۳	۰/۰۴۷	۲۰

۴-۵- بارگذاری

پروتکل بارگذاری مطابق شکل (۹) به همراه بار ثقلی برابر با ۵ درصد مقاومت فشاری (۳۷۵ کیلونیوتن) به تمامی دیوارها اعمال گردید. پروتکل بارگذاری شامل دو قسمت کنترل بار و کنترل جابجایی می‌باشد. کنترل بار ابتدا جهت رسیدن دیوار به نقطه تسلیم اعمال شده سپس کنترل جابجایی به صورت چرخه‌ای معکوس در ۲ سیکل تا رسیدن دیوار به ۸۵٪ ظرفیت باربری نهایی خود تکرار شد [41]. مدل‌های مورد مطالعه با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی و به صورت ضمنی و با فرض تنش صفحه‌ای آنالیز گردیده‌اند.



شکل ۹: پروتکل بارگذاری [41]

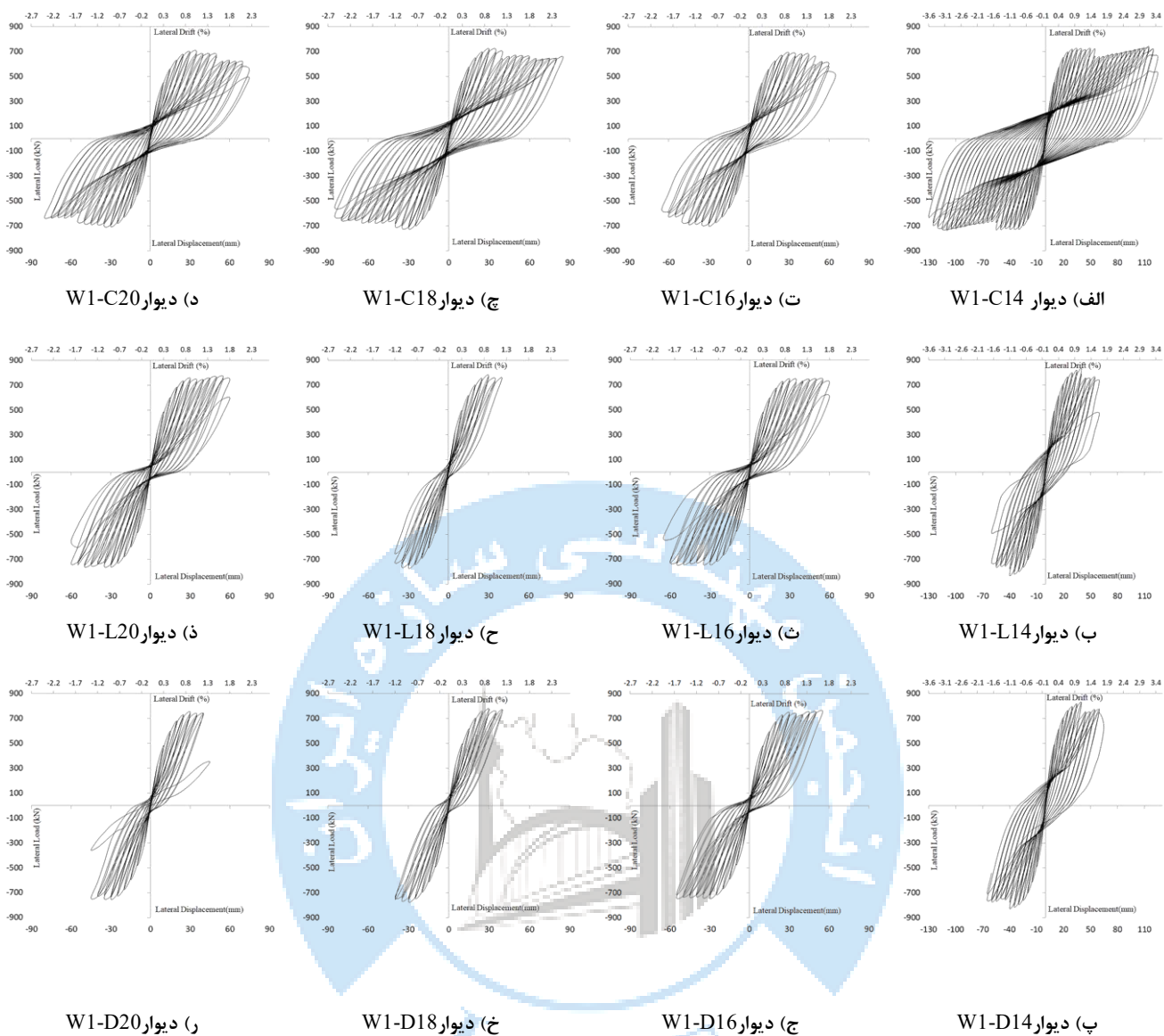
۵- نتایج تحلیل

۵-۱- رفتار هیستریزیس دیوار با میلگرد برشی $\rho_v=0/4\%$

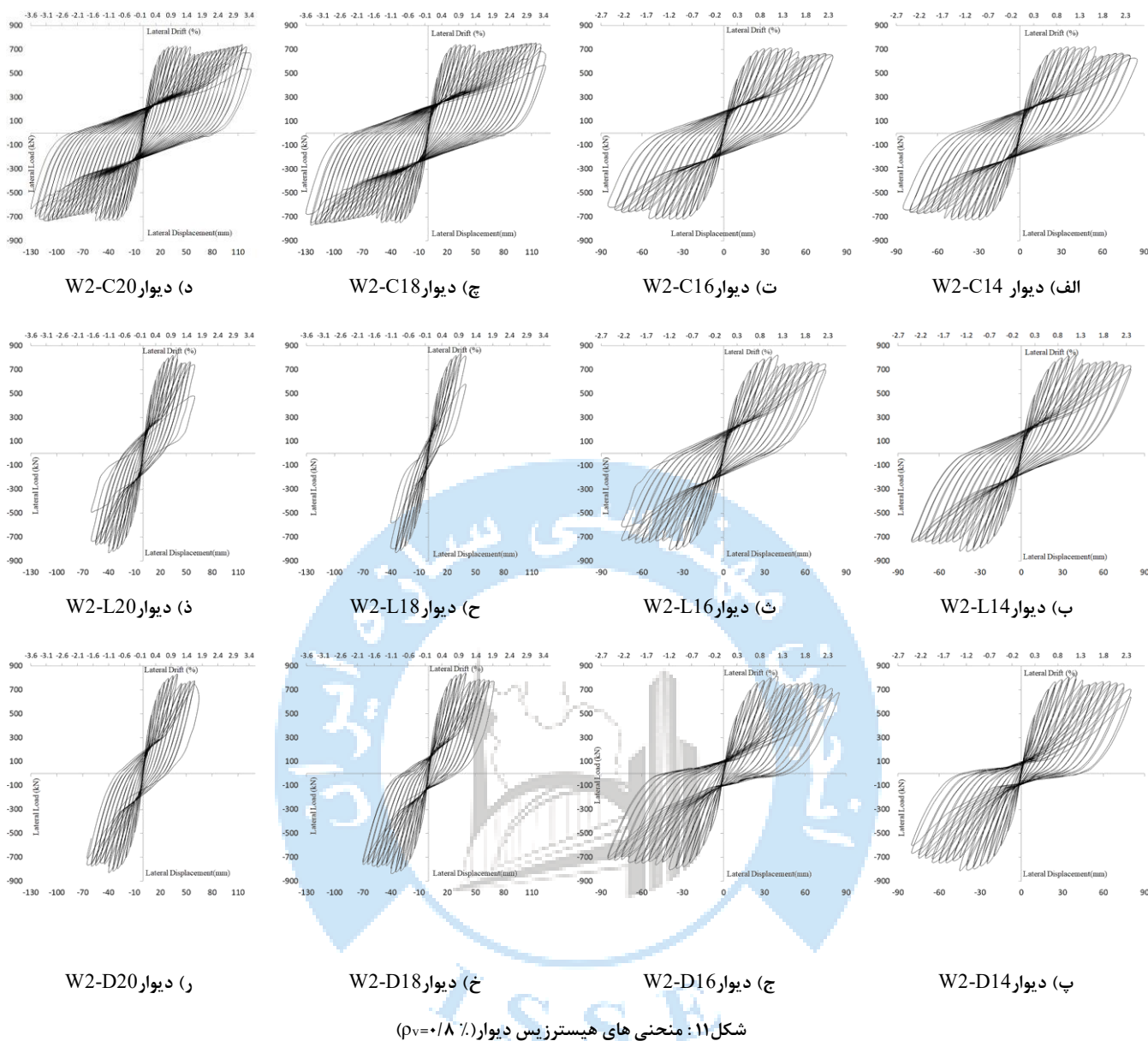
در دیوارهای با میلگرد برشی $\rho_v=0/4\%$ با مقایسه منحنی‌های هیستریزیس در شکل (۱۰) ملاحظه می‌گردد دیوارهای با میلگرد ۱۴ و ۱۶ میلیمتر بدلیل مقاومت پیوند بیشتر این میلگردها، لغزش اتفاق نیافتاده و دیوارهای وصله‌دار توانسته‌اند به تغییر شکل‌های مشابه دیوار بدون وصله برسند. دیوارهای با میلگرد ۱۸ و ۲۰ میلیمتر بدون وصله تغییر مکان‌های نسبی به ترتیب $2/57\%$ و $2/21\%$ را تجربه کرده ولی در دیوارهای وصله‌دار این مقادیر به ترتیب به تغییر مکان‌های نسبی $1/21\%$ و $1/81\%$ کاهش پیدا کرده‌اند. با توجه به شکل (۱۰) در دیوارهای با میلگرد به قطر ۱۸ و ۲۰ میلیمتر ملاحظه می‌گردد که تعداد سیکل‌های منحنی هیستریزیس مدل‌های با میلگرد وصله‌دار نسبت به مدل با میلگرد سراسری به شدت کاهش یافته است. این کاهش ناشی از لغزش میلگرد طولی در محل وصله بوده و دیوار دچار کاهش سختی آبی گردیده و از محل انتهایی وصله دچار گسیختگی گردیده است. در صورت کفایت محصورشدگی بتن، انتقال تنش در محل وصله انجام یافته و با رسیدن به کرنش‌های بالاتر غلاف وارد عمل گردیده و با توزیع یکنواخت کرنش در ناحیه وسیع تری باعث تکرار چرخه‌های هیستریزیس گردیده و افزایش شکل پذیری را به دنبال خواهد داشت. این موضوع در گروه دیوارهای با میلگرد برشی کم $\rho_v=0/4\%$ محقق نگردیده و غلاف‌گذاری نتوانست رفتار دیوارهای وصله‌دار را بهبود بخشد.

۵-۲- رفتار هیستریزیس دیوار با میلگرد برشی $\rho_v=0/8\%$

با مقایسه منحنی‌های هیستریزیس شکل (۱۱) مشاهده می‌گردد که در دیوارهای وصله‌دار با میلگرد قطر ۱۴ و ۱۶ میلیمتر بدلیل مقاومت پیوند بالاتر این میلگردها، لغزش میلگرد اتفاق نیافتاده و دیوار وصله‌دار توانست تغییر مکان نسبی $2/4\%$ را تجربه کند و رفتاری تقریباً مشابه با نمونه دیوار بدون وصله خود که به تغییر مکان نسبی $2/6\%$ رسیده را داشته باشد. استفاده از میلگردهای پرمقاومت باعث افزایش مقاومت خمشی دیوار شده و با توجه به بازوی بزرگ خمشی دیوار، تنش فشاری بتن در دورترین وجه فشاری دیوار از مقاومت حداکثر فشاری بتن (۲۵ مگاپاسکال) فراتر رفته و در این ناحیه بتن دچار خرابی شده و دیوار با کاهش سختی مواجه گردید و قبل از رویداد لغزش، دیوار دچار خرابی گردید، شکل (۱۰). رفتار پینچینگ^{۱۴} (لاغری منحنی‌های هیستریزیس) در این دیوارها نیز شدت یافته و غلاف‌گذاری نتوانست موجب بهبود رفتار لرزه‌ای دیوار گردد. در دیوارهای وصله‌دار با میلگرد قطر ۱۸ و ۲۰ بدلیل مقاومت پیوند کمتر این میلگردها، لغزش میلگرد اتفاق افتاده و تغییر مکان نسبی دیوار از $3/4\%$ به $1/21\%$ در دیوار با میلگرد ۱۸ میلیمتر، $1/81\%$ در دیوار با میلگرد ۲۰ کاهش پیدا کرده است. در این دیوارها غلاف‌گذاری نتوانست تغییر مکان نسبی دیوارهای با میلگرد ۱۸ و ۲۰ میلیمتر را به ترتیب به $2/1\%$ و $1/97\%$ افزایش داده و باعث کاهش پینچینگ در این دیوارها شد.

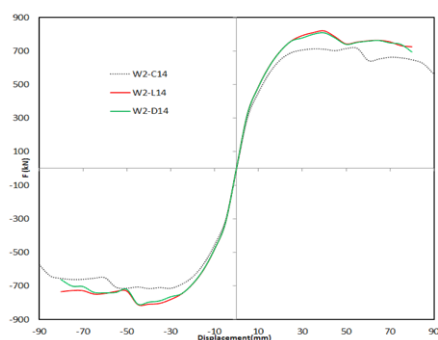


شکل ۱۰: منحنی های هیستریزیس دیوار ($p_v=0/4\%$)

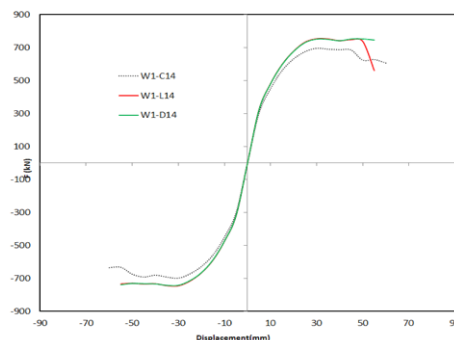


۵-۳- پوش نیرو تغییر مکان

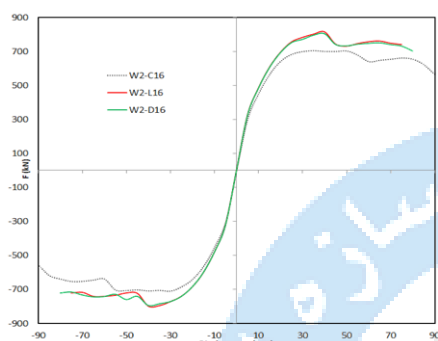
منحنی های نیرو تغییر مکان تمامی دیوارها در شکل (۱۲) نشان داده شده است. در تمامی دیوارهای با میلگرد برشی $(p_v=0/8\%)$ بدلیل وجود وصله و افزایش درصد میلگرد در محل وصله میزان برش پایه در حدود ۱۴٪ نسبت به دیوار با میلگرد سراسری افزایش یافته ولی جذب انرژی و شکل پذیری کمتری نسبت به دیوار با میلگرد سراسری داشته اند. در دیوارهای با میلگرد برشی $(p_v=0/4\%)$ بدلیل استفاده از میلگرد برشی حداقل و عدم کفایت محصورشدگی کافی، استفاده از سیستم غلاف گذاری برای بهبود رفتار لرزه ای موثر واقع نشد.



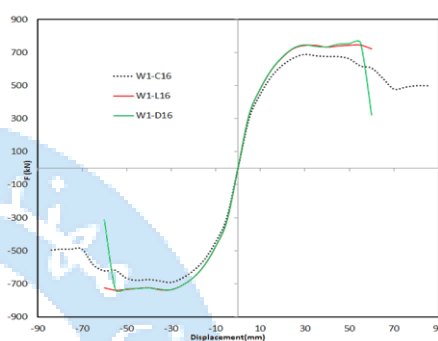
چ) نمودار بار-جابجایی دیوار W2-14



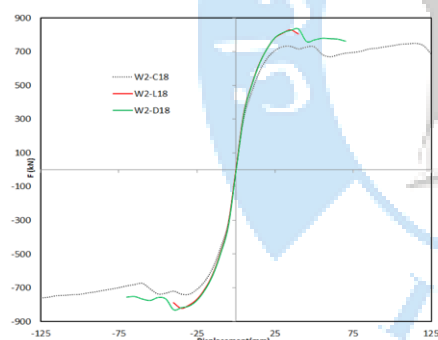
الف) نمودار بار-جابجایی دیوار W1-14



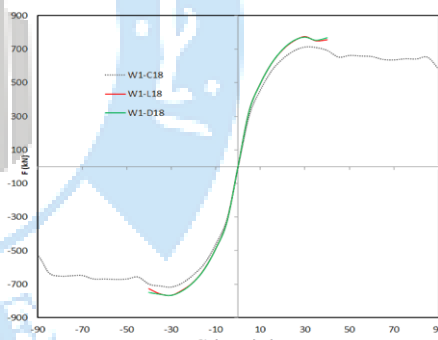
ح) نمودار بار-جابجایی دیوار W2-16



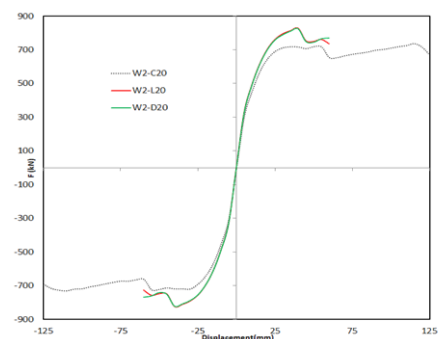
ب) نمودار بار-جابجایی دیوار W1-16



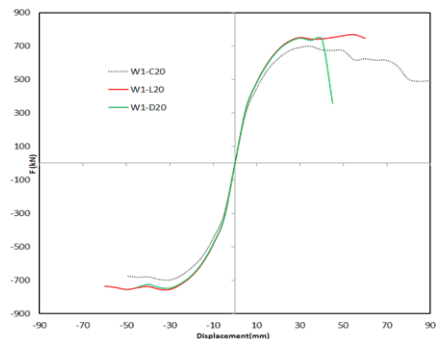
خ) نمودار بار-جابجایی دیوار W2-18



پ) نمودار بار-جابجایی دیوار W1-18



د) نمودار بار-جابجایی دیوار W2-20



ج) نمودار بار-جابجایی دیوار W1-20

شکل ۱۲: نمودار بار-جابجایی دیوار W2 و W1

۵-۴- شکل پذیری و استهلاک انرژی

انرژی استهلاکی و شکل پذیری دیوارها به همراه سایر نتایج تحلیل محاسبه و در جدول (۴) نشان داده شده است. ضریب رفتار به روش سختی سکانتی و از رابطه $\mu = \Delta u / \Delta y$ محاسبه شده که در این رابطه μ ضریب رفتار، Δu تغییر مکان نظیر نقطه ۸۵٪ ظرفیت نهایی سازه و Δy تغییر مکان تسلیم و یا به عبارتی دیگر تغییر مکان نظیر نقطه ۸۵٪ ظرفیت نهایی سازه در ناحیه الاستیک می باشد. در دیوارهای با میلگرد برشی ($\rho_v = 0.18\%$) استفاده از سیستم غلاف گذاری بسیار موثر بوده و توانسته است شکل پذیری و جذب انرژی دیوارها را افزایش

جدول ۴: نتایج دیوارهای مدل سازی شده

دیوارهای با میلگرد برشی $\rho_v = 0.18\%$					دیوارهای با میلگرد برشی $\rho_v = 0.4\%$						
ضریب رفتار	انرژی استهلاکی (kN.Drift)	تغییر مکان نقطه تسلیم (mm)	تغییر مکان نهایی (mm)	ظرفیت نهایی (kN)	نام مدل	ضریب رفتار	انرژی استهلاکی (kN.Drift)	تغییر مکان نقطه تسلیم (mm)	تغییر مکان نهایی (mm)	ظرفیت نهایی (kN)	نام مدل
۵	۲۴۲	۱۷	۸۵	۷۱۴	W2-C14	۳/۶	۱۱۰	۱۶/۹	۶۰	۶۸۸	W1-C14
۴	۲۲۲	۲۰	۸۰	۸۱۸	W2-L14	۲/۵	۵۴	۲۰/۱	۵۰	۷۵۲	W1-L14
۴/۱	۱۶۷	۱۹/۵	۸۰	۸۱۰	W2-D14	۳/۲	۶۸	۱۷/۹	۵۸	۷۵۱	W1-D14
۴/۶	۲۲۹	۱۹/۵	۸۰	۷۰۲	W2-C16	۳/۳	۹۸	۱۸	۶۰	۷۴۶	W1-C16
۳/۷	۱۸۸	۲۰/۲	۷۵	۸۱۴	W2-L16	۳/۳	۷۵	۱۸/۲	۶۰	۷۴۴	W1-L16
۴/۳	۲۰۳	۱۹/۸	۸۵	۸۰۵	W2-D16	۳/۲	۵۴	۱۸	۵۸	۷۵۹	W1-D16
۶	۷۳۴	۲۰	۱۲۰	۷۳۵	W2-C18	۴/۳	۲۱۱	۲۰	۸۵	۷۱۴	W1-C18
۲	۳۵	۱۹/۸	۴۰	۸۳۱	W2-L18	۲/۴	۲۴	۱۷	۴۰	۷۶۷	W1-L18
۳/۶	۱۵۱	۱۹/۵	۷۰	۸۳۴	W2-D18	۲/۳	۲۸	۱۸/۵	۴۰	۷۷۳	W1-D18
۶	۶۹۱	۲۰	۱۲۰	۷۱۵	W2-C20	۳/۸	۱۵۲	۱۸/۵	۷۰	۷۰۰	W1-C20
۲/۸	۱۱۰	۲۱/۵	۶۰	۸۲۵	W2-L20	۳/۲	۷۱	۱۹	۶۰	۷۶۸	W1-L20
۳/۳	۱۳۴	۲۰	۶۵	۸۲۵	W2-D20	۲/۴	۳۰	۱۶/۵	۴۰	۷۳۶	W1-D20

دهد.

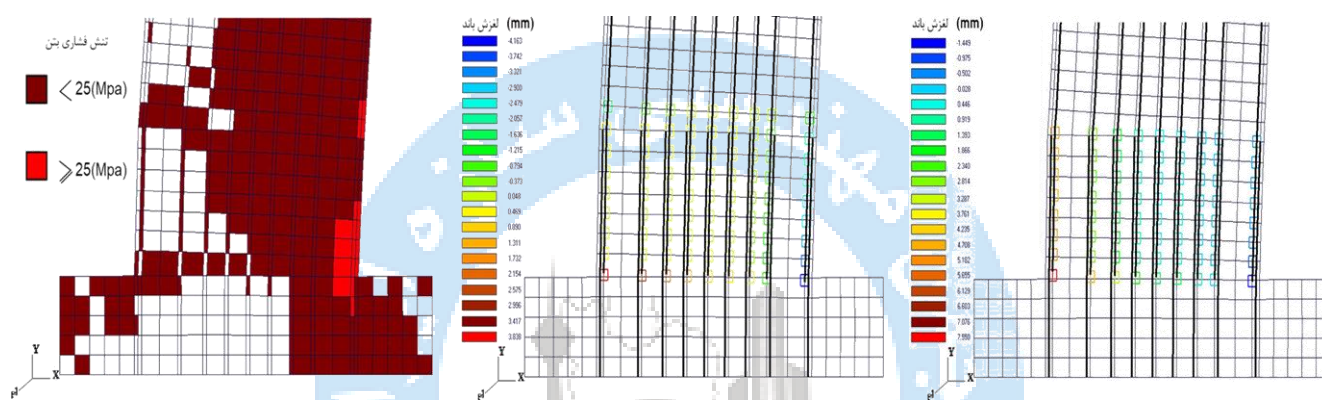
در این گروه دیوارها بیشترین میزان استهلاک انرژی مربوط به دیوار W2-C18 می باشد. در گروه دیوارهای با میلگرد برشی زیاد، بدترین رفتار به لحاظ میزان استهلاک انرژی مربوط به دیوارهای وصله دار با میلگرد قطر ۱۸ و ۲۰ میلیمتر می باشد، که به ترتیب ۵٪ و ۱۶٪ انرژی مستهلک شده توسط دیوار مرجع خود را جذب کرده اند. استفاده از غلاف گذاری در دیوارهای مذکور توانست میزان استهلاک انرژی را به ترتیب به ۲۱٪ و ۲۰٪ انرژی مستهلک شده توسط دیوار مرجع خود برساند. در دیوار با میلگرد قطر ۱۸ میلیمتر غلاف گذاری با افزایش ۴ برابری استهلاک انرژی دیوار وصله دار، بهترین عملکرد را داشت. در دیوارهای با میلگرد قطر ۱۴ و ۱۶ میلیمتر بدلیل عدم لغزش این میلگرد ها غلاف گذاری تاثیر چندانی در افزایش میزان انرژی مستهلک شده نداشت.

در گروه دیوارهای با میلگرد برشی زیاد غلاف گذاری توانست در تمامی مدل ها شکل پذیری را افزایش دهد. این افزایش در دیوار با میلگرد به قطر ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ میلیمتر به ترتیب برابر با ۲/۵٪، ۱/۶٪، ۸/۰٪ و ۱/۸٪ نسبت به دیوار وصله دار بود. بیشترین تاثیر غلاف گذاری به لحاظ شکل پذیری و استهلاک انرژی در دیوار با میلگرد قطر ۱۸ میلیمتر بود. در دیوارهای با گروه میلگرد برشی کم استهلاک انرژی برای دیوار با میلگردهای قطر ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ میلیمتر به ترتیب برابر با ۵۰٪، ۷۶٪، ۱۲٪ و ۴۷٪ میزان انرژی مستهلک شده توسط دیوار مرجع خودشان بود، که غلاف گذاری در این گروه دیوارها نتوانست باعث افزایش استهلاک انرژی دیوارهای غلاف گذاری شده بشود. به لحاظ شکل پذیری دیوارهای مذکور رفتار مشابهی همانند انرژی مستهلک شده داشتند و غلاف گذاری نتوانست باعث بهبود شکل پذیری دیوارها بشود.

نتایج نشان داد در دیوارهای با میلگرد برشی ($\rho_v=0.4\%$) علی‌رغم اینکه این میزان میلگرد برشی بیشتر از مقدار حداقل آیین نامه بوده و به لحاظ عملکرد دیوار مشکلی نداشته و دیوارهای با میلگرد سراسری این گروه با این مقدار میلگرد برشی توانسته‌اند تغییرمکان نسبی‌های در محدوده $2/5\%$ را تجربه کرده و شکل پذیری (ضریب رفتار) در محدوده ۴ را تامین کنند. ولی برای بهره‌مندی از سیستم غلاف‌گذاری، میلگرد برشی باید به مقداری باشد که بتواند محصورشدگی لازم را برای عملکرد بهتر سیستم غلاف‌گذاری تامین کند.

۵-۵- لغزش میلگرد

با توجه به شکل (۱۳ و ۱۴) در تمامی دیوارهای با میلگرد به قطر $d_b \geq 18$ میلیمتر دیوار دچار خرابی زود رس بدلیل لغزش میلگرد گردید. در گروه دیوارهای با میلگرد برشی کم، بدلیل عدم تامین محصورشدگی کافی، استفاده از روش غلاف‌گذاری جهت جلوگیری از لغزش میلگرد موثر نبود. در دیوارهای W2-L18 و W2-L20 استفاده از روش غلاف‌گذاری با به تاخیر انداختن لغزش میلگرد باعث جذب انرژی و افزایش شکل پذیری دیوار گردید.

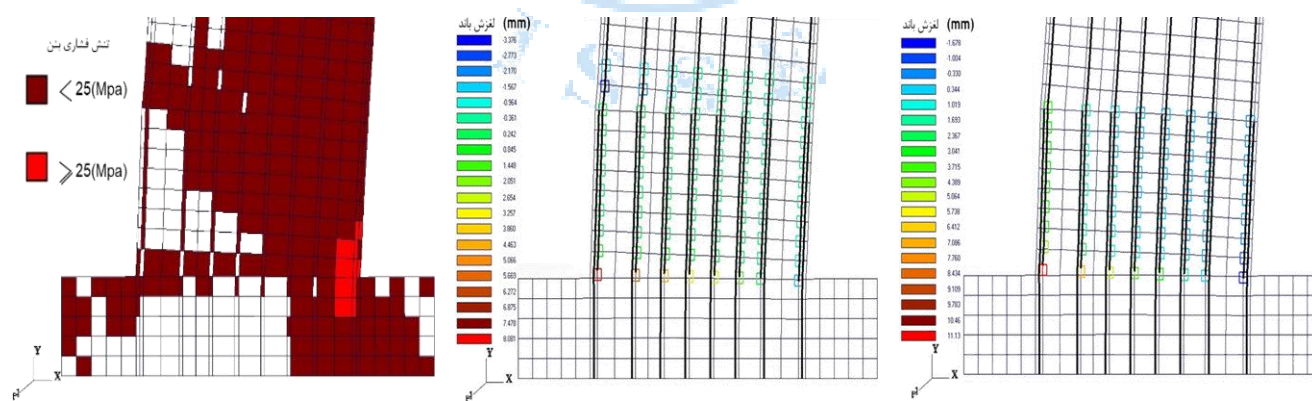


شکل (ج): تنش فشاری بتن دیوار W2-D18
(تغییرمکان نسبی: $2/12\%$)

شکل (ب): لغزش پیوند دیوار W2-D18
(تغییرمکان نسبی: $1/21\%$)

شکل (الف): لغزش پیوند دیوار W2-L18
(تغییرمکان نسبی: $1/21\%$)

شکل ۱۳: لغزش پیوند و تنش فشاری بتن دیوار W2-18



شکل (ج): تنش فشاری دیوار W2-D20
(تغییرمکان نسبی: $1/97\%$)

شکل (ب): لغزش پیوند دیوار W2-D20
(تغییرمکان نسبی: $1/67\%$)

شکل (الف): لغزش پیوند دیوار W2-L20
(تغییرمکان نسبی: $1/67\%$)

شکل ۱۴: لغزش پیوند و تنش فشاری بتن دیوار W2-20

لغزش میلگرد طولی المان مرزی به ترتیب در تغییرمکان نسبی های ۱/۲۱٪ و ۱/۶۷٪ به صورت کشیدگی کامل میلگرد (Pull-Out) در ناحیه اتصال رخ داد و دیوار دچار خرابی گردید. استفاده از غلاف با تغییر در گرادیان لغزش باعث تغییر نوع شکست دیوار از حالت کشیدگی کامل میلگرد (Pull-Out) به خرابی بتن فشاری به ترتیب در تغییرمکان نسبی ۲/۱۲٪ و ۱/۹۷٪ گردید.

۶- جمع بندی

بدلیل مشکلات اجرایی به ناچار دیوارهای برشی با وصله پوششی میلگرد طولی اجرا می گردند. در این تحقیق سعی می شود تا پتانسیل استفاده از سیستم غلاف گذاری جهت اصلاح اثرات همزمان افزایش مقاومت میلگرد و وصله بررسی شده و پیشنهاد اجرایی در این زمینه ارائه شود. متغیرهای اصلی تحقیق قطر میلگرد پرمقاومت طولی، درصد میلگرد عرضی و جداسازی میلگرد از بتن می باشند. در این تحقیق دو دسته دیوار برشی با میلگرد برشی کم و زیاد که هر دسته در سه حالت عدم وجود وصله پوششی (میلگرد سراسری)، وجود وصله پوششی و وجود وصله پوششی به همراه غلاف، مورد بررسی قرار گرفتند. دیوارها تحت بار فشار محوری عمودی و نیروی افقی کنترل بار و بار جابجایی افقی چرخه ای استاتیکی قرار گرفتند. برای ارزیابی عملکرد دیوارها منحنی های هیستریزیس، ظرفیت باربری، استهلاک انرژی، مدهای شکست، لغزش میلگرد و شکل پذیری مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر بدست آمد.

- ۱- در دیوارهای W2-L18 و W2-L20 استفاده از روش غلاف گذاری با تغییر در گرادیان لغزش باعث تغییر نوع شکست دیوار از حالت کشیدگی کامل میلگرد (Pull-Out) به خرابی بتن فشاری به ترتیب باعث افزایش ۷۳٪ و ۲۰٪ در تغییرمکان نسبی دیوار گردید.
- ۲- در دیوارهای با میلگرد برشی (۴٪) $(\rho_v=0/4\%)$ به علت نزدیک بودن این مقدار به میلگرد برشی حداقل استفاده از روش جداسازی میلگرد از بتن برای افزایش شکل پذیری بدلیل عدم تامین محصور شدگی لازم موثر نبود.
- ۳- در دیوارهای با میلگرد برشی (۴٪) $(\rho_v=0/4\%)$ غلاف گذاری نتوانست کاهش استهلاک انرژی ناشی از لغزش را افزایش دهد. میزان استهلاک انرژی در دیوارهای گروه وصله دار و گروه وصله و غلاف دار تقریباً برابر شد. در دیوارهای وصله دار با میلگرد قطر ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ میلیمتر استهلاک انرژی به ترتیب ۰/۴۹، ۰/۷۶، ۰/۱۱ و ۰/۴۶٪ میزان استهلاک انرژی دیوار با میلگرد سراسری با قطر یکسان است.
- ۴- وجود غلاف در تمامی دیوارهای با میلگرد برشی (۸٪) $(\rho_v=0/8\%)$ باعث بهبود عملکرد و رفتار دیوار شده ولی دیوار با میلگرد سراسری (دیوار بدون وصله پوششی) بهترین عملکرد را در میان تمامی دیوارهای مورد مطالعه داشت.
- ۵- دیوار با میلگردهای طولی پرمقاومت با میلگرد برشی (۴٪) $(\rho_v=0/4\%)$ دچار لغزش عمودی صفحات نشد، و برخلاف دیوار با میلگردهای معمولی ترک برشی کمتری داشت و به نوعی میلگرد طولی پرمقاومت بخشی از ضعف برشی دیوار را جبران کرد.
- ۶- در دیوارهای با میلگرد پرمقاومت که رفتار خمشی داشته و لغزش میلگرد اتفاق نیافتاد، غلاف باعث تشدید پینچینگ^{۱۵} شد.
- ۷- در تمامی دیوارهای مورد مطالعه این تحقیق دیوارهای با میلگرد قطر پایین و تعداد زیاد رفتار مطلوب تری نسبت به دیوارهای با میلگرد قطر بالا و تعداد کم داشتند.

مراجع

- [1] Parra-Montesinos, Gustavo J. (2005). High-performance fiber-reinforced cement composites: an alternative for seismic design of structures. *ACI Structural Journal*, 102 (5), 688.
- [2] Dazio A, Buzzini D, Trub M. (2008). Nonlinear cyclic behaviour of hybrid fibre concrete structural walls. *Engineering Structures*, 30 (11), 3141.
- [3] Lu X, Zhang Y, Zhang H, et al. (2018). Experimental study on seismic performance of steel fiber reinforced high strength concrete composite shear walls with different steel fiber volume fractions. *Engineering Structures*, 171 , 247-259.
- [4] Zhang J, Liu J, Zhang D, et al. (2022). Hysteretic behavior of high-performance frame-shear wall composite structure with high-strength steel bars. *Journal of Building Engineering*, 45, 103.
- [5] Zhang, J., Liu, J., Zhang, D. and Huang, X. (2022), "Hysteretic behavior of high-performance frameshear wall composite structure with high-strength steel bars. *Journal of Building Engineering*, 45, 103416, URL <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103416>.
- [6] Zhang J, Zhao Y, Li X, et al. (2021). Experimental study on seismic performance of recycled aggregate concrete shear wall with high-strength steel bars. *Structures*, 33, 1457-1472.
- [7] Baek J, Park H, Shin Hyun, et al. (2017). Cyclic loading test for reinforced concrete walls (Aspect Ratio 2.0) with grade 550 MPa (80 ksi) shear reinforcing bars. *ACI Structural Journal*, 114(3), 673.
- [8] Park Hong, Baek J, Lee J, et al. (2015). Cyclic loading tests for shear strength of low-rise reinforced concrete walls with grade 550 MPa bars. *ACI Structural Journal*, 112 (3), 299.
- [9] Baek Jang, Park Hong, Lee J, et al. (2017). Cyclic Loading Test for Walls of Aspect Ratio 1.0 and 0.5 with Grade 550 MPa (80 ksi) Shear Reinforcing Bars. *ACI Structural Journal*, 114 (4).
- [10] Li X, Zhang J, Cao W. (2020). Hysteretic behavior of high-strength concrete shear walls with high-strength steel bars: Experimental study and modelling. *Engineering Structures*, 214, 110.
- [11] Haefliger S, Kaufmann W, Thoma K. (2022), Modelling the load-deformation behaviour of lap splices with the Tension Chord Model. *Engineering Structures*, Volume 252. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113606>.
- [12] Al-Fouadi W, Mohammed A, Abdullah K. (2019). Experimental and analytical study on behavior of pull-out failure of reinforcing bar embedded in concrete blocks. *Structural Concrete*, 20 (1), 171-184.
- [13] Priestley M, Tao J. (1993). Seismic response of precast prestressed concrete frames with partially debonded tendons. *PCI journal*, 38 (1), 58-69.
- [14] Yuan H, Weijian Y, Naito C, and Rui, et al. (2018). Seismic performance of precast concrete frames with debonded reinforcement. *Materials and Structures*, 51, 1-12.
- [15] Tazarv M, Saïdi M. (2015). UHPC-filled duct connections for accelerated bridge construction of RC columns in high seismic zones. *Engineering Structures*, 99, 413-422.
- [16] Wang J, Zhao H, He J. (2019). Seismic behaviors and resilient capacity of CFRP-confined concrete columns with partially debonded high-strength steel rebars. *Composite Structures*, 222, 110.
- [17] Wang J, Sun Y, Takeuchi T, et al. (2020). Seismic behavior of circular fly ash concrete columns reinforced with low-bond high-strength steel rebar. *Structures*, 27, 1335-1357.
- [18] Wang D, Shi Q, Wang Y, et al. (2021). Evaluation of bond-slip behavior of reinforcement in ultra-high-performance fiber-reinforced concrete. *Structural Concrete*, 22 (4), 2391-2406.
- [19] Mousa M. (2016). Effect of bond loss of tension reinforcement on the flexural behaviour of reinforced concrete beams. *HBRC journal*, 12 (3), 235-241.
- [20] Kawashima K. (2004). First international conference on urban earthquake engineering. Tokyo Institute of Technology Tokyo, Japan, 85-95.
- [21] Shimazaki K. (2004). De-bonded diagonally reinforced beam for good reparability. *Journal*, 3173.
- [22] Assaad F, Hany N, Fawaz G, et al. (2021). Effect of active and passive concrete confinement on the bond stress-slip response of steel bars in tension. *Construction and Building Materials*, 305, 124.
- [23] Habibi, A., Izadpanah, M. and Rahmani, Y. (2023), "Confinement effect on the behavior factor of dual reinforced concrete moment-resisting systems with shear walls", *Structural Engineering and Mechanics, An Int'l Journal*, 85(6), 781–791, URL <https://doi.org/10.12989/sem.2023.85.6.781>.

- [24] Wang D, Shi Q, Wang Y, et al. (2021). Evaluation of bond-slip behavior of reinforcement in ultra-high-performance fiber-reinforced concrete. *Structural Concrete*, 22 (4), 2391-2406.
- [25] Murray J, Adam-Hecht Ellis, Sasani M. (2016). Modeling bar slip in nonductile reinforced concrete columns. *Journal of Structural Engineering*, 142 (10), 40.
- [26] El Mohandes F, Vecchio F. (2013). *VecTor3: A. User's Manual; B. Sample Coupled Thermal and Structural Analysis*. Canada, University of Toronto, 156.
- [27] Vecchio F, Lai D, Shim W, et al. (2001). Disturbed stress field model for reinforced concrete: validation. *Journal of Structural Engineering*, 127 (4), 350-358.
- [28] Bohl A. (2006). *Plastic hinge length in high-rise concrete shear walls*. Columbia, University of British Columbia, 270.
- [29] Hoult R, Goldsworthy H, Lumantarna E. (2018). Plastic hinge analysis for lightly reinforced and unconfined concrete structural walls. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 4825-4860.
- [30] Ghorbani-Renani I, Velez N, Tremblay R, et al. (2009). Modeling and testing influence of scaling effects on inelastic response of shear walls. *ACI Structural Journal*, 106 (3), 358.
- [31] Hoult R, Goldsworthy H, Lumantarna E. (2018). Plastic hinge length for lightly reinforced rectangular concrete walls. *Journal of Earthquake Engineering*, 22 (8), 1447-1478.
- [32] Lu Y, Henry R, Ma Q. (2014). *Modelling and experimental plan of reinforced concrete walls with minimum vertical reinforcement*. Alaska: Tenth US National conference on earthquake engineering, 35.
- [33] Sriharan S, Beyer K, Henry R, et al. (2014). Understanding poor seismic performance of concrete walls and design implications. *Earthquake Spectra*, 30 (1), 307-334.
- [34] Aghniaey N, Saatcioglu M, Aoude H. (2021). NRC Research Press 1840 Woodward Drive, Suite 1, Ottawa, ON K2C 0P7. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 48 (11), 1467-1480.
- [35] American Concrete Institute (ACI) Committee 374., (2013). Guide for testing reinforced concrete structural elements under slowly applied simulated seismic loads. Farmington Hills: ACI, 22.
- [36] American Concrete Institute. (2019). *318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*.
- [37] Wu Yu-Fei, Zhao X. (2013). Unified bond stress-slip model for reinforced concrete. *American Society of Civil Engineers*, 139 (11), 1951-1962.
- [38] Khaksefidi S, Ghalehnovi M. (2021). The effect of concrete type and rebar diameter on bond strength in reinforced concrete structures. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 8 (Special Issue 1), 367-387.
- [39] Wong P, Vecchio F, Trommels H. (2013). *Vector2 & Formworks user's manual second edition*. University of Toronto, Canada.
- [40] Eligehausen R, Popov-Egor P, Bertero V. (1982). Local bond stress-slip relationships of deformed bars under generalized excitations.
- [41] Gu Q, Dong G, Wang X, et al. (2019). Research on pseudo-static cyclic tests of precast concrete shear walls with vertical rebar lapping in grout-filled constrained hole. *Engineering Structures*, 189, 396-410.